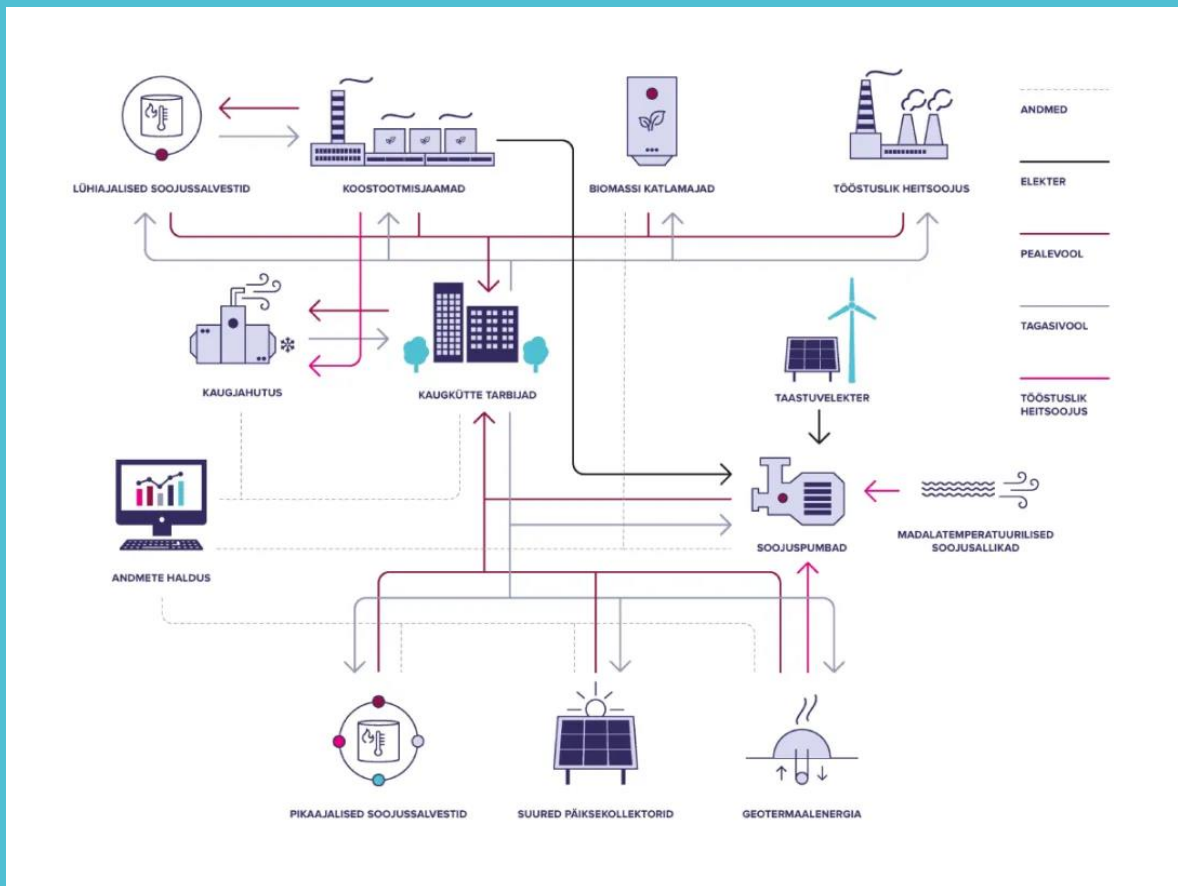


Anna Volkova, Eduard Latõšov, Vladislav Mašatin,

Igor Krupenski, Andres Siirde

Jätksuutlik kaugküte



DIGITAALNE ÕPIK

2022



Energiatehnoloogia Instituut

Digiõpiku "Jätkusuutlik kaugküte" väljaandmist toetasid programmi „Eestikeelsed kõrgkooliõpikud 2010-2027“ raames Haridus- ja Teadusministeerium ning Sihtasutus Archimedes.



HARIDUS- JA
TEADUSMINISTEERIUM

Toimetajad: Kertu Lepiksaar, Sulev Soosaar, Sirli Prausen

Autorid:

Anna Volkova on uurimisrühma "Nutikad kaugküttelehendused ja kasvuhoonegaaside emissioonide keskkonnamõju integreeritud hindamine" juht. Pärast doktorantuuri lõpetamist Riia Tehnikaülikoolis on ta juba 12 aastat uurinud Tallinna Tehnikaülikooli Energiatehnoloogia instituudis Eesti kaugkütet. Ta on juhtinud mitmeid kaugkütte võimalusi uurivaid teadusprojekte, näiteks uuringud koostootmise rakendamise ja soojusenergia salvestamise kohta ning tarbijatele neljanda põlvkonna kaugkütet tutvustava mobiilirakenduse arendamine.

Eduard Latõšov on töötanud nii erasektoris kui ka Tallinna Tehnikaülikoolis ning olnud mitmete kaugkütte rakendamist ja arendamist puudutavate projektide konsultant ja projektijuht. Samuti on ta koostanud mitmete kaugküttepiirkondade arengukavasid. Alates 2016. aastast on ta pidanud mitmeid loenguid nii bakalaureuse- kui ka magistriõppe tudengitele (soojusmajandus, soojus- ja külmavarustussüsteemid, energiatõhusus ja protsesside optimeerimine, energiamajandus ning energiaressursid, planeerimine ja keskkond. Eduard on Eesti Jõujaamade ja Kaugkütte Ühingu (EJKÜ) töhuga kaugkütte märgise omistamise komitee esimees.

Vladislav Mašatin on töötanud kaugkütteeettevõttes uuringute osakonna juhataja ja tootmisjuhina. 2018. aastal kaitses ta oma doktoritöö teemal „Takistused neljanda põlvkonna kaugkütte rakendamisel suurtes kaugküttevõrkudes“. Vladislav on Eesti Soojustehnikainseneride Seltsi (ESTIS) juhatuse esimees.

Andres Siirde on Tallinna Tehnikaülikooli Energiatehnoloogia instituudi professor ja direktor. Ta on kaugkütte alal üks juhtivaid teadlasi Eestis. Tema teadus- ja õppetöö on peaaegu 30 aastat olnud pühendatud kaugkütte arendamisele Eestis.

Igor Krupenski on töötanud nii erasektoris kui ka Tallinna Tehnikaülikoolis ja viimase 14 aasta jooksul osalenud ca 200 km kaugküttestorustike projekteerimisel. Tal on olemas kogemus kaugküttestorustike insenerilahenduste väljatöötamisel erinevates riikides, sealhulgas ka Skandinaavias, Saksamaal ning Ladina-Ameerikas. Igor on ESTISE kutsekomisjoni esimees ja juhatuse liige.

Sisukord

Sisukord.....	5
Eessõna	9
Kasutatud mõisted	10
1.Kaugküte eile, täna, homme	17
1.1 Kaugkütte ajalugu.....	17
1.1.1 Maailma kaugkütte ajalugu	17
1.1.2 Eesti kaugkütte ajalugu	19
1.2 Kaugkütte hetkeolukord.....	25
1.2.1 Kaugkütte hetkeolukord maailmas (2020).....	25
1.2.2 Kaugküte tänapäeva Eestis.....	28
1.2.3 Kaugkütteettevõtted	31
1.2.4 Kaugküte Tallinnas	35
1.2.5 Kaugküte Tartus	36
1.2.6 Kaugküte Narvas.....	37
1.2.7 Kaugküte Kuressaares	37
1.2.8 Tüüpiline kaugküte Eesti väikeasulas	38
1.3 Kontrollküsimused.....	40
2. 4.põlvkonna kaugkütte kontseptsioon	41
2.1 Põlvkonnad.....	42
2.1.1 Esimene põlvkond	42
2.1.2 Teine põlvkond	44
2.1.3 Kolmas põlvkond	46
2.1.4 Neljas põlvkond	48
2.1.5 Keskonnatemperatuuriline (viienda põlvkonna) kaugküte	52
2.2 Praegune olukord ja väljakutsed	54
2.2.1 Näited heast praktikast: 100% taastuenergiat põhinevad kaugküttevõrgud	54
2.2.2 Näited heast praktikast: madalatemperatuurilised kaugküttevõrgud.....	58
2.3 Peamised takistused jätkusuutliku kaugküttesüsteemi rajamisel	63

2.3.1	Takistused kütusevaba taastuenergia kasutamiseks.....	64
2.3.2	Võrkude madala soojuskao saavutamise takistused.....	65
2.3.3	Takistused soojust ja elektrit tootvate tehaste kombineerimiseks	65
2.3.4	Takistused soojuse salvestamise tehnoloogiate integreerimisel kaugküttesüsteemi	66
2.3.5	Takistused nutikaks mõõtmiseks.....	66
2.3.6	Muud takistused kaugküttesüsteemides	66
2.4	Kontrollküsimused.....	67
3.	Soojusvajadus ja tarbijad	69
3.1	Soojusvajadus.....	69
3.1.1	Ruumide kütmine	69
3.1.2	Sooja tarbevee koormus	71
3.1.3	Soojuskoormuse kestusgraafik.....	75
3.1.4	Soojuskoormuse kõikumine	76
3.2	Tarbijad.....	79
3.2.1	Soojussõlmed – soojusvahetid	79
3.2.2	Kauglugemine.....	83
3.2.3	Tarbija mõju: tagasivoolu temperatuur ja paralleeltarbimine.....	86
3.2.4	Tootvad tarbijad	87
3.3	Kontrollküsimused.....	91
4.	Soojuse tootmine kaugkütte jaoks.....	92
4.1	Kütusepõhised soojusallikad	92
4.1.1	Kütused.....	92
4.1.2	Katlad.....	97
4.1.3	Soojuse ja elektri koostootmine, koostootmisjaamad.....	101
4.1.4	Koostootmise parameetrid	108
4.2	Kütusevabad taastuvad kaugkütte soojusallikad ja tehnoloogiad	113
4.2.1	Suured soojuspumbad.....	113
4.2.2	Madalatemperatuurilised soojuse allikad.....	114

4.2.3	Päikesesoojus	118
4.2.4	Elektriboilerid	119
4.3	Soojusenergia salvestamine	119
4.3.1	Soojusenergia lühiajaline salvestamine	120
4.3.2	Soojusenergia pikaajaline salvestamine.....	125
4.4	Kontrollküsimused.....	128
5.	Soojusülekanne võrkudes	129
5.1	Soojuse edastamine	129
5.2	Soojuskandja reguleerimine.....	132
5.3	Torude isolatsioon ja selle tüübid	135
5.4	Kaugküttevõrgu soojuskao hindamistegur võrgu geomeetria suhtes	136
5.5	Soojusvõrgu planeerimine ja arendamine	142
5.6	Kontrollküsimused.....	144
6.	Projekteerimine ja ehitamine	145
6.1	Põhistandardid ja lühikirjeldus.....	145
6.2	Projekteerimine.....	147
6.2.1	Kaugküttes kasutatavad torud ja nende paigaldamine.....	147
6.2.2	Projektklass ja selle määramine	149
6.2.3	Vajalikud arvutused.....	150
6.3	Ehitamine	151
6.3.1	Ehitustööde planeerimine.....	151
6.3.2	Materjalide tellimine, transport, vastuvõtt.....	152
6.3.3	Kaeviku tegemine ja montaaž	152
6.3.4	Torustiku katsetused	154
6.4	Kontrollküsimused.....	155
7.	Seadusandlus ja majandus	156
7.1	Kaugküttepiirkond ja võrgupiirkond	156
7.1.1	Kaugküttepiirkond.....	156

7.1.2	Võrgupiirkond.....	157
7.2	Soojuse müük ja hinnakujundus.....	158
7.2.1	Kaugkütte reguleerimine ja hinnakujundus ELi liikmesriikides	158
7.2.2	Soojuse ostu korraldus Eestis.....	163
7.2.3	Mõõtmine ja mõõtesüsteemide paigaldamine	163
7.2.4	Liitumise tasu	164
7.3	Hinnaregulatsioon ja soojuse piirhind.....	165
7.3.1	Kulude eristamine	166
7.3.2	Tehnilised ja muud nõuded soojuse hinna koostamisel	168
7.3.3	Reguleeritav vara ja kapitalikulu	170
7.3.4	Põhjendatud tulukus	171
7.3.5	Soojuse hinda mõjutavad tegurid	173
7.4	Kordamisküsimused	174
A.	Praktiline info	175
A.1	Rahvusvahelised projektid	175
A.2	Eesti juhtumianalüüsid.....	184
A. 2. 1	Modelleerimisuuring: Lahekalda	184
A.2. 2.	Modelleerimisuuring: Kopli liinid.....	188
A.2.3.	Modelleerimisuuring: suuremahuliste soojuspumpade kasutamine Tallinna kaugküttes.....	195
A. 3.	Kaugkütet toetavad organisatsioonid.....	202
B.	Ulesanded	205
	Eesti energiabilanss: Sankey diagramm	205
	NutiSoojus	206
	GIS-kaart.....	207
	Hotmapi tarkvara.....	208
	LOGSTORI kalkulaator	209
	Allikad.....	210

Eessõna

Kaugküte on Eestis väga oluline teema – selle osakaal soojustarbimises on üle 60%. Kaugküte on Eesti energiasektoris üks peamisi prioriteete. Õpiku autorid, TalTech Energiatehnoloogia Instituudi uurimisrühma "Nutikad kaugküttelahendused ja kasvuhoonegaaside emissioonide keskkonnamõju integreeritud hindamine" liikmed on omandanud teadmisi pikaajaliste uurimustööde käigus, osalenud rahvusvahelistes konsortsiumides ja projektides koos tipp-taseme kaugkütte ekspertidega ja teinud koostööd nii Eesti kui ka Euroopa kaugkütte ettevõtetega ning soovivad jagada oma teadmisi kaugkütte valdkonnas. Viimaste aastakümnete jooksul on kaugkütte valdkonnas toimunud palju muutusi ja on vajadus kaasaegse ja laiapõhjalise teatmeteose järele, mis annaks tervikliku ülevaate kogu kaugkütte teemast. Neljanda põlvkonna kaugkütte idee on saanud väga oluliseks jätkusuutliku kaugkütte arendamisel tulevikus. Õpik "Jätkusuutlik kaugküte" pakub ajakohaseid teadmisi ja oskusi, mis on seotud jätkusuutliku kaugkütte tehniliste, keskkonna-alaste, majanduslike ja õiguslike külgedega. Õpikus on esitletud kõige uuemaid ja innovatiivsemaid kaugküttes kasutatavaid tehnilisi lahendusi. Õpikule on lisatud ka viimaste aastate jooksul Energiatehnoloogia Instituudi teadlaste poolt läbi viidud uurimustööd, et näidata, kuidas Eesti tingimustes on võimalik arendada jätkusuutlikku kaugkütet.

Õpik on mõeldud kasutamiseks tudengitele, soojustehnikainseneridele, kaugkütte spetsialistidele, kinnisvara arendajatele, korteriühistu juhatuse liikmetele ja kõikidele, kellele see teema huvi pakub.

Autorid soovivad tänada kõiki kaugküttega seotud ettevõtete eksperte, kes on andnud oma panuse selle õpiku koostamisse. Nende ettevõtete hulka kuuluvad Utilitas, Adven, Fortum, SW Energia, HeatConsult ja Eesti Termotehnika. Lisaks soovime tänada kaugkütet edendavaid organisatsioone – Eesti Soojustehnika Inseneride Selts (ESTIS) ja Eesti Jõujaamade ja Kaugkütte Ühing (EJKÜ).

Diõpiku "Jätkusuutlik kaugküte" väljaandmist toetasid programmi „Eestikeelsed kõrgkooliõpikud 2010-2027“ raames Haridus- ja Teadusministeerium ning Sihtasutus Archimedes.

Kasutatud mõisted

Aurukatel – soojusallikas, mis kuumutab soojuskandjat, vett, kuni selle parameetrid (temperatuur ja rõhk) vastavad ülekuumendatud auru parameetritele. Harilikult on toodetava auru rõhk atmosfäärirõhust tunduvalt kõrgem, kuni 30 MPa, ning temperatuur ligikaudu 500 °C

Avatud süsteem – hoone küttesüsteem, kus kaugküttevõrgu ja hoonesise küttesüsteemi soojuskandjad ei ole omavahel eraldatud soojusvahetiga ning kaugküttevõrgu vesi ringleb ka hoone küttesüsteemis

Baaskoormus – kaugküttevõrgus ajaliselt kõige enam esinev võimsus

CO₂ heitmetegur – tegur, mis näitab, kui palju CO₂ eraldub 1 ühiku kütuse täielikul põlemisel

CO₂ kvoot – CO₂ emiteerimise piirmäär, mis dikteerib, kui palju kvoodi omanik võib CO₂ emiteerida

Eelisoleeritud torud – tehases kokku pandud kaugkütte toruelemendid, mis koosnevad plastist peale- ja tagasivoolutorust ja nende ümber paigaldatud polüuretaanvahust isolatsioonist

Elektriline võimsus – elektri- või koostootmisjaama elektri tootmise võimsus

Energiaallikas – ressurss, millest toodetakse energia tootmisprotsessi käigus kasulikku energiat. Energiaallikaks võivad olla kütused, aga ka kütusevabad taastuvenergia allikad, nt päike või tuul

Energiabilanss – energiasüsteemis tootmise ja tarbimise suhe, energia tootmise puhul kasuliku energia ja kadude suhe

Energiakaskaad – soojuskandja mitmeastmeline energiatarbimine, kus pärast kõrgema temperatuurivajadusega tarbija vajaduste katmist suunatakse soojuskandja madalama temperatuurivajadusega tarbijale

Energiatõhusus – energia kasutuse tõhusus, kasuliku ja kulutatud energia suhe

Fossiilkütused – biogeenset algpärilolu kütused, mille kasutamise määr ületab tugevalt nende taastuvuse määra ning mille põletamisel emiteeritakse süsihappegaasi

Heitsoojus – tootmisprotsessis vabanev ja seal kasutust mitteleidv soojusenergia

Hoonefond – kindlas piirkonnas (riigis, linnas või asulas) olevad avalikke kommunikatsioone (küte, vesi, sideteenused) kasutavad hooned

Juhtimiskeskus – kontrollüksus, kus monitooritakse ja juhitakse energiasüsteemi talitust reaalajas

Kasvuhooneefekt – kiirgusenergia ringkäigust tingitud elektromagnetilist kiirgust selektiivselt läbi laskva kihi all oleva keskkonna tasakaalulise temperatuuri tõus

Kasvuhoonegaasid – gaasid, mis moodustavad atmosfääris soojust maapinnale tagasi peegeldava kihi ja seeläbi põhjustavad kasvuhooneefekti

Kaugkütteettevõte – äriühing, mis tegeleb kaugküttevõrku soojuse tootmise ja edastamisega

Kaugkütte tarbijad – kaugküttevõrku ühendatud hooned, mis tarbivad kaugküttevõrgust soojusenergiat

Kaugküttepiirkond – üldplaneeringu alusel kindlaks määratud maa-ala, millel asuvate tarbijapaigaldiste soojusega varustamiseks kasutatakse kaugkütet, et tagada kindel, usaldusväärne, efektiivne, põhjendatud hinnaga ning keskkonnanõuetele ja tarbijate vajadustele vastav soojusvarustus

Kaugküttevõrk – torude süsteem, mis ühendab kaugkütte tarbijaid (hooneid) soojusallikaga (katlamaja või koostootmisjaam), et edastada tarbijatele soojusenergiat ja juhtida soojuse ära andnud soojuskandja tagasi soojusallikani

Kauglugemine – tarbija energiaarvesti näidu automaatne tootjapoolne lugemine ilma tarbijapoolse tegevuseta

Kerge kütteõli – enamasti gaasiõlide hulka kuuluv naftasaadus (nt diisel), mida kasutatakse eramute kütteks, tööstuses, põllumajanduses ja laevadel

Kesküte – hoonesisene tsentraalne küttesüsteem, kus ühest soojusallikast (katel, soojuspump, soojussõlm) edastatakse soojust hoone erinevatesse osadesse

Koostootmisjaam – energiatootmisüksus, mis toodab ühes protsessis samal ajal nii soojus- kui ka elektrienergiat

Kraadpäev – hoone sisetemperatuuri ja välisõhu temperatuuri vahet iseloomustav näitaja, mille ühikuks on 1 °C temperatuurierinevus arvestusliku sisetemperatuuri ja ööpäeva (24-tunnine periood) keskmise välisõhu temperatuuri vahel

Külmajaam – tsentraalne jahutusenergia tootmisüksus, mis varustab külmakandjaga mitmeid tarbijaid

Kütteperiood – periood aastas, mil kaugküttevõrgus tarbitakse lisaks soojale tarbeveele ka soojusenergiat ruumide kütmiseks

Küttepinnad – katelseadme pinnad, mille kaudu läheb soojus koldelt ja suitsugaasidelt soojuskandjale

Legionella – legionelloosi põhjustav bakter, mis suudab säilitada oma eluvõime külmas ja seisvas vees. Legionelloos on ägeda kulu ja bakteriaalse levikuga nakkushaigus, mille põhivormiks on kopsupõletik

Lokaalkatlamaja – eraldiseisev hoone, kus toodetakse sooja ühele hoonele või väiksemale hoonete grupile, mis ei moodusta eraldi kaugküttevõrku

Madalatemperatuuriline kaugküttevõrk – kaugküttevõrk, kus soojuskandja pealevoolu temperatuur on aasta ringi madalam kui 60°C

Magistraal – kaugkütetrassi keskne, kõige jämedama läbimõõduga toru, mis algab soojusallika juurest ja hargneb väiksemateks harudeks

Normaalaasta – välisõhu temperatuuri viimase 30 aasta keskmised väärtused aasta iga tunni kohta

Pealevool – tsentraalsest soojusallikast väljuv, kõrgema temperatuuriga soojuskandja voog

Primaarenergia – energia, mida tarbitakse teisteks energialiikideks muundamata ehk mida leidub looduses ja mida saab kohe kasutada. Primaarenergiat pole töödeldud, kuigi see muudetakse paljudel juhtudel edastus- ja rakendussoodsamaks vääris- ehk sekundaarenergiaks, mille kasutamine energeetilistel eesmärkidel on mõttekam või võimalik ainult muundatud viisil. Salvestusastme ja taastumiskiiruse järgi eristatakse taastumatuid ja taastuvaid energiaallikaid

Primaarkontuur – soojusvaheti kontuur, kus ringleb soojuskandja, mis annab soojust ära soojusvahetusprotsessi kaudu

Puiduhake – puidupõhine kütus, mis koosneb puidu- ja metsatööstuse tootmisjääkidest ning on hakkuriga peeneks tükeldatud

Päiksekollektor – seadeldis, mis neelduva päikese kiirguse toimele soojendab kollektorit läbivat soojuskandjat, mille vahendusel saab kütta tarbevett. Päiksekollektor töötab protsessis soojusvahetina. Kollektor kasutab vee soojendamiseks päikeselt saadud energiat, mis jõuab maale elektromagnetilise lühilainelise kiirgusena. Kui päikese kiirgus kollektoris neeldub, muundub ta pikalaineliseks soojuskiirguseks

Radiaatorküttesüsteem – hoonesisene küttesüsteem, kus soojusenergia edastatakse ruumidesse radiaatorite vahendusel

Raske kütteõli – destillaatkütus või jääkõlidest toodetud kütus. Rasked kütteõlid on toatemperatuuril (ca 20 °C) suure viskoossusega vedelikud, mida kasutatakse eeskätt suurtes katlamajades ja laevakütusena

Reservkatel – katel, mida kasutatakse tsentraalsetes katlamajades, kui baaskatel ei ole töökorras või selle võimsus pole piisav

Sekundaarkontuur – soojusvaheti kontuur, kus ringleb soojuskandja, mis saab soojust soojusvahetusprotsessi kaudu

Soe tarbevesi – tarbevesi, mis on kõetud kuni 55°C-ni ja ringleb hoones eraldi torudes

Soojusallikas – tarbijaid vajaliku soojusenergiaga varustav üksus, kaugkütte puhul näiteks katlamaja, tsentraalne soojuspump, koostootmisjaam, lokaalkütte puhul individuaalne soojuspump, katel, elektriküte, ahi

Soojuselektrijaam – elektri tootmise üksus, mis muundab soojusenergia elektrienergiaks

Soojuskandja – küttesüsteemis ringlev vedelik või gaas, mis edastab soojust soojusallikalt tarbijani. Soojuskandjaks võib olla näiteks vesi või aur

Soojuskoormus – tarbijale vajalik soojusenergia võimsus

Soojuslik võimsus – elektri- või koostootmisjaama või katlamaja poolt toodetava kasuliku soojuste võimsus

Soojusmajanduse arengukava – kohaliku omavalitsuse koostatud arenguplaan elanike soojusenergiaga varustamiseks

Soojussõlm – hoone seadmestik, mille abil soojusenergia tarbijad on ühenduses soojusvõrguga. Soojussõlmes muudetakse välise soojusvõrgu soojuskandja temperatuur ja rõhk sobivaks hoone kütte- ja ventilatsioonisüsteemile ning põrandküttele

Soojustagastus – protsessist lahkuva soojuse kasulikuks soojuseks muundamine

Soojusvaheti – seade, mis kannab soojuse üle soojemalt kehalt külmemale

Suletud süsteem – tarbija ühendus kaugküttevõrguga, kus kaugküttevõrgu soojuskandja ja hoonesise küttesüsteemi soojuskandjad on omavahel eraldatud soojussõlmega ja edasi kantakse hoonesisele süsteemile vaid soojus

Šuntühendus - paralleelühendus

Tagasivool – kaugküttevõrgus voolav soojuskandja, mis on oma soojuse juba tarbijale ära andnud ning voolab tagasi soojusallika poole

Tark energiasüsteem – energiasüsteem, kus kasutatakse infotehnoloogia lahendusi, et hoida tootmine tasakaalus tarbimisega ning tagada tõhus energiakasutus tänu erinevate energiasektorite sidususele

Temperatuurigraafik – ajaline graafik, mis näitab välisõhu temperatuuri mõju soojuskandja pealevoolu temperatuurile

Temperatuurirežiim – seaduspärasus, mis seab vastavusse küttesüsteemi tagasivoolu temperatuuri ja küttesüsteemi võimsuse

Tipukoormus – ajaliselt lühikese kestusega oluliselt kõrgem energia tarbimise võimsus

Tootvad tarbijad – inglise keeles *prosumers*. Tarbijad elektri- või soojusvõrgus, kellel on võimekus võrku energiat toota

Vabajahutus – kaugjahutuseks vajaliku energia tootmine looduslikust jahutusallikast ilma märkimisväärse lisanduva energiakuluta

Varustuskindlus – normaalolukorras kasutatav mõõdik, mis näitab energia pakkumise adekvaatsust nõudlusega võrreldes. Varustuskindlus näitab, kas tarbijale on tagatud energia kättesaadavus vajalikul hulgal, nõutud ajal ja vastuvõetava hinnaga

Võrgukaod – energia ülekandmise protsessis tekkivad kaod, mida on võimalik esitada võrku antud energia ja võrgust tarbitava energia suhtena

Võrgupiirkond – maa-ala, kus asub ja kus arendatakse ühe võrguettevõtja omandis või valduses olevat võrku

Võtmetarbija – kaugküttevõrgu tarbija, kelle energiatarbimine moodustab enamiku võrgu tarbimisest

1 Kaugküte eile, täna, homme

Kaugküte on protsess, kus varustatakse soojusenergiaga mitmeid tarbijaid ühest või ka mitmest allikast. Soojusenergia allikaks kaugküttesüsteemis võib olla katlamaja, koostootmisjaam, suured soojuspumbad või mõni muu tänapäevane innovatiivne lahendus.

Soojusvarustussüsteem koosneb järgmistest insenertehnilistest põhielementidest: soojusallikas, kaugküttevõrk ja soojusega varustatavad tarbijad.

1.1 Kaugkütte ajalugu

1.1.1 Maailma kaugkütte ajalugu

Eluruumide soojusvarustus on vajalik inimese normaalse, täisväärtusliku ja tervisliku elu tagamiseks, eriti külma kliimaga piirkondades. Soojusvarustussüsteemide arendamise ajalugu on üsna pikk. Enne kaugkütte väljaarendamist hakati sajandeid tagasi juurutama keskkütet.

Esimene keskküttesüsteem rajati III–IV saj e.m.a. Seda kasutati esmakordselt avalikes saunades, mis olid Rooma ja Kreeka impeeriumis laialt levinud. Üksnes Roomas oli IV saj m.a.j. rohkem kui 850 avalikku sauna ja 11 suurt keskküttega hoonet. Ka paljudes gümnaasiumites, hotellides, väikestes paleedes ja villades oli olemas keskküte. Peaaegu samal ajal roomlastega arendasid hiinlased välja oma küttesüsteemi, mis sarnanes Rooma omaga. Enamik neist soojusvarustuse valdkonna saavutustest unustati Rooma impeeriumi lagunemisel III–IV saj m.a.j.

Teadadaolevalt on kaugkütet hoonete soojusega varustamiseks kasutatud juba üle saja aasta. Kõige esimene kaugküttesüsteem rajati Prantsusmaa külas nimega Chaudes-Aigues ja see töötab tänapäevalgi. Samas, 1334. aasta kinnisvararegistrist nähtub, et mõned inimesed ei maksnud oma küttearveid. See näitab, et kaugküte on palju vanem, kui tavaliselt arvatakse. Soojusega varustamiseks kasutati termaalvett, mis pärineb looduslikust kuumaveeallikast ja mille temperatuur on 82 °C; sama meetodit kasutatakse ka tänapäeval. Vesikeskkütte leiutajaks loetakse Martin Trivaldi (Rootsi, 1716), kes korraldas oma kasvuhuone kütmise torudes ringleva sooja vee abil. 1770. aastal kasutas James Watt oma vabrikuhuone keskkütteks auru, kütteseadmeteks olid tal seejuures sektsioonradiaatorid. 1817. aastal ehitati Pariisi konservatooriumis sooja veega keskküte. Alates 1820. aastast levis keskküttesüsteem katel–torud–radiaator Inglismaa elamutes. Seal avaldati ka esimene praktiline juhend vesikütte kohta (Charles Hood, 1837). Sel ajal kasutati ahikütte korral ära 30–40% kütuseenergiast, vesiküttega aga üle 60%.

Suurim edu kaugküttesüsteemi arendamisel saavutati 1876. aastal USAs New Yorgis Lockportis. Birdsill Holly sai patendi ning hakkas varustama kohalikke elumaju ja tööstusrajatisi aurküttega. Aasta jooksul liitus küttesüsteemiga üha enam maju. Esimesed investeeringud firma Holly Steam Combination kaugküttesse olid 25 000 USA dollarit. 1880. a anti Hollyle patent soojuse ja mehaanilise energia kombineeritud tootmisele, kus kasutati otse auru.

1878. aastal loodi Euroopas esimesed kaugküttesüsteemid, mis varustasid Saksamaal Bonni lähedal asuvat haiglat ja haiglat Stockholmis. Uus süsteem võimaldas vabaneda üksikkaminatetest.

Suur samm Euroopa soojusvarustussüsteemide arendamisel tehti Saksamaal ja see sai teoks tänu elektritööstuse intensiivsele arengule. Elektrienergia tootmine elektrijaamades oli aluseks tarbijate varustamisele kaugküttest ja kaugküttevõrkude jõulisele arendamisele. Üks esimesi elektrijaamu Euroopas ehitati 1888. aastal Hamburgi Poststrassele. 1893. aastast varustati sellest jaamast soojusega ohutuse kaalutlustel ka uut raekoda. Nii loodi Euroopas esimene soojuselektrijaam (SEJ).

Euroopa esimesed kaugküttesüsteemid võeti kasutusele Saksamaal Dresdenis 1900. aasta 5. detsembril, kui käiku läks esimene kaugküttele põhinev munitsipaalküttesüsteem. 12 hoonet varustati nii elektri kui ka soojusega SEJ-st Packhofstrassel ja 15 hoonel oli ainult elektrivarustus. Selle soojuselektrijaama ehituse põhjuseks oli avalik ohutus ja parem keskkonnavõimalus, samuti energia tootmise kõrgem efektiivsus. 1903. aastal alustas Taani linnas Frederiksbergis tööd prügi põletav koostootmisjaam, mis varustas soojusega uut haiglat.

Pärast teist maailmasõda võimaldasid majandusbuum ja purustatud linnade rekonstrueerimine arendada Euroopas kaugkütet. Paljud Euroopa linnad hakkasid 1950ndatel ja 1960ndatel ehitama oma soojuselektrijaamu ja munitsipaalküttesüsteeme.

1973. ja 1978. aasta naftakriisid viisid alternatiivsete lahenduste leidmiseni, eriti elektrienergia ja soojuse koostootmises, mis võimaldas soojustootmise arvelt kiiresti hindu muuta. Aastatel 1975–1980 anti Lääne-Euroopas käiku 43 uut soojuselektrijaama.

1980ndate lõpus ja 1990ndate alguses toimus palju sündmusi, mis mõjutasid otseselt soojusvarustussektori arengut: poliitilised sündmused nagu Nõukogude Liidu lagunemine ja Euroopa ühtse poliitika kujunemine, energiaturgude liberaliseerimine, aga ka uued globaalsed keskkonnavõimalused ja strateegiad.

Seoses eelnimetatud sündmustega hakkas kaugküttesektor läbi tegema olulisi muutusi, mis toimusid peamiselt Taanis ja Rootsis. Kõige olulisemad arenguvaldkonnad olid küttevõrkude tsentraliseerimine ja laiendamine, samuti energiatõhususe parandamine kõigil tasanditel – soojuse tarbimises, tootmises ja edastamises. Kaugküttele praegust olukorda on kirjeldatud osas 1.2.1.

1.1.2 Eesti kaugkütte ajalugu

Eesti soojavarustuse ajalugu algas üksikutest ahjustest, ja seda nii majades kui ka eraldi tubades. Kütusena kasutati kohalikke küttepuid ja turvast, samuti kivisütt.

Järgmine samm oli mõne hoone üleminek keskküttele, mis sai kaugkütte eeltingimuseks: keldris asetsevast malmkatlast köeti torustiku abil tervet maja. Vesi kuumutati katlas peaaegu keemiseni, 95 °C, ning voolas seejärel raskusjõu mõjul akende alla paigutatud radiaatoritesse. Pärast soojuse ülekandmist läbi radiaatori seinte tubadesse voolas vesi soojendamiseks tagasi katlasse, seega toimus vee ringlus. Algselt paigaldati keskküte vaid avalikesse hoonetesse. Hiljem viidi ka mõned elumajad keskküttele, kuid väga piiratud ulatuses. On dokumenteeritud, et Tartu teatrisse Vanemuine, mis ehitati 1906. aastal, paigaldati keskküte, mis oli sel ajal väga edumeelne (joonis 1.1).

Ja kess-küte? Mitmed meie inimesed saavad siin ehk kess-kütet esimest korda näha. Sääli ei ole endisi suuri pottidest ahjusid, — aknate all on ainult väikesed, rauast valatud kärbilised asjad. All keldris on katel, kust palavus torude kaudu läbi terve maja tungib ja neist kärbilistest asjadest välja õhkub; ei ole, — et üht tuba kütta, ehk teist külmaks jätta — muud vaja, kui tema jaoks määratud kraani lahti ehk kinni käända. Kesk-kütte sisseaad ei tule vahest mitte kallim, kui hulk vanamoodi ahjusid, kuid võtab ta ka vähem ja — ära jääb kõikide ruumide ahjude kütumise töö ja puude kandmine.

Joonis 1.1. Keskkütteteemaline artikkel Postimehes (08.02.1906)

Postimees (08.02.1906.) kirjutas: Ja keskküte? Mitmed meie inimesed saavad siin ehk keskkütet esimest korda näha. Sääli ei ole endisi suuri pottidest ahjusid, aknate all on ainult väikesed, rauast valatud kärbilised asjad. All keldris on katel, kust palavus torude kaudu läbi terve maja tungib ja neist kärbilistest asjadest välja õhkub: ei ole, — et üht tuba kütta, ehk teist külmaks jätta — muud vaja, kui tema jaoks määratud kraani lahti ehk kinni käända. Kesk-kütte sisseaad ei tule vahest mitte kallim, kui hulk vanamoodi ahjusid, kuid võtab ta ka vähem ja — ära jääb kõikide ruumide ahjude kütumise töö ja puude kandmine.

On näiteid keskkütte paigaldamisest ka hilisemast ajast sajandi alguses: Endla teater Pärnus (1909), Stackelni vaimuhaigete maja Valgas (1907), seltsi Võitleja maja Narvas (1909). Aastate jooksul läks keskküttele üle üha rohkem maju. Kuid 1915. aastal oli Tallinnas peaaegu 58 000 ahju ja pliiti, mis nõudsid aastas kütteks 50 000 kantsülda puitu (umbes 485 000 tihumeetrit puitu).

Keskütte populaarsus kasvas järk-järgult ja keskküttega majade korterite hind oli kõrgem, kuna see tagas elanikele suurema mugavuse ja tuleohutuse. 1946. aastaks oli Tallinna elamufondis 228 keskküttega maja.

Tootmisettevõtetes (vabrikud, tehased, kombinaadid) kasutati oma katlamaju, kuid neis toodetud soojust kasutati elamute soojusega varustamiseks minimaalselt. Tavaliselt ehitati kõikidesse suurematesse elumajadesse ja asutustesse oma katlamaja. Enamik neist küttis ainult ühte maja (lokaalkatlamaja), kuid oli ka katlamaju, mis varustasid soojusega mitut maja (grupikatlamajad kuni 25 hoonele). Nende kateldes kasutati küttepuid, masinaturvast, turbabriketti, kivisütt, põlevkivi, põlevkiviõli, põlevkivi uttegaasi ja maagaasi segu (kütteväärtus 14,5 MJ/m³, 1952). Kuni 1960. aastateni ehitati Eesti linnadesse sadu sarnaseid katlamaju. Need väikesed katlamajad ei olnud eriti efektiivsed. Kuigi neid ei köetud ööpäev läbi, oli väikeste katlamajade soojus kallim ja pahatihti saastasid need katlamajad ümbruskonda.

Kaugküte hakkas Eestis arenema 1949. aastast, kui Kohtla-Järvel viidi kaugküttele 12 maja, mida varustati soojusega soojuselektrijaamast. Järgmine kaugküte juurutamise koht oli Ahtme – pärast Ahtme Soojuselektrijaama töö algust 1951. aasta lõpus.



Joonis 1.2. Tallinna soojusvõrkude ehitus tollaegse Tallinna Soojuselektrijaama ees (allikas: Tallinna Linnamuuseum, TLM Fn 2271)

1956. aastal hakati rajama Tallinna kaugküttevõrku, mis põhines Tallinna Elektriijaama soojusel. Selleks tuli rajada elektrijaama ka katelseade koos torustiku ja pumpadega ning linna rajada kaugküttevõrk. Soojusvõrkude esialgse projekti koostas 1956. aastal projekteerimisinstituudi Telploelektriprojekt Riia

osakond. Projekti kohaselt oli tollane Tallinna kaugküttevõrgu temperatuurirežiim 130/70 °C ja tarbijate summaarseks soojuskoormuseks 128 MW.

Ehitustööde normaalset kulgu takistas projekti sagedane muutmine. Mitmes lõigus osutus projektikohane trass sobimatuks ja seda tuli muuta. Torustiku edasine projekteerimine otsustati üle anda hoopis RPI Eesti Projektile, kes oma ülesannetega hästi toime tuli.

Samal aastal alustati elektrijaamast Viru väljakuni kulgeva magistraali ehitamist. Magistraal koosnes kahest mineraalvatiga isoleeritud 500 mm läbimõõduga torust, mis paigutati raudbetoonkanalisse.

Magistraalitorustik elektrijaamast Viru väljakuni ja sealt edasi piki Rävalla puisteed kuni Kentmanni tänavani (kogupikkusega 2,1 km) sai valmis 1959. aastal. Torustiku läbimõõt elektrijaamast Viru väljakuni oli 500 mm ning Rävalla puisteest Kentmanni tänavani 400 ja 250 mm. Soojusvõrgu torustik pesti läbi tuha hüdraulilise eemaldamise pumpade abil, kasutades merevett. Seejuures rakendati soojusvõrgu läbipesemisel esimest korda hüdropneumaatilist meetodit, kus pesuveele lisati suruõhku. Esimene maja, mis 9. oktoobril 1959 ametlikult küttesüsteemiga ühendati, oli Kentmanni 10 (tollal Kreuksi tänav). Päev hiljem ühendati soojusvõrguga Estonia pst 1 asuv Eesti Energia administratiivhoone. Järgmiste hoonete üleviimist kaugküttele takistas soojuse vastuvõtmiseks vajalike soojussõlmede ehituse mahajäämus. Aasta lõpuks oli kaugküttesüsteemis siiski neli maja kogukoormusega 1,4 MW. Esimesel aastal oli tarbimine võrgus 17 864 MWh. Esimese kahe aasta jooksul ehitati veidi alla 10 km trassi ja ühendati 86 maja. Esmajärjekorras kuulusid kaugküttega ühendamisele kõik keskküttega elamud ja uusehitised, teisena olid järjekorras kapitaalremondi käigus ahiküttelt keskküttele üleviidavad hooned.



Joonis 1.3. Vasakul – Tallinna esimese soojusmagistraali rajamine Mere puiseteele (1956–1959) (allikas: Utilitase arhiiv); paremal – soojusmagistraali rajamine Lomonossovi (praegu Gonsiori) tänavale (allikas: Tallinna Linnamuuseum, TLM Fn 6582:31)

1963. aastal ehitati uue elurajooni soojusega varustamiseks suur tsentraalkatlamaja Mustamäele ja 1964. aastal Põhja-Tallinna kütmiseks Karjamaa katlamaja, mida alates 1997. aastast enam soojuse tootmiseks ei kasutata.

1968. aastaks oli soojusvõrkude kogupikkus Tallinnas kasvanud 56 kilomeetrini ja kaugküttele oli üle viidud ligi 800 elamut, ettevõtet ja asutust arvutusliku soojuskoormusega 285 MW.

1973 alustas tööd Lilleküla piirkonna kütmiseks mõeldud Kadaka katlamaja (praegune Kristiine katlamaja).

Ka Lasnamäe elurajoon vajas soojust, kuid uus ehitatav Iru SEJ ei olnud 1978. aasta alguses veel võimeline soojust andma ja Lasnamäe esimesse mikrorajooni paigaldati ajutiselt Soome firma Witermo gaaskütusel töötav automatiseeritud konteinerkatlamaja, mis töötas veebruarist kuni oktoobrini. Peale seda saadi soojust juba Iru SEJst uue 1220 mm läbimõõduga torudest soojusmagistraali kaudu.



Joonis 1.4. Mustamäe katlamaja ehitus 1965 (allikas: ajalehe Õhtuleht toimetus, EFA.252.0.52879)

Tuleb märkida, et sel perioodil arvestati ettevõtete soojusega varustamiseks katlamajade planeerimisel ja paigaldamisel ka ümbritsevate piirkondade soojuse tarbimisega (nt Männiku ehitusmaterjalide tehas, Pärnu Linavabriku katlamaja, Tartu Tehnik ja Dvigatel Lasnamäel).

Samal ajal oli ebaefektiivsete lokaal- ja grupikatlamajade arv Tallinnas väga suur ning alates 1970. aastast likvideeriti Tallinnas igal aastal kümneid väikseid katlamaju. Esimeses järjekorras ehitati ümber kõige enam ümbruskonda saastanud majade küttesüsteemid ja sojussõlmed. Võimaluse korral ühendati katlamaju linnatrassidega. Järk-järgult vähenes lokaal- ja grupikatlamajade arv märgatavalt.

Nagu Kohtla-Järvel ja Ahtmes, nii ühendati ka suur Balti Elektriijaam pärast ehitamist (1966) Narva soojusvõrku.

1964. aastal alustati Tartus Emajõe kaldale keskkatlamaja ja ühtlasi ka soojusvõrkude rajamist. Esimene soojavee- ja aurukatel lasti käiku 1967. aastal. Üheaegselt katlamajaga võeti kasutusele soojusvõrk linna uusehitiste rajoonis ja ühendati elamud ning asutuste hooned Vanemuise tänava piirkonnas. Pärast rekonstrueerimist 1976. aastal varustas keskkatlamaja 1979. aastal soojusega umbes 200 maja. Nagu Tallinnaski, töötas Tartus palju lokaal- ja grupikatlamaju, 1980. aastal oli neid Tartus 99. Pärnus algas keskkatlamaja ehitamine 1960ndate lõpus, kuid peagi konserveeriti see aastateks. Vahepeal paigaldati ajutine katlamaja, mis ei suutnud linna vajadusi rahuldada ja temperatuur majades langes 12–14 kraadini! Alles 1980ndate alguses hakkas kaugküte Pärnus normaalselt toimima. Kuressaares hakkas kaugküte arenema 1973. aasta alguses. Väiksematesse linnadesse ja asulatesse ehitati katlamajad, millest suuremates oli põhikütuseks masuut (raske kütteeõli), väiksemates kivisüsi või põlevkiviõli.

Pärast taasiseseisvumist ja turumajandusele üleminekut (alates 1991.aastast) olid kaugkütte juures probleemiks soojuse tootmise ja transportimise madal efektiivsus ning keskkonnareostus, lisaks vähenes pärast paljude ettevõtete sulgemist järsult soojuse tarbimine.

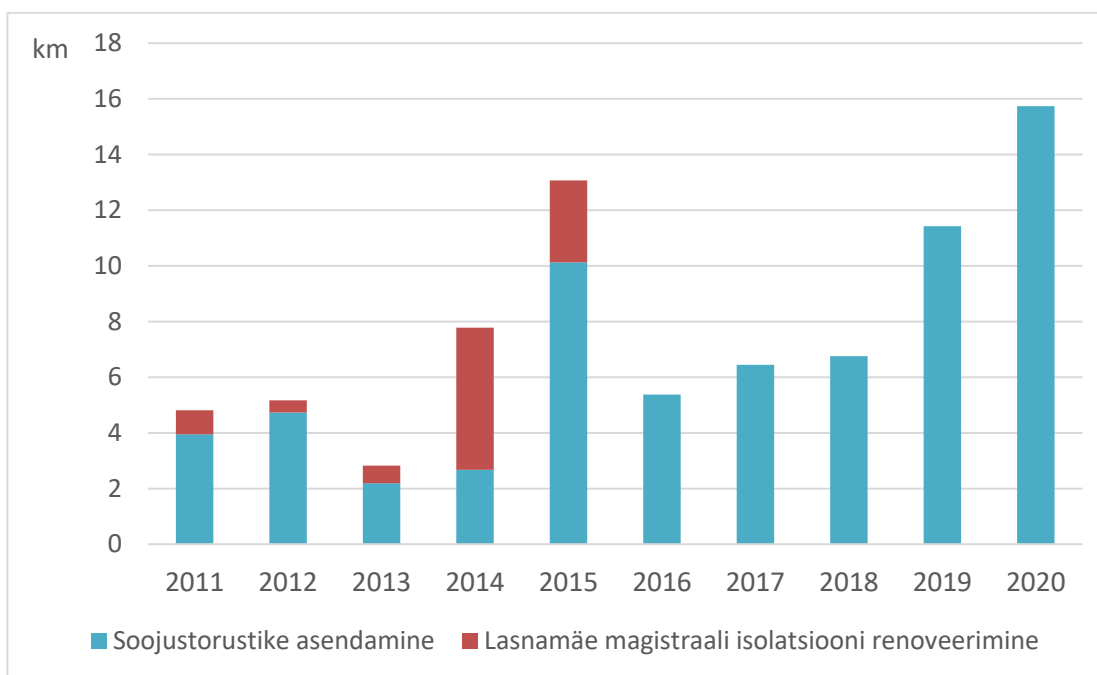


Joonis 1.5. Gonsiori tänava kaugküttetrassi ehitus, november 1990. (allikas:Eesti Rahvusarhiiv. Foto: H. Maasikmets)

Enamik soojusvarustusettevõtteid restruktureeriti eraettevõteteks. Hiljem osteti need osaliselt ära välisinvestorite poolt. Konkurentsivõime säilitamiseks teiste soojusvarustuse viiside kõrval (elekterküte, gaas) oli vaja radikaalselt renoveerida nii küttesüsteeme kui ka katlamaju ja kütteseadmeid. Et mõned võrgud edastasid ettevõtete katlamajades toodetud soojust, tekkis pärast nende ettevõtete sulgemist probleeme ka läheduses asuvate majade soojusvarustusega.

1996. aastal toodeti Tallinnas soojust peamiselt importkütustest – masuudist ja gaasist. Samuti tuleb märkida, et kasvas gaasküttele töötavate lokaalkatlamajade arv. Tookordse madala gaasihinna ja kaugkütte ebaefektiivse talitluse tõttu oli lokaalkatlamajas toodetud soojuse hind madalam kui kaugküttesoojuse hind. 1996. aastal oli Tallinnas 250 lokaal- ja grupikatlamaja, kus kütusena kasutati kivisütt, masuuti või kütteõli.

Soojusvõrgu tehniline seisukord oli mitterahuldav, lisaks olid keskkatlamajad vananenud ning vajasisid remonti ja rekonstrueerimist. 2000. aasta alguses ühendati Tallinna linnaosade võrgud. Graafikul on näidatud Tallinnas aastatel 2011–2020 vahetatud torude pikkus (Joonis 1.6).



Joonis 1.6. 2011–2020 renoveeritud torude pikkus Tallinnas

Järk-järgult vähenes taas lokaalkatlamajade arv. Kui lokaalkatlamajad asusid soojustrassi lähedal, siis üldjuhul ühendati need suure linnavõrguga, jättes alles kogu kohaliku torustikusüsteemi ja kasutades seniseid katlamaju boilerjaamadena.

Seoses riigi toetusega koostootmisrežiimis elektritootmisele tekkisid kõikidesse suurematesse linnadesse, kus soojuskoormus oli üsna kõrge, koostootmisjaamad, mis kasutasid kütusena nii biomassi (Tallinn) kui ka maagaasi (Tartu, Pärnu). Hiljem rajati Tallinnasse veel kaks hakkepuidul töötavat koostootmisjaama.

Väikelinnade arengustsenaariumid olid üsna sarnased. Esimene etapp oli katlamajade laialdane üleviimine kohalikule kütusele, mis tähendas katelde väljavahetamist – mindi üle põlevkiviõlile seoses imporditava maagaasi ja masuudi hinnatõusuga. Paljudes Eesti asulates sai uueks katlaks Kiviõli-80. Toimus ka võrkude renoveerimine, ja seda mitte ainult suurte soojuskadude, vaid ka võrkude äärmiselt halva tehnilise seisukorra tõttu. Johtuvalt varest hooldusest ning ettevalmistamata torvee kasutamisest tekkis võrkudes sisemine korrosioon, sageli toimusid avariid, millega kaasnesid suured veekaod.

Soojusvarustuse olukorda 2020. aastal kirjeldatakse jaotises 1.2.2.

1.2 Kaugkütte hetkeolukord

1.2.1 Kaugkütte hetkeolukord maailmas (2020)

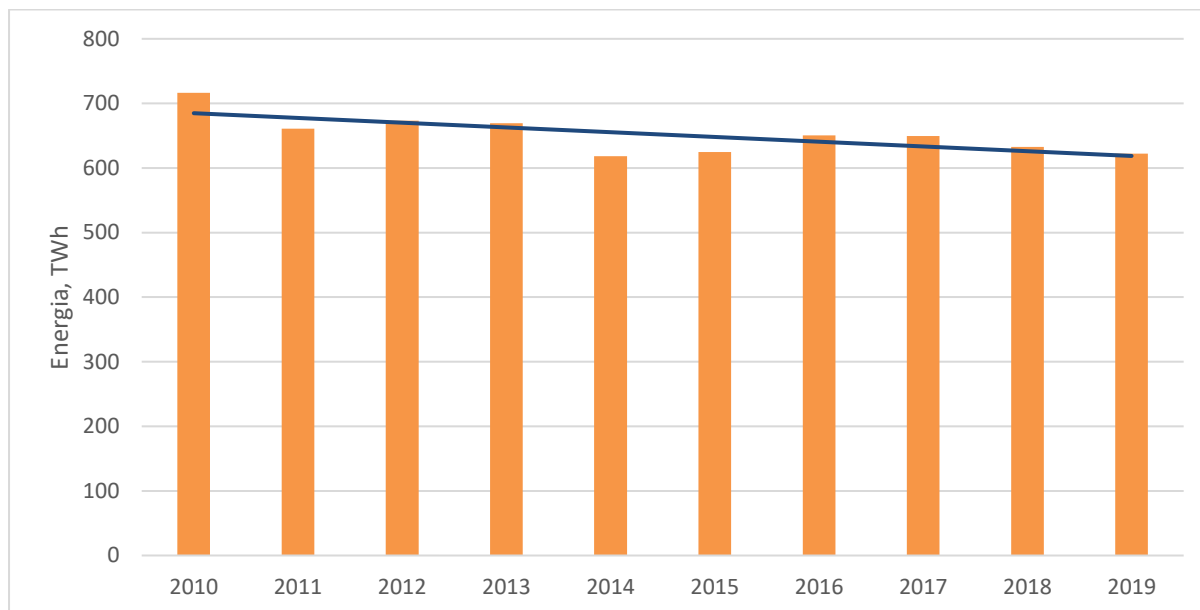
Globaalne kaugkütte toodang oli 2020. aastal 16 EJ soojusenergiat, tõustes 2000. aasta tasemega võrreldes 30%. Hiina, Venemaa ja Euroopa toodavad enam kui 90% ülemaailmses soojusenergiast. Alates 2000. aastast on Hiinal olnud kõige kiirem kasv - 2020. aastaks enam kui neljakordistunud, ning on nüüd maailma suurim tootja (toodab rohkem kui 35% üleilmsest kaugsoojusest). Sektor kasvab ka Ameerika Ühendriikides ja Koreas.

Ligi 40% üleilmselt kaugküttejaamades tekkivast soojusest läheb tööstussektorisse, mis mõjutab ka võrgu võimet vähendada jaotustemperatuuri, sest tööstustarbivad nõuavad sageli kõrget temperatuurisoojust. Hiina tarbis 2020. aastal rohkem kui 50% oma tööstussektoris tarbitavast ülemaailmsest soojusest, 2010. aastal umbes 34% võrreldes.

Üleilmselt varustab kaugküte suhteliselt väikest osa hoonetes kasutatavast soojusest, moodustades vaid 8,5% sektori soojusenergia tarbimisest. Kuigi maailma keskmine osakaal on väike, katab kaugküte suure osa hoonete kütmiseks kasutatavast soojusest paljudes Euroopa riikides, näiteks Taanis, Rootsis, Lätis, Eestis, Leedus, Poolas, üle 45%), samuti Venemaal (~ 45%) ja Hiinas (~ 15%).

Mitmete Euroopa Liidu ja Rahvusvahelise Energiaagentuuri (*International Energy Agency*) aruannete kohaselt katab kaugküte umbes 11–12% Euroopa Liidu soojustarbimisest läbi 6000 soojusvõrgu. Euroopa

Liidus toodetakse kaugkütte jaoks aastas umbes 580 TWh soojusenergiat (joonis 1.7). Üle maailma on kaugkütte kaudu tarbitava soojusenergia kogus palju suurem, juba ainult Hiinas on see üle 880 TWh.



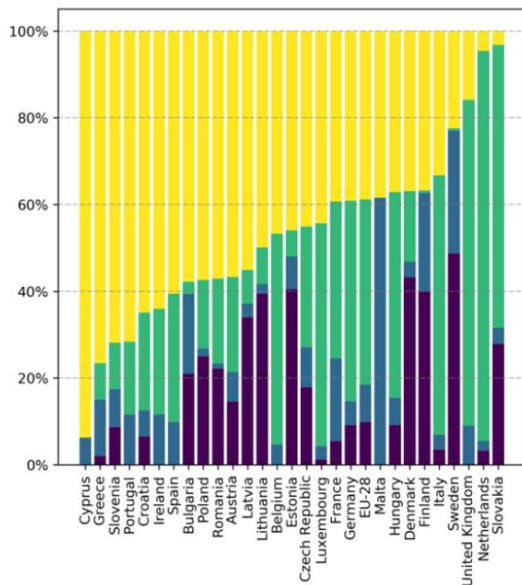
Joonis 1.7. Toodetud soojusenergia 28 ELi liikmesriigis (allikas: EUROSTAT)

On selge, et olemasolevate tarbijate soojustarbimine on vähenenud tänu hoonete renoveerimisele ja alternatiivsete soojusallikate kasutuselevõtule (nt päikesekollektorid, mis soojendavad vett, ja soojuspumbad). Ruumide küttevajadus on vähenemas. Prognoositakse, et 2030. aastaks langeb hoonete soojusvajadus 17% võrreldes 2010. aastaga. Langus toimub vaatamata sellele, et perioodil 2014–2016 oli energiatarbimine elamusektoris tõusuteel, kuid selle põhjuseks oli üldine majanduskasv. Keskmine tarbitud energiakogus on viimasel kümnendil langenud, vähenedes keskmiselt 5,5 TWh iga aastaga. Põhjuseid on mitmeid, muuhulgas seadmete energiatõhususe suurenemine ja hoonete parem ehituskvaliteet pärast Euroopa Parlamendi ja Euroopa Nõukogu hoonete energiatõhususe direktiivi (2010/31/EL) jõustumist, millega kehtestati hoonete energiatõhususele miinimumnõuded. Normaalaasta kraadpäevade alusel taandatud energia lõpptarbimine on kümne aasta jooksul vähenenud keskmiselt 0,7% aastas.

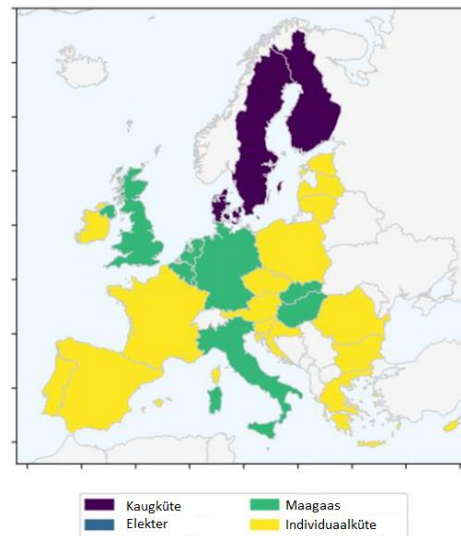
Peamised kaugkütte tarbijad on elamud. Euroopa Liidus moodustasid 2018. aastal kodumajapidamised 26,1% energia lõpptarbimisest. Suurema osa Euroopa Liidu kodumajapidamiste energia lõpptarbimisest katavad maagaas (32,1%) ja elekter (24,7%). Taastuvad energiaallikad moodustavad 19,5%, nendele järgnevad naftasaadused (11,6%) ja kaugküte (8,7%). Väike osa (3,4%) on endiselt kaetud söetoodetega (tahked kütused).

Kaugkütte osakaal on erinevates riikides erinev. Joonis 1.8 illustreerib elamute kütmiseks kasutatavate erinevate kütteviiside jaotumist Euroopas. Soojust toodetakse kas individuaalselt või ühest suuremahulisest

kollektiivsest võrgust, milleks on enamasti kaugkütte-, gaasi- või elektrivõrk. See näitab mitmekesisuse ulatust alates riikidest, kus on kasutusel peamiselt individuaalne elamuküte, kuni riikideni, kus soojuse tootmine põhineb peamiselt kollektiivsetel struktuuridel.



(a)

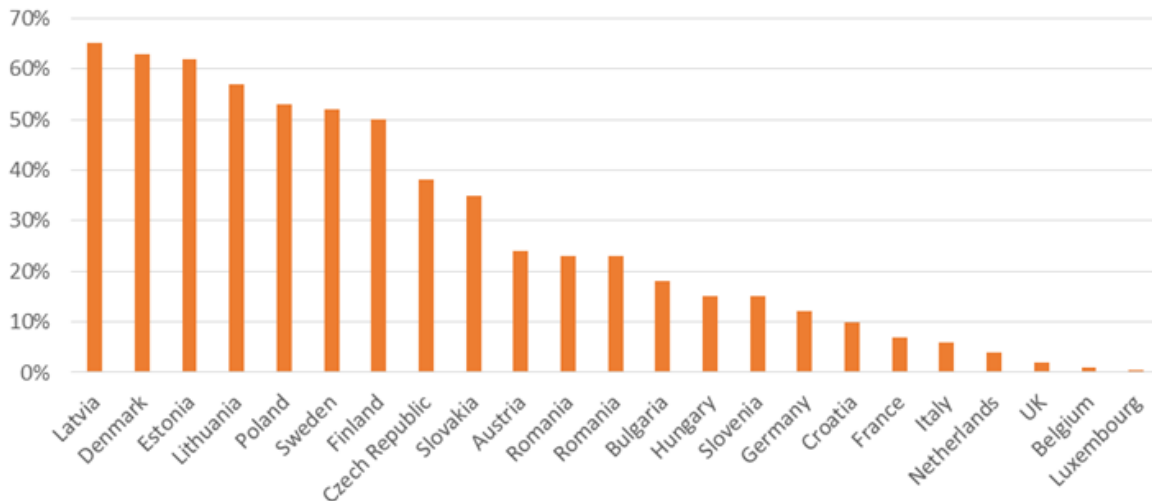


(b)

Joonis 1.8. Elumajade soojusallikad a) Erinevate kütteviiside jaotumine ELi liikmesriikides ; b) soojuse enimlevinud edastamise viis ELi liikmesriikides (allikas: Bertelsen, N.; Vad Mathiesen, B. EU-28 Residential Heat Supply and Consumption: Historical Development and Status. *Energies* 2020, 13, 1894)

Joonisel 1.8 b on näidatud enim kasutatud soojuse edastamise meetodid riigiti. Kolmes riigis (Taani, Soome ja Rootsi) on kaugküte enim kasutatav elamukütte tüüp. Kaheksas riigis tarbitakse suurim osa hoonete küttest gaasivõrgust.

Kaugkütte potentsiaal on tohutu ja isegi kui tarbimine oluliselt väheneb, mõjutab see ainult olemasolevaid võrke. See annab kaugkütele võimaluse laieneda kogu maailmas. Paljudes riikides on kaugkütte osakaal alla 25% (joonis 1.9). Linnastumise jätkumisel ja asjakohaste investeeringute tegemisel võib kaugküte 2050. aastaks katta ligi poole Euroopa soojustarbimisest.



Joonis 1.9. Kaugkütet tarbivate elanike osakaal ELi riikides (muude puhul vähem kui 2%), 2019 (allikas: District heating and cooling country by country, 2019, Euroheat and Power)

Seega on kaugküte energiabilansi oluline osa. Enamgi veel – kaugküte mängib olulist rolli keskkonna aspektist vaadatuna. Kaugkütte abil on võimalik linnades õhusaastet vähendada tänu keskkonnasõbralikumatele põletustehnoloogiatele ja rangemale kontrollile, samuti kasutada energiaallikaid, mis muidu raisku läheksid. Kaugküte pakub võimaluse tõhusamalt elektrit toota, kasutades soojuse ja elektri koostootmist; see võimaldab erinevaid energiaallikaid kombineerida. Uurimustulemused on näidanud, et eluaseme kaugküttega ühendamine on kasulik, kui aastas tarbitakse rohkem kui 50 GJ (umbes 14 MWh) soojusenergiat ja eritarbimine ületab 2 GJ/m (umbes 0,6 MWh/m). Näiteks vastab see energiakogus Prantsusmaal 100 m² põrandapinnaga või Kreekas 150 m² põrandapinnaga maja aastasele küttevajadusele. Mõlema näite korral on tegemist suhteliselt sooja kliimaga, mis tähendab, et teoreetiliselt on kasulik peaaegu iga hoone Euroopas kaugküttega ühendada.

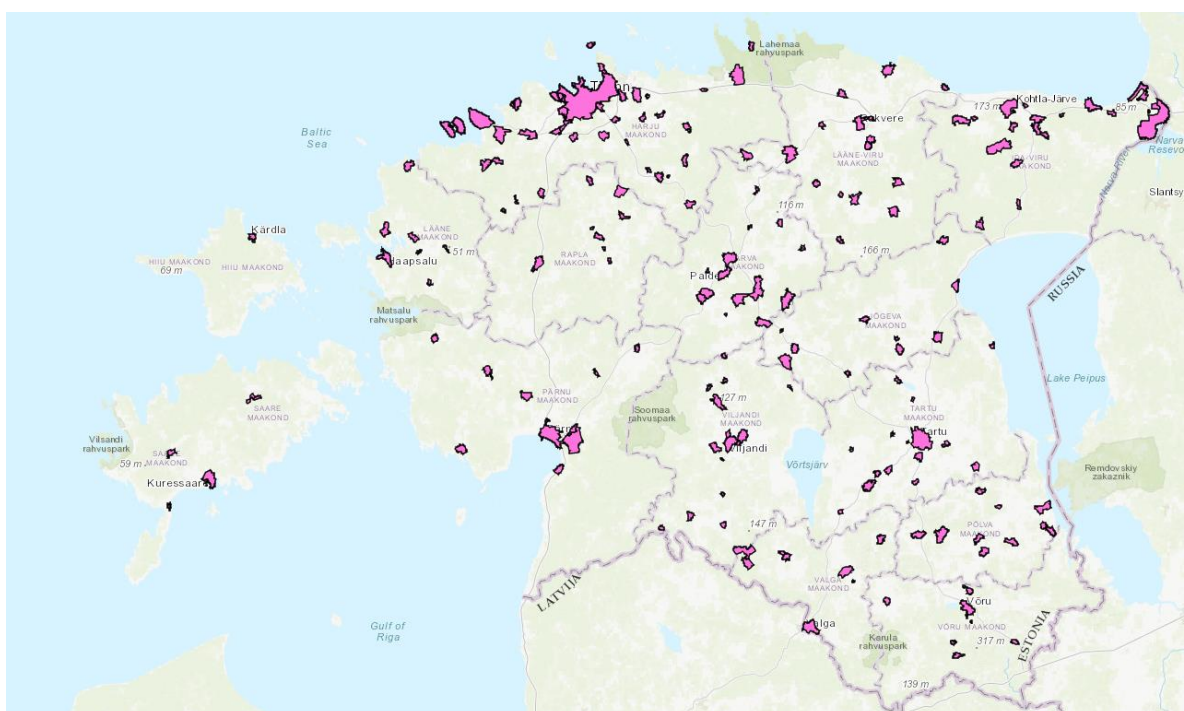
1.2.2 Kaugküte tänapäeva Eestis

Peamised energiatõhususega seotud trendid Eesti kaugküttesektoris on hoonefondi ja torustike renoveerimine, vanade fossiilkütustel katelde asendamine puiduhakkekateldegaga ja koostootmisjaamade rajamine, kui selleks on võimalus. Eesti Keskkonnainvesteeringute Keskus (KIK) toetab järgmisi kaugküttevaldkonna projekte: kaugküttekatelde rekonstrueerimine, amortiseerunud ja ebaefektiivsete kaugküttetorustike renoveerimine ja soojusmajanduse arengukavade koostamine. Aastatel 2015–2020 rahastas KIK kokku 308 eelmainitud kaugküttevaldkonnaga seotud projekti. Nendest arvuliselt suurima, kuid rahaliselt väikseima osa moodustas soojusmajanduse arengukavade koostamine. Soojusmajanduse arengukavades välja toodud suuniste alusel koostati 123 amortiseerunud ja ebaefektiivse soojustorustiku

renoveerimise või uue soojatorustiku rajamise projekti ning 61 kaugküttekatlamaja renoveerimise projekti. Soojustorustiku renoveerimise ja rajamise projektide puhul moodustas toetussumma 43% koguinvesteeringute mahust. Katlamaja renoveerimise projekti käigus vahetati välja fossiilkütustel töötavad amortiseerunud katlad, näiteks põlevkiviõli- ja maagaasikatlad asendati biomassi kasutavate kateldegaga. Vajalikest investeeringutest 47% tuli KIKi toetustest.

Toetusrahadest üle 90 miljoni euro tuli Euroopa Regionaalarengu Fondist ja Euroopa Liidu Ühtekuuluvusfondist aastatel 2007–2018, kuid koos ettevõtete panuse ja kohalike omavalitsuste omafinantseeringutega ulatus nendel aastatel koguinvesteeringute maht eelmainitud tegevuste elluviimiseks üle 200 miljoni euro.

Eestis on kokku veidi üle 230 kaugküttevõrgu (joonis 1.10), millest üle 130 kasutab osaliselt või täielikult kütusena puiduhaket või muud puidupõhist kütust (halupuit, puidugraanulid). Tipukoormused kaetakse tihti siiski veel maagaasil või põlevkiviõlil töötavate katelde abil, samuti on need katlad paljudes kohtades reservkateldeks. Kõikidest kaugküttevõrkudest 11 kasutavad kütusena turvast, kuna turvas on kohalik kütus, mille hind on stabiilne. Jätksuutliku ja keskkonnasõbraliku kütelahendusena võib välja tuua ka tsentraalsed soojuspumbad, mida kasutatakse kolmes kaugküttevõrgus. Lisainfo: [Nutisoojus](#).

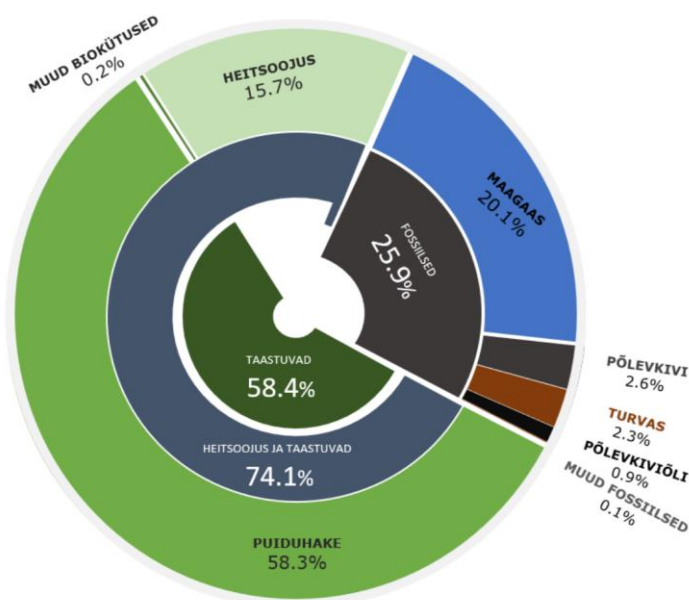


Joonis 1.10. Eesti kaugküttepiirkondade kaart (allikas: Heat Pump Potential in the Baltic States, NordPub, 2021)

Väga halvas seisukorras on hetkel Eestis väga vähesed kaugküttevõrgud, mille torustikud ja katlamajad on renoveerimata ning võrgu jätkusuutlikkus kaheldav. Nende võrkude halb seisukord on tingitud tarbijate arvu kriitilisest vähenemisest – võrku on alles jäänud väga vähe tarbijaid, kelle ruumiline paiknemine on hajus ning võrgu renoveerimine ei ole enam kulutõhus. Kõikidest Eesti kaugküttevõrkudest on täielikult või osaliselt renoveeritud 90%, täiesti renoveerimata on torustik 10% kaugküttevõrkudes.

Põhiliselt tänu toetustele on viimase kaheksa aasta jooksul koostatud üle 150 soojusmajanduse arengukava, mis tähendab seda, et enamikul Eesti asulatest on soojusmajanduse arengukava olemas. Harilikult koostatakse soojusmajanduse arengukava järgmise 10–15 aasta kohta. Arengukavas antakse ülevaade asula üldisest olukorrast ja võimalikest arengutest. Põhjalik ülevaade antakse asula soojustarbijatest ja olemasolevatest soojusvarustussüsteemidest, tuues välja sojussüsteemide tehnilise olukorra. Hinnatakse energiatõhusust ja koostatakse sotsiaal-majanduslik analüüs. Asula jaoks töötatakse välja erinevad soojusvarustuse arengutsenaariumid ja tuuakse eraldi välja ka nende elluviimise viisid ning mõju asulale.

Suuremates linnades, kus asuvad koostootmisjaamad, kasutatakse kaugküttes koostoodetud soojust. Kui selleks on võimalus, siis kasutatakse soojuselektrijaamade heitsoojust – see on tavapärase Ida-Virumaal, näiteks Kohtla-Järve, Jõhvi, Sillamäe ja Narva linna kaugküttevõrkudes saadakse vajalik soojus elektrijaamade heitsoojusest. Puidupõhisel biomassil töötavad koostootmisjaamad asuvad Tallinnas, Tartus, Pärnus, Kuressaares, Rakveres ja Valkas (Läti) ning biogaasi kasutavad koostootmisjaamad Paides ja Aravetel.



Joonis 1.11. Toodetud soojuse jaotus selle tootmiseks kasutatud kütuse/energia järgi kaugküte sektoris (allikas: Eesti kaugküte sektori CO₂ heitmed, 2021)

2021.aasta [Eesti kaugkütte sektori uurimistöö](#) näitas, et enamus soojusest (58.4%) on toodetud taastuvkütustega. Peamine taastuvkütus on puiduhake (üle 99% soojuse tootmiseks kasutatud taastuvkütustest). Heitsoojusega toodetud soojuse osakaal on 15.7%. Fossilsete kütuste osakaal on 25.9%, millest 3/4 moodustab maagaas (Joonis 1.11).

1.2.3 Kaugkütteettevõtted

Eestis tegutsevad suuremad kaugkütteettevõtted on Utilitas OÜ, Gren Eesti AS, Adven Eesti AS, SW Energia OÜ ja N. R. Energy OÜ.



Utilitas

Utilitas on Eesti suurim kaugkütteettevõtte nii tootmise mahu kui ka tarbijate hulga poolest. Ettevõtte on investeerinud sadu miljoneid eurosid kaugküttesektori kaasajastamisse ja taastuvkütuste osakaalu tõstmisse energiatootmises. Taastuvkütuseks on Utilitases peamiselt puidupõhine biomass.

Utilitas OÜ kontserni kuuluvad Eestis kaugkütteenust osutavad ettevõtted Utilitas Tallinn AS, Utilitas Eesti AS ja Tallinnas elektrit ja soojust tootev Utilitas OÜ Tallinna Elektri jaam. Utilitase nime kannab kontsern alates 2013. aastast, varem tegutses ettevõtte Elekter ja Küte OÜ nime all, mis hõlmas aktsiaseltse Tallinna Küte ja Eraküte ning osaühingut Tallinna Elektri jaam. Ettevõttes töötab praegu ligikaudu 250 inimest.

Tallinna ühtses võrgupiirkonnas toodavad soojust 15 Utilitase katlamaja erinevates Tallinna piirkondades ja kolm koostootmisjaama – Tallinna Soojuselektri jaam I ja II (Väo I ja Väo II) ning Mustamäe koostootmisjaam. Kõik Utilitase koostootmisjaamad kasutavad kütusena puiduhaket. Lisaks Tallinnale tegutseb Utilitas Haapsalus, Jõgeval, Keilas, Valgas, Kärdlas ja Raplas. Ka nendes linnades toodetakse soojust baaskoormus puiduhakel töötavate kateldegaga. Kõik Utilitase kaugküttesaadused on saanud tõhusa kaugkütte määrgise.

Kokku haldab Utilitas 537 km võrke ja käitab 26 katlamaja. Utilitas varustab soojust veidi alla 5000 hoone.



Adven Eesti AS

Adven on Soome energeetikaettevõtte, mis tekkis 2012. aastal Fortumi Soome ja Eesti tööstusenergiaettevõtete müümisel. Praegu tegutseb Adven lisaks Eestile ja Soomele laialdaselt ka Rootsis ja vähemal määral Lätis (Cēsis, Valmiera).

Eestis pakub Adven kaugkütet paljudes suuremates ja väiksemates asulates ning osaliselt ka Tallinnas. Adveni soojust tarbitakse Adaveres, Aseris, Haabneemes, Kundas, Kostiveres, Laagris, Loos, Narva-Jõesuus, Põltsamaal, Sael, Sõmeral, Viimsis, Viiratsil, Viru-Nigulas, Väike-Maarjas ja Vändras. 2021. aasta seisuga on nendest võrkudest kolmeteistkümnele omistatud tõhusa kaugkütte märgis.

Advenil on Eestis ka kolm koostootmisjaama. Suurim neist asub Rakveres ja kasutab kütusena puiduhaket. Teised koostootmisjaamad, mille nii soojuslik kui ka elektriline võimsus on alla 1 MW, asuvad Põhja-Tallinnas ja Nõmmel ning kasutavad kütusena maagaasi.

Lisaks kaugküttele pakub Adven ka tööstuslikke energeetikalahendusi, näiteks on Adveni energiakeskused Rakvere Farmides, Rannarootsi lihatööstuses, Rocca al Mare kaubanduskeskuses, Orkla Eesti tehases, Viimsi spaas, DSV logistikakeskuses, Ülemiste keskuses ja E-Piima tehases. E-Piima energiakeskus varustab ka Põltsamaa linna kaugküttesoojusega.



Gren

Gren (alates 2021. aastast Fortumi asemel) pakub ja tarnib soojust ja elektrit erinevates Balti riikide linnades. Eestis tegutseb Gren Tartus ja Pärnus, tootes mõlemas linnas nii soojust kui ka elektrit. Soojusega varustatakse linnaelanikke, ettevõtteid ja asutusi. Mõlemas linnas asuvad koostootmisjaamad kasutavad kütusena puiduhaket ja turvast.

Lisaks soojusele pakub Gren nii Tartus kui ka Pärnus kaugjahutust. Tartu kaugjahutusvõrk on esimene ning seni suurim kaugjahutusvõrk Eestis ja Balti riikides.



SW Energia

SW Energia OÜ on 1999. aastal loodud ning Eesti kapitalil põhinev ettevõtte, mis tegutseb peamiselt väiksemates Eesti linnades ja asulates. SW Energia pakub kaugkütteteenust 48 võrgupiirkonnas, millest 32-le (2021) on omistatud märgis „Tõhus kaugküte“. SW Energia on rohkem kui poolte Eesti kohalike omavalitsuste energiapartner.

SW Energia kaugküttevõrgud on Ala külas, Alus, Arukülas, Haibas, Harkus, Helmes, Ilmatsalus, Järvakülas, Kanepis, Kehras, Kehtnas, Kohilas, Krootusel, Kärlas, Käärdis, Luunjas, Mustlas, Mõisakülas, Nõos, Olginas, Padisel, Paikusel, Paldiskis, Papsaares, Parksepas, Päril, Rakkes, Raplas, Salmel, Sangastes, Saugas, Seljametsal, Sinimäel, Tõraveres, Tõrvas, Türil, Türisalus, Uulus, Vana-Antslas, Võisikul, Öisul ja Ülenurmes.



N. R. Energy

N. R. Energy OÜ on 1997. aastal loodud ning Eesti kapitalil põhinev ettevõtte, mis tegutseb põhiliselt Eesti väiksemates asulates. Ta varustab soojusega 19 kaugküttevõrku üle Eesti, millest kümnele on omistatud tõhusa kaugkütte märgis, veel kolmele seda taotletakse.

N. R. Energy opereeritavad kaugküttepiirkonnad asuvad 2021. aasta seisuga Aravetel, Abja-Paluoja, Järva-Jaanil, Kaereperes, Keila-Joal, Kiilis, Kloogal, Koigis, Laekveres, Loksal, Märjamaal, Oisus, Päinurmel, Roosna-Allikul, Rummus, Rõngus, Tapal, Tarbjal, Tartus (Märjal), Tarvastus, Turbas, Türi-Allikul ja Vana-Võidu külas.

Tabel 1.4 näitab, kuidas jaotuvad Eesti kaugküttevõrgud suuruse järgi.

Tabel 1.4. Eesti kaugküttevõrkuse jagunemise suuruse järgi

alla 1000 MWh	1000–5000 MWh			5000–15 000 MWh	15 000–40 000 MWh	40 000 MWh ja rohkem
Ahja G	Abja-Paluoja P, O	Luunja P	Sürgavere P	Aseri G	Ahtme R	Kuressaare P, O
Ala O	Adavere P, O	Mooste T	Tilsi P, O	Elva P, O	Haapsalu P, O	Maardu P, G, W, T
Alavere P	Alu P, O	Muhu P	Tabivere P	Kadrina P, O	Jõgeva P, G	Pärnu P
Järlepa P, O	Aravete O, BG	Mustla P, O	Taebla T	Karksi P	Jõhvi R	Tallinn P, G, O, W, T
Järva-Jaani P, O	Avinurme P	Mustvee P	Turba P, O	Kehra P, O	Järve R	Tartu P, G, O
Kallaste P	Haiba P	Mõisaküla O	Ülenurme P, G	Kohila P, G	Jüri P, O	Viljandi P
Keila-Joa P	Haljala P, G	Mäetaguse P, O	Väätsa P	Kose P, O	Keila P, O	Võru P, O
Koonga P	Harku P, O	Märjamaa P	Väimela O	Kunda P	Kiviõli G	Narva põlevkivi, P, G, O
Käärdi P	Harkujärve G	Nõo P	Vana-Võidu P, O	Kärdla P, O	Laagri G	
Linna küla P	Helme P	Olgina P, G	Vändra G	Loksa P, O	Paide P	
Martna P	Imavere P, O	Olustvere P	Vastseliina P, O	Loo P	Paldiski P, O	
Nõva P	Juuru P	Orissaare P	Viiratsi P, G	Narva-Jõesuu P	Põlva P, T	
Padise P	Kambja P	Palamuse HP	Vinni P, G, BG	Oru G	Rakvere P, G	
Pajusti P, G	Kehtna P, O	Palivere T	Võnnu P	Otepää P	Rapla P, O	
Peetri (Kareda) O	Kiili P, O	Parksepa P	Sinimäe G	Põltsamaa P, G, O	Türi P	
Puurmani P	Klooga P	Puhja P, G	Ardu P	Räpina P, G	Haabneeme P	
Päinurme O	Koigi P, O	Puiga P	Peetri alev G	Saku P, G		
Päri O	Kolga-Jaani P	Püssi G	Tõravere P	Saue P, G		
Pärsama P	Kose-Uuemõisa P, O	Raasiku P	Aruküla P	Sindi G, T		
Ristipalo P	Kostivere G	Rakke P	Merirahu G	Tabasalu G		
Roosna-Alliku O	Krootuse P	Ramsi P	Tarbja P	Tamsalu P		
Ruusa P	Kukuruse O	Roela P	Ilmatsalu O, BG	Tapa O		
Õisu P	Kuusalu P, G	Rummu P	Märja O	Tootsi T		
Tõrva P, O	Kärla P	Rõngu P		Uuemõisa P, T		P – puiduhake
Tudulinna P	Kääpa P	Rõuge P		Väike-Maarja P, G		O – põlevkiviõli
Türi-Alliku O	Laekvere O	Sangaste P		Viimsi P, G		T – turvas
Türisalu O	Lavassaare T	Sauga P, O		Võhma P		G – maagaas
Vana-Antsla P	Lihula P	Saverna P, O				R – uttegaas
Kiikla O, HP	Linnamäe P, O	Sompa R				W – jäätmed
Kaarepere HP	Linte P	Suure-Jaani P				HP – soojuspump
Triigi HP	Luu P	Sõmeru P, G				BG - biogaas

1.2.4 Kaugküte Tallinnas

Tallinna linnas on mitu kaugküttevõrku, mis jagunevad omakorda väiksemateks kaugküttepiirkondadeks. Eraldi võrgupiirkonnad on kesklinn ja Pirita linnaosa, Põhja-Tallinn, Nõmme linnaosa ja Järve keskus. Ülejäänud Tallinna linn moodustab ühtse Tallinna võrgupiirkonna. Tallinna lääne- ja idapiirkonna kaugküttevõrgud ühendati 2010. aastal ühendustorustiku kaudu, tänu millele on võimalik edastada läänepiirkonnast soojust ka kesklinna, Maardu ja Lasnamäe piirkonda ning vastupidi.

Soojuse baaskoormuse katavad Tallinnas koostootmisjaamad: Tallinna SEJ 1 (Väo I), Iru prügipõletusjaam, Tallinna SEJ 2 (Väo II) ja Mustamäe koostootmisjaam. Kõik eelmainitud koostootmisjaamad peale Iru kasutavad kütusena puiduhaket ja vajadusel ka turvast. Suurematest võrku ühendatud katlamajadest võib välja tuua veel Kristiine katlamaja ja Ülemiste katlamaja. Viimast kasutatakse reservkatlamajana, juhul kui Tallinna SEJ 1-s, SEJ 2-s või Iru esineb seisakuid. Nii Kristiine kui ka Ülemiste katlamajas kasutatakse kütusena maagaasi. Tallinna ühtne kaugküttevõrk on saanud tunnustuseks tõhusa kaugkütte märgise.



Joonis 1.12. Utilitase Mustamäe koostootmisjaam (allikas: Utilitase arhiiv)

Tallinna ühtsesse kaugküttevõrku on ühendatud ligikaudu 4000 tarbijat, suurem osa neist asub Tallinna läänepiirkonnas, kus on ka tarbimine kõige suurem. Tallinna läänepiirkonnas (Kristiine, Mustamäe, Õismäe) asub üle 1600 tarbija, kelle aastane tarbimine on 676 GWh. Kesklinna piirkonnas on tarbijaid veidi alla 1300 ja nende aastane tarbimine on 400 GWh. Kõige vähem (veidi üle 1000) on

tarbijaid Lasnamäe ja Maardu piirkonnas, kuid nende aastane tarbimine on suurem kui kesklinna piirkonnas – 477 GWh. Kõige suurema osa, 73% tarbijatest, moodustavad korterelamud.

Tallinna linna kaugküttevõrk on üle 400 km pikk ja sellest 43% on renoveeritud, torustiku keskmine vanus on 23 aastat. Kütteperioodi jooksul moodustavad soojuskaod Tallinna kaugküttevõrgus ligikaudu 10%, väljaspool kütteperioodi, kui tarnitakse soojust vaid sooja tarbevee jaoks, on soojuskaod suuremad, üle 30%.

1.2.5 Kaugküte Tartus

Tartus tarbib kaugkütet ligikaudu 1900 hoonet, millest 60% moodustavad elumajad. Tartus on üks koostootmisjaam, Tartu Elektriyaam, ja kuus suuremat katlamaja: Anne, Ropka, Aardla, Tuglase, Tulbi ja Tarkoni. Viimane neist on rekonstrueerimisel. Lisaks eelmainituile on Tartus veel mõned väiksemad katlamajad. Kokku on installeeritud soojusvõimsus 303 MW.

Tartu Elektriyaam valmis 2009. aastal ning tarbib kütusena puiduhaket ja turvast. Tartu Elektriyaam asub Lohkva külas Luunjas, Annelinna (Tartu linnaosa) lähedal. Selle elektriline võimsus on 25 MW ja soojuslik võimsus 50 MW.



Joonis 1.13. Greni Tartu Elektriyaam (allikas: Fortumi arhiiv)

Jaama aastane soojustoodang on ligikaudu 300 GWh. Kütteperioodil kasutatakse jaama Tartu linna soojuse baaskoormuse katmiseks. Tartu Elektriyaama lähedal, samuti Lohkva külas asub ka Anne

katlamaja, mille soojuslik võimsus on 36 MW ja mis katab samuti baaskoormuse. Ka Anne katlamaja kasutab kütusena puiduhaket, aga ka saepuru, puidujäätmeid ja turvast. Biomassi kasutab kütusena ka Aardla katlamaja, mis töötab septembrist aprillini. Tuglase, Tulbi ja Ropka katlamaja kasutatakse tipukoormuste katmiseks ning need kasutavad kütusena peamiselt maagaasi. Kõiki energiatootmise komplekse juhitakse Tartu Elektriijaama juhtimiskeskusest. Tartu kaugküttesüsteemi on tunnustatud tõhusa kaugkütte märgisega. Keskmine suhteline soojuskadu on Tartu kaugküttevõrgus ligikaudu 12%.

Lisaks kaugküttele on Tartus olemas ka kaugjahutus, kus kasutatakse nii traditsioonilisi jahutusseadmeid kui ka looduslikku vabajahutust Emajõest. Tartus on kaks külmajaama: Kesklinna ja Aardla. Kesklinna külmajaam asub Emajõe ääres ja selle jahutusvõimsus on 13 MW. Esimene klient, lähedal asuv kaubanduskeskus Kvartal, ühendati jaamaga 2015. aastal. Aardla külmajaam valmis 2017. aastal ja selle planeeritud võimsus on 9,2 MW, millest hetkel on välja ehitatud 5,4 MW. Jaama põhiklient on Tartu Lõunakeskus.

1.2.6 Kaugküte Narvas

Narva kaugküttepiirkonnas elab 60 000 inimest ja kaugkütet tarbivaid objekte on ligikaudu 700. Tarbijate tarbimisvajadus on 333 MW. Narva soojusvõrk saab soojusenergiat Eesti Energia koosseisu kuuluva Balti Elektriijaama renoveeritud koostootmisplokist, mille soojuslik võimsus on 160 MW. Jaam kasutab kütusena põlevkivi ja biomassi. Lisaks on tipukoormuste katmiseks 240 MW maagaasikatlamaja. Aasta jooksul kasutatavatest kütustest moodustab 49% põlevkivi, 25% biomass, 24% maagaas ja 1% põlevkiviõli. Narva kaugküttevõrku on tunnustatud tõhusa kaugkütte märgisega. Võrgu kogupikkus on 77 km ja sellest 50% on renoveeritud. Tänu viimaste aastate renoveerimistöodele on keskmine suhteline soojuskadu vähenenud 18%-lt 12,5%-ni.

1.2.7 Kaugküte Kuressaares

Kaugkütet hakati Kuressaares arendama 1973. aastal. Praegu on Kuressaares kaugküttega ühendatud 321 tarbijat ja võrgu kogupikkus on 34 km. Soojust toodetakse Kuressaare koostootmisjaamas, Kalevi katlamajas ja juhul, kui välisõhu temperatuur langeb alla $-8\text{ }^{\circ}\text{C}$, siis ka Luha katlamajas. Kuressaare koostootmisjaama elektriline võimsus on 2,4 MW ja soojuslik 12 MW, kütusena kasutab jaam puiduhaket. Ka kaks Kalevi katlamaja katelt kasutavad kütusena puiduhaket, ülejäänud kaks katelt Kalevi katlamajas töötavad põlevkiviõlil. Luha katlamajas toodetakse soojust põlevkiviõlist. Kogu installeeritud soojuslik võimsus on 57 MW. Aasta jooksul toodetakse 98,1% soojusest biomassist. suhteline soojuskadu on Kuressaare kaugküttevõrgus ligikaudu 15%. Kuressaare kaugkütet on tunnustatud tõhusa kaugkütte märgisega.

1.2.8 Tüüpiline kaugküte Eesti väikeasulas

Kõikidest Eesti kaugküttevõrkudest moodustavad arvuliselt suurima osa kaugküttevõrgud, milles aastane soojuse tarbimine jääb vahemikku 1000 kuni 5000 MWh. Selliseid kaugküttevõrke on Eestis ligikaudu 90, mis on veidi alla poole Eesti kaugküttevõrkudest. Tavapärane on kaugküttevõrk, milles aastane soojustarbimine on 2300 MWh. Harilikult on sellisel juhul tegemist küla või alevikuga, mille elanike arv on ligikaudu 700. Enamasti kasutatakse baaskoormuse katmiseks keskmiselt 1,5 MW võimsusega puiduhakkel töötavat katelt, mis on paigaldatud toetuste abil viimase viie aasta jooksul. Põlevkiviõlikatel, näiteks Kiviõli-80, mida varem kasutati põhikatlana, on remonditud ja seda kasutatakse reservkatlana ning tipukoormuse katmiseks.

Harilikult on sellise kaugküttevõrgu torustiku pikkus ligikaudu 2–3 km ja torustik on osaliselt või täielikult renoveeritud KIKi toetuste abil. Võtmetarbijateks võrgus on tavaliselt kohalik kool ja lasteaed, munitsipaalhooned moodustavad üldjuhul märkimisväärse osa võrgu soojustarbimisest. Ülejäänud tarbijateks on üldiselt kortermajad, mida on võrgus keskmiselt 5–10.

Sellisele kirjeldusele vastavad Eestis näiteks Adavere, Alu, Avinurme, Harku, Imavere, Kiili, Kolga-Jaani, Krootuse, Luunja, Mustla, Mustvee, Nõo, Olgina, Sangaste, Sõmeru, Tabivere, Vastselliina ja Võnnu. Toetused kaugküte arendamiseks

Eestis Keskkonnainvesteeringute Keskus (KIK) asutati 2000. aastal ja viimased 20 aastat on see olnud üks peamisi keskkonnaprojektide rahastajaid Eestis. Aastatel 2005–2009 sai soojusvarustussektor ERFist ja Eesti keskkonnamaksudest 13,9 miljonit eurot, samal perioodil anti riigieelarvest ja toetusskeemide kaudu energiasäästuinvesteeringuteks 0,9 miljonit eurot. 2009. aastal määras KIK programmi „Taastuvate energiaallikate laiem kasutamine energia tootmiseks“ raames toetusi kohalikele omavalitsustele, mittetulundusühingutele, ettevõtetele ja sihtasutustele. Toetamiseks kasutati Euroopa Regionaalarengu Fondi (ERF) vahendeid. Riik on küttevõrustussektorit toetanud peamiselt läbi keskkonnakaitse ja regionaalarengu eesmärkide.

2009. aasta taotlusvoorus oli jagamiseks umbes 9,6 miljonit eurot ja 17 projekti sai toetust katlamajade ja kaugküttevõrkude rekonstrueerimiseks ning koostootmisjaamade ehitamiseks vastavalt koostootmises ja taastuvatest energiaallikatest toodetud elektrienergia toetusmehhanismile.

KIK haldab riiklikku programmi „Taastuvate energiaallikate laiendatud kasutamine energia tootmiseks ja soojaveevõrkude rekonstrueerimiseks“, mida rahastatakse CO₂ kvootide müügist. See toetab kolme tegevust: taastuvkütustel töötavate elektrijaamade ja elektrienergia

koostootmisjaamade ehitamist, katlamajade renoveerimist ja kaugküttevõrkude renoveerimist soojusülekande kadude vähendamiseks.

2014–2020 eraldati toetust struktuuritoetuse meetmest „Soojusenergia tõhus tootmine ja ülekandmine”. Taotlusvooru kogueelarve oli 18 miljonit eurot, sellest katelde renoveerimiseks 12 miljonit eurot. Soojustorustike renoveerimiseks, uute ühenduste rajamiseks ja uue kaugküttesüsteemi ehitamiseks oli ette nähtud 6 miljonit eurot. Toetust rahastati Euroopa Liidu Ühtekuuluvusfondist.

Toetatavad tegevused olid:

- kaugküttekatelde renoveerimine ja kütuseliigi vahetus;
- amortiseerunud ja ebaefektiivse soojustorustiku renoveerimine;
- soojusmajanduse arengukava koostamine;
- lokaalsete kütelahenduste ehitamine kaugkütte asemele.

Toetust anti „Ühtekuuluvuspoliitika fondide rakenduskava 2014–2020” prioriteetse suuna (energiatõhusus) meetme „Efektiivne soojusenergia tootmine ja ülekanne” eesmärkide elluviimiseks ning soojusmajanduse arengukava koostamiseks, kaugküttekatelde renoveerimiseks ja kütuseliigi vahetuseks ning amortiseerunud ja ebaefektiivse soojustorustiku renoveerimiseks. Toetust rahastati Euroopa Liidu Ühtekuuluvusfondist, meetme töötas välja Majandus- ja Kommunikatsiooniministerium.

Kaugküttekatelde renoveerimine ja kütuseliigi vahetus

Toetuse eesmärk oli kaugküttesüsteemides energia kasutamise efektiivsuse suurendamine ja tootmissüsteemist pärinevate saasteainete heitkoguste vähenemine. Toetust anti soojuse tootmise seadme renoveerimiseks (kuni 50% projekti kuludest).

Uued kaugküttepiirkonnad

Toetuse eesmärk oli kaugküttesüsteemides energia kasutamise efektiivsuse suurendamine ja tootmissüsteemist pärinevate saasteainete heitkoguste vähenemine. Toetust anti uue kaugküttesüsteemi rajamiseks (kuni 50% projekti kuludest).

Soojustorustike uuendamine

Toetuse eesmärk oli kaugküttesüsteemides energia kasutamise efektiivsuse suurendamine ja tootmissüsteemist pärinevate saasteainete heitkoguste vähenemine. Toetust anti soojustorustiku renoveerimiseks (kuni 50% projekti kuludest).

Soojusmajanduse arengukavad

Toetuse eesmärk oli soojusmajanduse arengukava alusel eelduste loomine energia lõpptarbimise vähendamiseks, sealhulgas soojusenergia efektiivsema tootmise ja edastuse arvelt. Toetust anti soojusmajanduse arengukava koostamiseks ja varem koostatud soojusmajanduse arengukavade kaasajastamiseks. Taotlejad said kohalikud omavalitsused, kelle territooriumil oleva võrgupiirkonna kohta soojusmajanduse arengukava oli kinnitatud. Toetuse maksimaalne osakaal abikõlblikest kuludest projekti kohta oli kuni 90%. Toetuse maksimaalne summa ühele projektile oli 5000 eurot.

1.3 Kontrollküsimused

- 1) *Kaugkütte levik algas suuremates linnades ligikaudu 150 aastat tagasi. Mis olid tol ajal need tingimused, mis hoonel pidid olema täidetud, et ühineda kaugküttevõrguga?*
- 2) *Kus ja millal alustas tööd Eesti esimene kaugküttesüsteem? Mis oli esimese kaugküttesüsteemi rajamise ajendiks?*
- 3) *Millistes Euroopa riikides on kaugkütte osakaal soojusenergia sektoris suurim, millistes väikseim? Miks?*
- 4) *Milline on Euroopas hoonete energiatarbimise tulevikuprognosis, milline aga kaugküttesoojuse tarbimise prognoos? Mida sellest järeldada?*
- 5) *Milliseid kaugküttega seotud tegevusi on toetatud Euroopa Liidu Ühtekuuluvusfondist?*

2 Neljanda põlvkonna kaugkütte kontseptsioon

Neljanda põlvkonna kaugkütte idee pärineb Taani ja Rootsi teadlastelt, kes pakkusid vastava kontseptsiooni välja 2014. aastal. Selle järgi võib kaugkütte arengu jagada neljaks põlvkonnaks. Lihtsustatult saab iga põlvkonda kirjeldada torusüsteemi paigutuse, soojuskandja tüübi ja temperatuuri abil (tabel 2.1). Kaasajal võib enamikku võrke kirjeldada kui teise ja kolmanda põlvkonna segu.

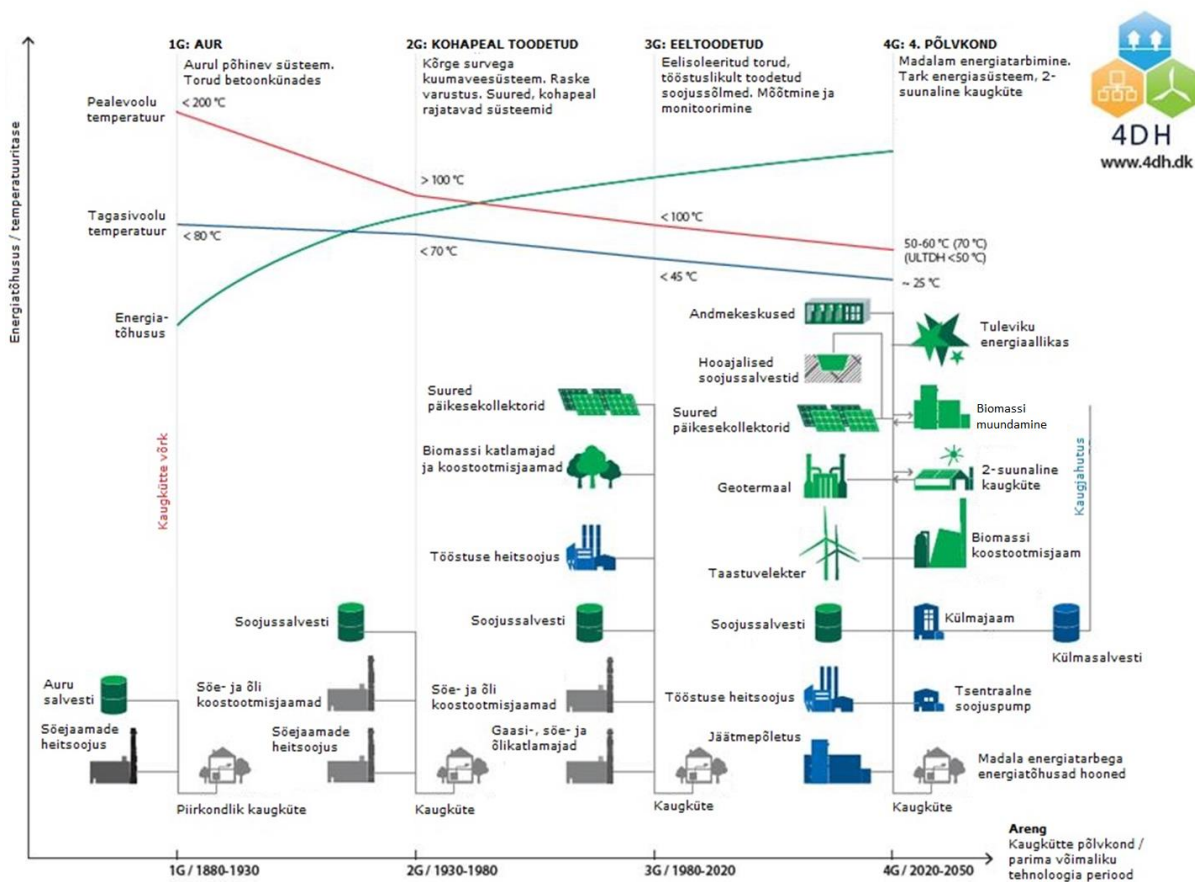
Tänapäeval jagatakse võrke kõige sagedamini temperatuuri järgi; rühmi on kolm:

- **kõrgetemperatuurilised** võrgud, milles soojuskandja temperatuur on üle 80 °C;
- **madalatemperatuurilised** võrgud, milles soojuskandja temperatuur on vahemikus 55 kuni 80 °C;
- **väga madala** temperatuuriga võrgud, milles soojuskandja temperatuur ei ületa 55 °C kogu aasta vältel.

Lisaks võrgu omadustele soovitati kaugkütte põlvkondade määratlemisel kasutada ka muid kriteeriume: soojusallika tüüp ja mitmekesisus, võrgu suurus, elektri- ja kaugjahutusvõrkude sidusus, soojuse ja elektri koostootmisjaamade ning soojuse salvestamise võimaluse olemasolu jne. Tabelis 2.1 on toodud kaugkütte põlvkondadeks jagamise kriteeriumid. Kaugkütte põlvkondade kontseptsiooni on graafiliselt kujutatud joonisel 2.1.

Tabel 2.1. Kaugkütte põlvkondadeks jagunemine lihtsustatult

Põlvkond	Soojuskandja	Temperatuuri tase	Torustik
1. põlvkond	Aur	140–180 °C	Betoonkanal, mineraalvill
2. põlvkond	Vesi	100–130 °C	Betoonkanal, mineraalvill
3. põlvkond	Vesi	70–100 °C	Maa-alune, eelisoleeritud
4. põlvkond	Vesi	Kuni 60 (70) °C	Maa-alune, eelisoleeritud



Joonis 2.1. Kaugkütte põlvkonnad (allikas: Thorsen, J. E., Lund, H., & Mathiesen, B. V. (2018). "Progression of District Heating – 1st to 4th generation")

2.1 Põlvkonnad

2.1.1 Esimene põlvkond

Kaugkütte esimese põlvkonna peamiseks eripäraks oli see, et soojuskandjana kasutati auru, sest pumbad ei olnud sellel ajal suutelised transportima kuuma vett piisavalt kaugele. Tarbijagrupid võisid ulatuda mõnest väiksemast tööstusest, mis kasutas auru oma tootmisprotsessides, kuni suurte soojustarbijateni nagu haiglad ja suured elumajade kompleksid. Lisaks peeti auru heaks soojuskandjaks selle suure soojusmahtuvuse tõttu. Auru tootmiseks olid katlad; tollaegsed elektrijaamad ei töötanud kondensatsioonirežiimis, seega oli kuum aur kättesaadav. Sellised küttesüsteemid tekkisid esimesena USAs 1880. aastatel. Pääaegu kõik kaugküttesüsteemid nii USAs kui ka Euroopas, mis rajati kuni 1930. aastani, kasutasid sellist tehnoloogiat.



Joonis 2.2. Kaugkütterajatised New Yorgis (allikas: Unsplash, foto: E. Hoover)

Veel tänapäevalgi on töös mõned aurul põhinevad kaugküttesüsteemid, näiteks New Yorgis Manhattani ja Pariisis (joonis 2.2). Mõlema linna soojusvajaduse tihedus on tohtu, mis vähendab aurul põhineva vana tehnoloogia kasutamise kulusid. Teised linnad nagu Salzburg, Hamburg, München ja Kopenhaagen, mille kaugküttesüsteem põhines pikka aega samuti aurul, on tänaseks viinud oma kaugküttesüsteemid üle kuumale veele. Aurutorustik paiknes tavaliselt betoonkünades ja see soojustati torustiku ehitamise käigus esialgu puiduga ning hilisemal ajal mineraalvillaga. Kaugkütte laiem levik, eriti just 1930. ja 1950. aastatel, tõi välja aurul põhineva kaugküttesüsteemi kitsaskohad: suured rajamise ja töös hoidmise kulud, vajadus keeruka kondensatsioonisüsteemi järele, suured soojuskaod kõrgete töötemperatuuride tõttu ja süsteemi laiendamise keerukus, juhul kui tekib vajadus liita süsteemi uusi tarbijaid. Lisaks väheneb kõrgete temperatuuride kasutamisel elektrijaama kasutegur ja madala temperatuuriga soojusallikate kasutamise võimalus.

2.1.2 Teine põlvkond

Teise põlvkonna kaugkütte peamiseks eripäraks on ülekuumendatud vee (üle 100 °C) kasutamine soojuskandjana. See on märkimisväärne erinevus, võrreldes esimese põlvkonna kaugküttesüsteemiga, kus kasutati soojuskandjana auru. Üleminek aurult ülekuumendatud veele tõi kaasa mitmeid eeliseid:

- kondensatsioonielektrijaamade kõrgem kasutegur;
- tagasivooluvee kogumine oli lihtsam ja madala "kvaliteediga" energia tagasivooluvees leidis edasist kasutust;
- kasulik mehaaniline töö on maksimaalne;
- süsteemi rajamine ja töös hoidmine on lihtsam, ja seda ka muutuva koormuse korral;
- tarbimise mõõtmine on lihtsam;
- üleminek aurult ülekuumendatud veele võimaldas rajada suuremaid soojusvõrke, mis vähendas nõudmisi katlamaja või jõujaama asukohale;
- vähenes lekkerisk ja võimalikud tagajärjed;
- suurem varustuskindlus (näiteks tugevast vihmajärgest tingitud üleujutuse korral).

Teise põlvkonna kaugküte domineeris kaugküttesüsteemides 1930. kuni 1980. aastateni. Jaotusvõrk koosnes tavaliselt kahest torust: pealevoolu- ja tagasivoolutoru. Nõukogude Liidus rakendati kaugküttes mingil määral avatud süsteeme, mis tähendab seda, et hoone küttesesi ja ka soe tarbevesi tulid otse kaugküttetorustikust. Hoone küttesüsteemi ja üldise kaugküttesüsteemi vahel ei olnud soojusvahetit. Tallinnas ja Maardus leidub veel tänapäevalgi hooneid, kus avatud süsteem on kasutuses.

Ülekuumendatud vee kasutamine kaugküttes võimaldas suurte elektrijaamade heitsoojust kasutada palju efektiivsemalt, mõnest neist oli võimalik üsna lihtsalt konstrueerida koostootmisjaam.

Peale- ja tagasivoolutorud paigaldati endiselt betoonkünadesse nagu ka esimese põlvkonna kaugküttesüsteemide puhul. Teise põlvkonna algusaastatel oli kaugküttetorude diameeter nii suur, et seal sees mahtus inimene kõndima. Hiljem, kui kaugküttelealased teadmised arenesid, muutus torude läbimõõt väiksemaks.

Kiirendamiseks torustike rajamist ja vähendamaks kulusid, töötati välja eelvalmistatud toruelemendid. Sellegipoolest oli vaja kohapeal rajada torustiku mitmed elemendid, näiteks ventiilikohad, laiendused, ankruelemendid, äravooluseadmed jne, mis muutis torustiku ehitamise aeganõudvaks ja kulukaks. Teise põlvkonna kaugküttetorustikud rajati enamasti pikisuunalise kaldega, juhtides sissetuleva vee

äravoolukanalisse, mis asus kanalisüsteemi madalamas osas. Pikisuunaline kalle andis võimaluse ventileerida torustikke kõrgemas osas ja kuivendada madalamates osades.

Torude soojustamiseks kasutati mineraalvilla, mis mähiti tekstiili abil toru ümber. Soojustamine tehti tavaliselt ehitusplatsil. Kuniks soojustus püsis kuiv, oli selle termiline takistus kõrge, aga kui mineraalvill sai märjaks, näiteks üleujutuse korral, langes termiline takistus märgatavalt. Kuigi teise põlvkonna kaugküttetorustiku projekteeritud soojuskadu oli üsna väike, siis harilikult osutus see suuremaks isolatsiooni kahjustumise tõttu.



Joonis 2.3. Laagna soojusmagistraal enne renoveerimist (allikas: Utilitase arhiiv)

Teise põlvkonna kaugküttesüsteemide tüüpiliste osadena võib välja tuua ka suured manteloru-tüüpi soojusvahetid ja materjalimahukad, suured ning rasked ventiilid. Suured kaugküttevõrgud kasutasid neid tehnoloogiaid, kuid teenuse kvaliteet oli madal ja puudus kontroll soojuse nõudluse üle. Sellist tehnoloogiat leidub siiani näiteks Venemaal ja Serbias ning mõnedes veepõhiste kaugküttevõrkude vanemates osades.

2.1.3 Kolmas põlvkond

Kolmas põlvkond kaugküttes tõi endaga kaasa väiksema materjali- ja tööjõukuluga võrguelemendid ning madalama temperatuuritaseme võrgus. Peamisteks võrguelementideks said eelisoleeritud torud, mis paigaldati maa alla ilma laienemissilmusteta, tehases toodetud kompaktsed soojussõlmed, kõvajoodistega roostevabast terasest kompaktsed plaatsoojusvahetid ja vähese materjalikuluga komponendid (nt kombineeritud ventiilid).

Kolmanda põlvkonna kaugkütte kohta on kasutatud ka terminit *Skandinaavia kaugküte*, kuna peamise arendus- ja turundustöö tegid Skandinaavia ettevõtted. Kaugkütte kolmanda põlvkonna algusajaks võib pidada 1980. aastat ja praeguseks oleme jõudnud kolmanda põlvkonna kuldsete aastate lõpuperioodi. Soojuskandjana kasutatakse tänini kõrge rõhu all olevat vett, mille temperatuur on alla 100 °C.

Kolmanda põlvkonna kaugkütet esitleti esmakordselt 1970. aastatel ja seda on kasutatud peaaegu kõikides uutes ja renoveeritavates projektides alates aastast 1980.

Võrreldes teise põlvkonna kaugküttega, tõi kolmas põlvkond endaga kaasa järgmised hüved:

- vähenesid töös hoidmise kulud;
- temperatuuri alanemine tõi kaasa võrgukadude vähenemise ja katlamajade suurema efektiivsuse;
- madalam temperatuuritase võimaldas kasutada madalama kulukusega või taastavaid energiaallikaid;
- tänu torustiku isolatsiooni termilise takistuse suurenemisele vähenesid võrgukaod;
- eelisoleeritud torude paigaldamine on kiirem ja nende eluiga pikem;
- hakati kasutama torude lekkevastussüsteeme;
- võeti kasutusele soojusmõõdikud, et esitada arved tegeliku tarbimise järgi;
- süsteemi elementide kvaliteet ja efektiivsus tõusid;
- kontrolli- ja seiresüsteemid võimaldasid suurtel süsteemidel optimaalsemalt töötada ja soojuskoormust jagada.

Vähenesid investeerimiskulud:

- eelisoleeritud torud paigaldati otse maasse ilma laienevate ühenduskohtadeta;
- kasutusele võeti väiksema materjalikuluga tööstuslikult toodetud soojussõlmed;
- täiustati kaugküttetorustiku ehitustehnoloogiat, mille eeskujuks oli gaasitorude tehnoloogia;
- torustike rajamisel hakati kasutama kaevamisvabu meetodeid;
- kasutusele tulid kurvilised torud ja eeltoodetud ühenduskohad;
- töötati välja kulutõhusamad ja suuremad normaalrõhul soojussalvestid.



Joonis 2.4. Eelisoleeritud kaugküttetorud (allikas: HeatConsulti arhiiv)

Kolmanda põlvkonna kaugkütte peamised komponendid on eelisoleeritud torud, tööstuslikult toodetud soojussõlmed, mille puhul on keskendutud soojusvahetile, ning seirekomponendid, isolatsioon ja mõõteseadmed kulude jaotamiseks.

Kolmanda põlvkonna kaugkütte peamine eelis teise põlvkonna ees on madalamate töötemperatuuride tõttu suurenenud energiatõhusus ja vähenenud investeeringute ning töös hoidmise kulude maht tänu tööstuslikult eelmonteeritud ja -isoleeritud võrguelementidele. Peale selle on ka tarvitavate kütuste koosseis mitmekesistunud, kuna kasutusele on võetud mitmeid taastavaid

energiaallikaid, mille tulemusena on vähenenud kasvuhoonegaaside emissioon. Läbi kolme kaugküttepõlvkonna on olnud trend soojuskandja madalama temperatuuri, väiksema materjalikuluga komponentide, eeltoodetud võrguelementide ja vähendatud tööjõukuluga paigalduse poole.

Järgides eelpoolmainitud suundi, peaks tuleviku neljanda põlvkonna kaugkütte tehnoloogia rajanema eelmonteeritud komponentidel ja paindlikumatel torumaterjalidel ning kasutama soojuskandja madalamaid temperatuure. Enamgi veel, kaugkütte infrastruktuuri ja tehnoloogia edasiarendamise vajaduse oluline raamtingimus on peamise motivatsiooni muutus ühiskonnas, nimelt muutumine säästvaks energiasüsteemiks, nagu sissejuhatuses mainitud. See eeldab üleüldist taristu planeerimise raamistikku, kus on määratletud olemasolev kaugküttesüsteem ja kohad, kus on mõistlik kasutada kaugkütet ja kus mitte. Lisaks on oluline järgida toimivaid kulupõhimõtteid ja stiimuleid eesmärgiga saavutada optimaalne tasakaal säästuinvesteeringute ja tootmise vahel, samuti taastuvenergia kõikuva tootmise optimaalne integreerimine ühtsesse energiasüsteemi.

2.1.4 Neljas põlvkond

Neljanda põlvkonna kaugküte on määratletud kui tehnoloogiliselt sidus ja riiklikult heaks kiidetud kontseptsioon, mis nutikate soojusvõrkude abil aitab kaasa jätkusuutlike energiasüsteemide arendamisele. Neljanda põlvkonna kaugküttesüsteemis varustatakse madalate kadudega võrkude abil soojusega madalenergiahooneid erinevatest energiaallikatest, mis on ühendatud tarka energiavõrku. Neljanda põlvkonna kaugkütte üldine idee hõlmab riigi ja ettevõtete koostööd, et luua sobiv raamistik kulude ja motivatsiooni struktuurile.

Et täita oma rolli tuleviku jätkusuutliku energiasüsteemina, peab kaugküte võimaldama järgmist:

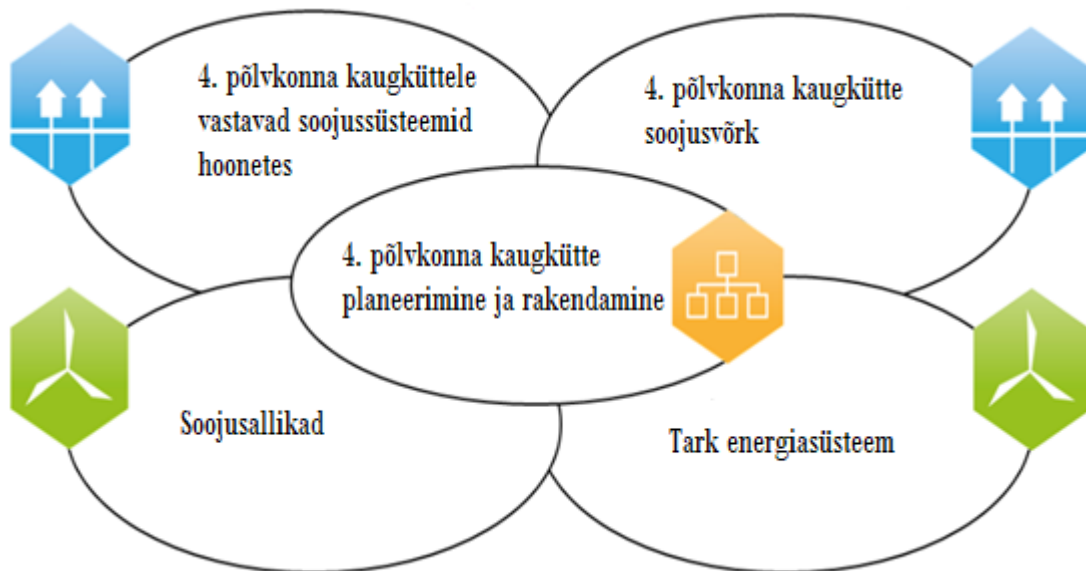
1. varustada soojusega olemasolevaid, renoveeritud ja uusi hooneid madalatemperatuurilise soojuskandjaga ruumide kütmiseks ja sooja tarbevee saamiseks;

2. edastada soojust väikeste võrgukadudega;

3. kasutada madalatemperatuurilisi soojusallikaid ja ühendada süsteemi taastuvaid energiaallikaid nagu päikeseenergia ja maasoojus;

4. olla osa targast energiasüsteemist ja seeläbi aidata lahendada muutlike taastuvenergiaallikate energiavõrku ühendamise kaasnevat probleemi, näiteks tarbimise ühtlustamise ja salvestamise abil;

5. tagada sobivad planeerimis-, kulu- ja motivatsioonistruktuurid seonduvalt nii süsteemi toimimisega kui ka strateegiliste investeeringutega, mida on vaja teha süsteemi kaasajastamise jaoks.



Joonis 2.5. Neljanda põlvkonna kaugkütte kontseptsioon (allikas: H. Lund et al., "4th Generation District Heating (4GDH): Integrating smart thermal grids into future sustainable energy systems" *Energy*, vol. 68, pp. 1–11, 2014)

Mõned neljanda põlvkonna kaugküttesüsteemid on juba olemas uute või renoveeritud võrkudena ja tarbijad on nendega rahul. Kõik need asuvad põhjamaades, kus on kasutusel kaugkütte arenenud infrastruktuur, näiteks Taanis ja Rootsis. Lystrupi (Taani) võrgus on sõltuvalt välistemperatuurist soojuskandja temperatuur 60 kuni 80 °C; kuid testandmed on näidanud, et tarbijate vajaduste rahuldamiseks piisab, kui soojuskandja temperatuur on 50 °C. Sønderbys (Taani), kus kõigil majadel on pörandaküte, on soojuskandja aasta keskmine temperatuur 55 °C. Siiski ei ole seni ühtegi olemasolevat suuremastaabilist võrku määratletud madalatemperatuurilise võrguna või neljanda põlvkonna kaugküttesüsteemina.

Asjaolu, et energiavajadus majapidamises väheneb, eriti uute hoonete puhul, muudab kaugküttevõrgu arendamise väga jäigaks: iga võrguelement peab olema nõuetekohaselt arvatud, võrgu tõhususe seisukohast peavad edaspidise arengu ohutustegurid olema realistlikud ja minimaalsed. Lisaks sellele võib hoonete energiavajadus olla negatiivne: mõned hooned toodavad rohkem energiat, kui nad vajavad. Seega võib tarbija mõnel juhul tootjaks osutada. Selliseid tarbijaid nimetatakse tootvateks tarbijateks (*prosumer*) – definitsioon on tulnud elektrivõrkudest, aga need on

tekkimas ka kaugküttesüsteemides. Selliste kaugküttevõrkude haldamine võib olla väga keeruline rahuldamiseks iga võrku kuuluva tarbija vajadusi.

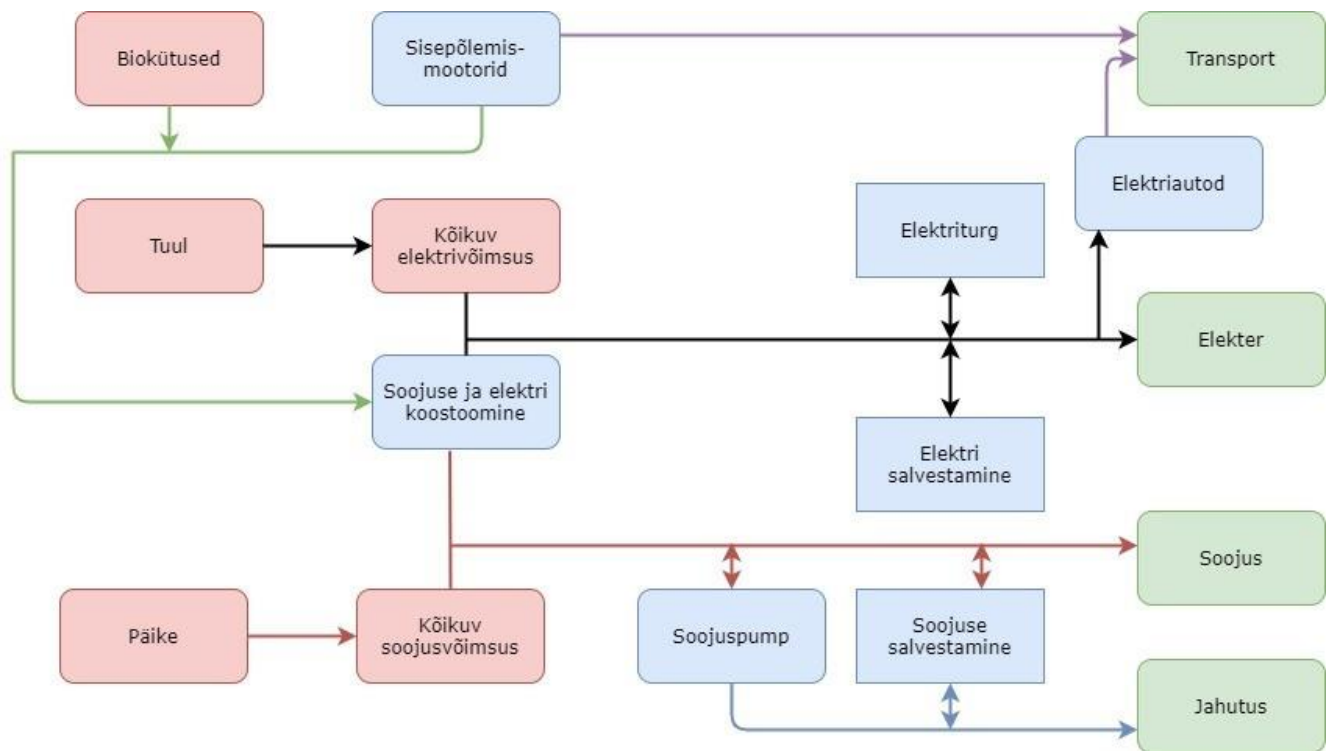
Neljanda põlvkonna kaugkütte peamine mõte on kõrge energiatõhusus ning taastuv- ja jääkenergia kasutamise suur osakaal. Süsteemi tõhusus saavutatakse peamiselt temperatuuri langetamise ja võrgugeomeetria optimeerimise abil. Taastuv- ja jääkenergia kasutamise võimalikkus tuleneb temperatuuri langusest ja tehnoloogia arengust sellistes valdkondades nagu soojuspumbad ja päikesekollektorid.

Paljud uuringud näitavad, et peale- ja tagasivoolu temperatuur on kõigi kaugküttevõrkude jaoks oluline, olenemata sellest, millise põlvkonna süsteemiga tegu on. Madalam temperatuuritase annab võimaluse kasutada madala temperatuuriga energiaallikaid, soojuspumbatehnoloogiat, soojustootmisprotsessis suitsugaaside kondensaatorit, ja vähendab soojuskadusid kaugküttevõrgus. Madalatemperatuuriliste tehnoloogiate kombinatsioon võimaldab kasutada peaaegu igat liiki taastuvenergia ressursse, näiteks päikese- või geotermaalenergiat.

Päikeseenergia osakaal kaugküttes on viimastel aastatel kiiresti kasvanud – primaarenergia on väga madala hinnaga, kuna kogumise, salvestamise ja energia muundamise tehnoloogiad on muutunud majanduslikult tõhusamaks, et konkureerida traditsiooniliste kütuste põletamisega. See kehtib ka teiste jääksoojuse allikate kohta, näiteks maasoojusenergia, jahutus- ja tootmisprotsesside jääksoojus jne.

Tarkades energiasüsteemides peaks 4.põlvkonna kaugküttesüsteem olema integreeritud elektri-, jahutus-, kütuse- ja transpordisektoriga. See on võimalik ainult siis, kui nõudlus on paindlik ning erinevates sektorites on kasutusele võetud mitmesugused lühi- ja pikaajalised energia salvestuse võimalused.

Joonis 2.6 näitab tulevikus võimalikku tarka energiasüsteemi, arvestades Eesti olusid.



Joonis 2.6. Tark energiasüsteem

Arvestades päikese- (fotogalvaanilise), tuule-, laine- ja loodete energia olemust, saab taastuva energiaallika enda reguleerimisega vähe saavutada. Kuid üldiselt leiduvad integreerimiseks sobivad võimalused ümbritsevas energiasüsteemis, st elektri- ja koostootmisjaamades. Varustuse reguleerimist võivad hõlbustada paindlikud tehnoloogiad, näiteks soojuspumbad ja elektrikatlad. Teiseks integreerumist soodustavaks võimaluseks on energia salvestamise erinevad tehnoloogiad.

Taastuenergia ulatuslik integreerimine olemasolevatesse süsteemidesse peab arvesse võtma taastuenergia allikate muutlikku olemust.

Süsteemid peavad olema projekteeritud nii, et need oleksid võimelised toime tulema taastuvate energiaallikate kõikuva ja vahelduva olemusega, eriti seoses elektrivarustusega. Sellist tulevaste elektrivarustussüsteemide ümberkujundamist on hiljuti määratletud kui tarka elektrivõrku.

Kaugküttesüsteemide edasised arengud mängivad olulist rolli tarkade energiasüsteemide töös, kui targad elektri-, gaasi ja soojusvõrgud ühendatakse, et saavutada kogu süsteemi optimaalne toimimine nii konkreetsete sektorite kui ka kogu energiasüsteemi jaoks.

Ideaalseid neljanda põlvkonna kaugküttesüsteemi komponente võib iseloomustada järgmiselt:

- Tootmine – eelisjärjekorras kasutatakse süsinikuheitme- ja kütusevaba energiat alternatiivsetest allikatest nagu päikeseenergia ja geotermaalenergia. Järgmiseks valikuks võiks olla jäätmete põletamine koostootmisjaamas ning seejärel biomassil töötav koostootmisjaam ning viimase võimalusena fossiilkütus.
- Võrk – minimaalne soojuskadu. Selle saavutamiseks tuleb kasutada torude isolatsiooniks parimat olemasolevat tehnoloogiat, arvutada torude mõõtmed korrektselt ning need optimeeritud paigutada. Soojuskandja pealevoolu temperatuur peab olema vahemikus 55–60 °C ning tagasivoolu temperatuur umbes 20–25 °C tagamaks väikseid kadusid.
- Tarbijal on võimalik kasutada madala temperatuuriga soojusallikat; kasutab ära maksimaalse soojuspotentsiaali; on kindlalt määratlenud koormusgraafiku (ei kasuta kaugkütet kui reservi või tippkoormuse soojusallikat).
- Ühildub tarka energiasüsteemi, sealjuures elektri-, gaasi- ja transpordisüsteemi.

2.1.5 Keskkonnatemperatuuriline (viienda põlvkonna) kaugküte

Erinevalt neljanda põlvkonna kaugküttetehnoloogiast, mis keskendub ainult küttele, on viienda põlvkonna tehnoloogia keskendunud rohkem tarbijale. Selle põlvkonna kaugkütte kontseptsioonis on ühel torustikul mitu eesmärki – lisaks tarbijatele varustatakse nii kütte kui jahutusega ka soojussalvesteid ja külmahoidlaid. Seeläbi pakub viienda põlvkonna kaugkütte kontseptsioon paindlikke võimalusi kohalike taastuvenergiaallikate ja jääksoojuse kasutusele võtmisel.

Viienda põlvkonna kaugküttevõrku võib pidada maasoojuspumbasüsteemi linnale laiendatud lahenduseks. Vastavalt soojuse allikast eraldumise meetodile võib need klassifitseerida avatud ja suletud ahelaga süsteemideks. Avatud ahelaga süsteemides eraldatakse soojusallika keskkond hüdrauliliste pumpade abil ja tühjendatakse pärast energia kasutamist. Energiakaevude süsteemides pumbatakse vesi maa seest ja süstitakse tagasi samasse kaevu.

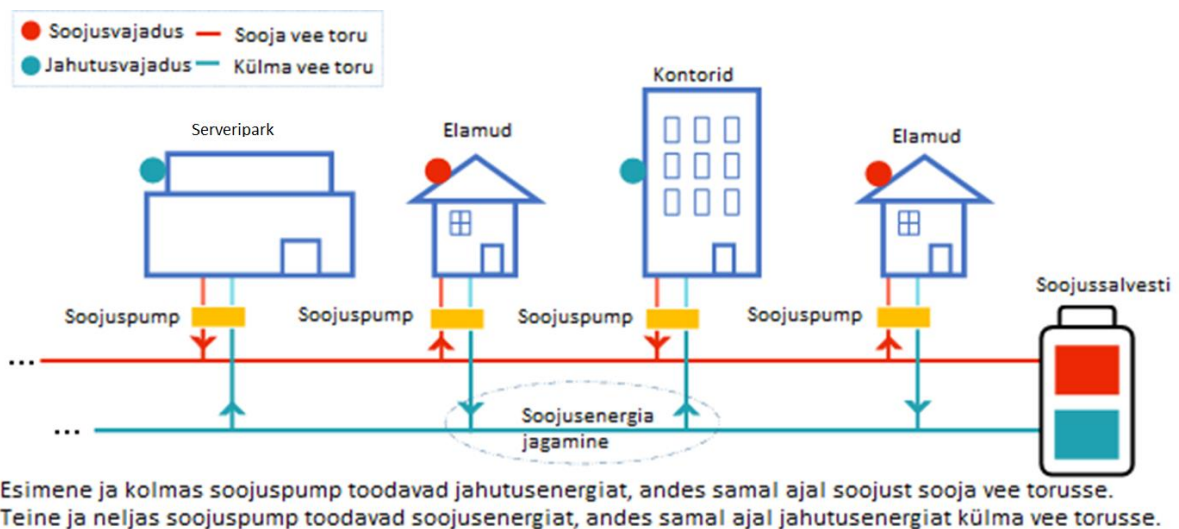
Suletud ahelaga süsteemides vahetab soojuskandja soojusallikaga vaid energiat – küttesüsteemi ja soojusallika kontuurid on eraldatud. Tavaliselt rakendatakse seda vertikaalsete või horisontaalsete soojusvahetitega geotermilistes süsteemides. Vastavalt kontuuride arvule erinevatel temperatuuritasemetel võib viienda põlvkonna kaugküttevõrgud liigitada ühe-, kahe-, kolme- ja neljatorusüsteemideks. Ühetorusüsteemid on avatud kontuuriga süsteemid, mis kasutavad pinna- või põhjavett, kus soojuskandja lastakse pärast soojuspumpade või jahutite soojusenergiaga varustamist ümbritsevasse keskkonda. Kahetorusüsteemis on veekontuur, millega ühendatakse soojuspumbad või

jahutid. Temperatuur toitetorus on kõrgem kui tagasivoolu temperatuur, kui süsteemis domineerib küttevajadus, ning madalam tagasivoolu temperatuurist, kui domineerib jahutusvajadus.

Kolmetorusüsteemidele on paigaldatud täiendav toitetoru, mille abil edasi antavat soojust saab kasutada soojusvahetite abil nii kütmiseks kui ka jahutamiseks. Tagasivooluhulka reguleerib soojuspumpade ja jahutite kõrge või madala temperatuuriga kontuur.

Neljatorusüsteemidel on kaks eraldi toitetoru, mis on määratud töötama vastavalt otseseks kütmiseks ja otseseks jahutamiseks sobival temperatuuril ning mis võimaldab kasutada energiakaskaadi. Samal ajal võib energiavoo suuna ja keskmise voolusuuna järgi klassifitseerida viienda põlvkonna kaugküttevõrgu kahesuunaliseks energiavooluks – ühesuunaline keskvool ja kahesuunaline energiavoog või ilma suunata keskvool. Esimene tüüp on iseloomulik sellistele viienda põlvkonna kaugküttevõrkudele, millel on tsentraliseeritud pumbajaam, kus mõned kasutajad võivad olla kütte- ja teised jahutusrežiimis; teine tüüp on iseloomulik nendele viienda põlvkonna kaugküttevõrkudele, millel on detsentraliseeritud pumbajaamad (üks alajaama jaoks), kus samal ajal võib mõni kasutaja olla kütte- ja teine jahutusrežiimis. Sel juhul võib kaaluda mitut tüüpi hüdraulilisi konfiguratsioone.

Joonisel 2.7 on esitatud viienda põlvkonna kaugkütte põhimõiste madala temperatuuriga, kahesuunalise ja detsentraliseeritud võrgu jaoks.



Joonis 2.7. Viienda põlvkonna kaugkütte kontseptsioon

Tuleb mainida, et viienda põlvkonna kaugkütte ideed saab käsitleda ainult kaugküttevõrkude puhul, mis on ühendatud neljanda põlvkonna kaugküttega.

2.2 Praegune olukord ja väljakutsed

Taastuv ja kütusevaba energia on neljanda põlvkonna kaugkütte peamised soojusallikad ja selle põlvkonna kaugküttevõrkude peamine eesmärk on kasutada taastuvat ja taastoodetud madalatemperatuurilist soojust. Soojus, mis pärineb biomassi või jäätmepõletuse koostootmisjaamast, on väga kasulik kaugküttevõrkudele, kuna on kättesaadav aasta ringi. Koostootmisjaama üleüldist efektiivsust on võimalik tõsta soojussalvesti abil. Madalatemperatuurilistel kaugküttevõrkudel on suur potentsiaal kasutada tööstuslike protsesside ja ärihoonete (näiteks supermarketid) jahutussüsteemide heitsoojust. Isegi kui heitsoojus ei ole saadaval aasta ringi ja see ei ole kooskõlas süsteemi soojusvajadusega, on tegemist siiski kohaliku energiaga. Seega kaugküttesüsteem, mis kasutab ära ka ärihoonete heitsoojuse, on palju keerukam kaugküttesüsteem. Samas on koos soojuse salvestamisega võimalik rohkem heitsoojust ära kasutada. Enamikus Euroopa piirkondades on kasutuskõlblik soe vesi maapinnas olemas. Temperatuuri tase ja veerikkad kihid määravad geotermaalenergia kasutusulatuse, kuid kaugkütte madalamate pealevoolutemperatuuride korral muudab geotermaalenergia soojusjaamade rajamise kaugküttesüsteemide jaoks palju lihtsamaks. Üks hästi teada näide on Island, kus 100% kaugkütte soojusest on geotermaalne. Samas tuleb täheldada, et geotermaalenergia kasutamine kaugküttes algas Islandil alles 1930. aastal, enne seda oli seal soojuse tootmine äärmiselt kallis, kuna peamise kütusena kasutati eksporditud kivisütt.

Päiksega köetavaid süsteeme võib kasutada, et täiendada kaugküttesüsteemi soojusvarustust. Maapealsed suured päikesejaamad võivad asuda pisut linnast eemal ja olla ühendatud kaugküttesüsteemi peamiste jaotusliinidega. Päikeseenergia tipuhooaja ja kütteperioodi suure erinevuse tõttu on hooajaline soojusenergia salvestamine vajalik, et tõsta kaugküttevõrgus kasutatava päikeseenergia osakaalu. Vajaliku temperatuuri hoidmiseks võrgu välimises osas võib kasutada väiksemaid, lühiajalise salvestamisega päikeseküttesüsteeme.

2.2.1 Näited heast praktikast: 100% taastuvenerial põhinevad kaugküttevõrgud

Järgnevalt on esitatud mõned näited 100% taastuvenerial põhinevatest kaugküttevõrkudest.

Miskolc (Ungari)



Joonis 2.8. Geotermaalrajatis Miskolcis (allikas: <http://pannergy.com/>)

Pannergy Plc. koos Miskolci linnavalitsusega on arendanud välja Ungari suurima geotermaalenergia põhineva kaugküttevõrgu. Projekt valmis 2013. aastal. Kütterajatised asuvad Miskolci linna Avasi linnaosa lähedal, kust varustatakse soojusega kohalikke hooneid. Kütterajatises on kaks termaalvee puurkaevu, millest ammutatakse sooja vett. Avas on vulkaanilist päritolu kõrgendik, mis seletab termaalvee head kättesaadavust.

Soojus transporditakse tarbijateni torude ja soojusvahetite abil. Soojuse ära andnud ja jahtunud termaalvesi süstitakse tagasi kolme tagastuskaevu. Kasutatav tehnoloogia kindlustab Kesk-Euroopa suurima geotermaalenergia töötava kütterajatises toimimise. Tänu geotermaalenergia kasutamisele on linnas vähenenud maagaasi tarbimine ja ohtlike heitgaaside emissioon, mis on muutnud Miskolci linna puhtamaks ja paremaks elukeskkonnaks.

Móstoles (Hispaania)



Joonis 2.9. Móstolesi katlamaja (allikas: <https://www.veolia.com/>)

Móstoles on 200 000 elanikuga linn, mis asub Hispaanias, Madridist edelas. Móstolesi linna kaugküttesüsteem on Hispaania kõige suurem ja ambitsioonikam biomassil põhinev kaugküttesüsteem, mis esmajärgus pidi varustama soojusega 3000 majapidamist ning mida hiljem laiendati 7000 majapidamiseni. Lisaks soojusele varustatakse tarbijaid ka sooja tarbeveega.

Büsingen (Saksamaa)



Joonis 2.10. Päiksekollektorid ja biomassi katlamaja Büsingenis (allikas: <https://www.solarcomplex.de/>)

Büsingeni küla asub Saksamaal, kuid piirneb igast küljest Šveitsiga. Külas elab ligikaudu 1400 inimest ja seal on umbes 200 hoonet. Sealne kaugküttevõrk on jaotatud kaheks piirkonnaks. Kuna Büsingeni puhul on tegemist eksklaaviga, siis puudub seal Saksamaa elektrivõrk ja kohalik taastuvenergia ei saa Taastuvenergia Akti (*Renewable Energy Act* ehk EEG) kohast riiklikku taastuvenergia toetust. Seetõttu on Büsingen muutunud omalaadseks taastuvenergia saareks, mis toodab endale vajamineva energia taastuvatest energiaallikatest. Kohaliku kaugküttesüsteemi on ühendatud 110 hoonet ja suurem osa vajaminevast soojusest toodetakse päikeseenergiast. Büsingeni päikesejaama pindala on 1000 m² ja see suudab aastat toota ligikaudu 500–600 MWh soojust, mis katab majapidamiste soojusvajaduse. Selline päikeseenergiat töötav süsteem on Saksamaal ainulaadne. Lisaks on külas kaks puiduhakkel töötavat katelt võimsusega 450 ja 900 kW, ning rapsiõlikatel, et katta tipukoormusi. Veel kuulub süsteemi 100 m³ soojussalvesti. Päikesejaam katab kogu suvise soojusvajaduse, puiduhakke katlad annavad lisa talvisel perioodil. Kombinatsioon päikeseenergiast, puiduhakkekateldest ja suurest soojussalvestist on ülimalt efektiivne, kuna puiduhakkekatel ei pea kunagi töötama osakoormusel. Külla on paigaldatud ka mõned pelletikatlad, et varustada soojusega kaugküttepiirkonnast välja jäävaid tarbijaid.

Türi (Eesti)



Joonis 2.11. Türi katlamaja

Eesti puhul võib lugeda ligikaudu 100% taastuenergiat põhinevaks Türi linna kaugküttevõrku, kus toodetakse soojust põhiliselt biomassist. Türi sarnaseid asulaid, kus peamine osa soojusest toodetakse biomassist, on Eestis rohkelt, kuid Türi kaugküttevõrk on nendest suurim. Türi linna pindala on veidi alla 10 km² ja seal elab ligikaudu 5000 inimest. Türi kaugkütteeoperaator on SW Energia.

Tehnilisest aspektist on Türi kaks eraldi kaugküttevõrku, Tehnika ja Vabriku, mille omavaheline ühendamine on plaanis. Tehnika katlamajas on 4 MW ja Vabriku katlamajas 4,5 MW puiduhakkekatel. Tehnika katlamajas on alles ka 3 MW põlevkiviõlikatel, kuid seda käitatakse vaid avariiolukorras. Sama kehtib ka Vabriku katlamajas asuva 5,6 MW põlevkiviõli kasutava katla kohta. Keskmiselt toodetakse aasta jooksul Türi 5% vajaminevast soojusest põlevkiviõlist. Türi soojusmajanduse arengukava kohaselt võiks Türi kaugküte olla 100% biomassipõhine, kui ühendada kaugküttevõrgud ja paigaldada lisaks 1 MW puiduhakkekatel; selline lahendus aitaks tõsta sooja tarbevee tootmise efektiivsust suvel.

Türi kaugküttevõrku on ühendatud 100 hoonet ning kahe võrgu, Tehnika ja Vabriku summaarne aastane soojustarbimine on 18,7 GWh. Mõlemas võrgus varustatakse tarbijaid ka sooja tarbeveega. Kuna hetkeseisuga on paljud hooned nii Tehnika kui ka Vabriku kaugküttevõrgus renoveerimata, siis positiivse stsenaariumi kohaselt võiks tarbimine võrgus kahaneda ja tipukatelde kasutamise vajadus kaoks.

2.2.2 Näited heast praktikast: madalatemperatuurilised kaugküttevõrgud

Viimase kümne aasta jooksul on ellu viidud erinevaid madalatemperatuuriliste kaugküttevõrkude projekte, enamasti näidisprojektidena ning ELi ja riiklike sihtasutuste täiendava toetusega. Teoks saanud projektide loetelu on toodud tabelis 2.2.

Peamiste andmetena on esitatud pealevoolu ja tagasivoolu temperatuurid (projekteeritud temperatuurid) ning nende tasemete saavutamiseks kasutatud tehnoloogia.

Tabel 2.2. Madalatemperatuurilise kaugkütte näidisprojektid Euroopa Liidus

Linn	Riik	Pealevoolu temperatuur °C	Tagasivoolu temperatuur °C	Rajamise aasta
Albertslund	Taani	55–60		2015
Aarhus (Lystrup)	Taani	55	30	2010
Høje Taastrup (Sønderby)	Taani	55	35	2012
Slough	Ühendkuningriik	55	25	2011
Stavanger	Norra	55	35	2014
Belava (Gulbene)	Läti	65	35	2018

Albertslund (Taani)

Kopenhaageni lähedal Albertslundis renoveeriti aastatel 2011–2015 umbes 2200 1960. aastatest pärit elamut. Ligi 25% renoveeritud pindalast koosneb kahekorruselistest ridaelamutest, ülejäänud osa moodustavad ühekorruselised ühepereelamud. Majad on renoveeritud vastavalt madala energiatarbe standarditele, päikesekollektorid ja PV-paneelid tagavad taastuvenergiat põhineva soojuse ja elektri. Ruumide kütteks ja sooja tarbevee vajaduse katmiseks asendati olemasolevad kaugküttetorud madalatemperatuurilise kaugküttesüsteemiga. Sooja tarbevee jaoks on igas kodus individuaalsed soojaveemahutid. Kuna pealevoolu temperatuur on umbes 35–40 °C, tõstetakse vee temperatuur enne sooja tarbevee paaki sisestamist soojuspumba abil 55–60 °C-ni. Soojuspump võtab soojust kaugkütte tagasivoolust, jahutades selle temperatuurini 10–15 °C. Mahutiga on ühendatud ka kohalikud päikeseküttesüsteemid, mis katavad küttevajaduse kuuel kuul aastast. Hoonetes kasutatakse põrandaküttesüsteeme, mis on ette nähtud pealevoolu temperatuurile 35–40 °C ja tagasivoolu temperatuuri 20 °C jaoks.

Århus (Lystrup, Taani)

Alates 2010. aastast töötab madalatemperatuuriline kaugküttesüsteem Taanis Århus eeslinnas Lystrupis. Kohalik võrk varustab 40 madala energiatarbega ridaelamut ja ühte ühiskondlikku hoonet kütte ja sooja tarbeveega. Kasutatakse šuntühendust kõrgetemperatuurilise kaugküttesüsteemiga, mille toitetemperatuur on talvel 80 °C ja suvel 60 °C. Kõik torud on väikese läbimõõduga kaksiktorud.

82% on plasttorud (AluFlex) ja ülejäänud terastorud. Maksimaalne rõhutase on 10 baari, minimaalne rõhu erinevus alajaamades 0,3 baari. Selles projektis kasutatakse kahte tüüpi pumbajaamu: 120-liitriste kaugküttemahutitega pumbajaamad ja kiirsoojusvahetitega alajaamad. Mõlemal juhul on süsteemid ette nähtud 45-kraadisele kütteveetemperatuurile. *Legionella* riski maandab väikese koguse kasutamine – sooja tarbevee mahtu vähendatakse kolme liitrini. Hoidlatega pumbajaamades saavutatakse see kaugkütteevee, mitte sooja tarbevee hoidmisega. Küttesüsteemides kasutatakse otsest ühendust, radiaatorid on ette nähtud temperatuurigraafikule 55/25/20 °C (pealevool/tagasivool/toatemperatuur) ja vannitubades kasutatakse pörandakütet. Iga eluruum on ühendatud otse kaugküttesüsteemiga (ridaelamutes pole sisemisi süsteeme). Projekti on palju uuritud ja seda kasutatakse madalatemperatuurilise kaugkütte ühe esimese näitena.

Slough (Ühendkuningriik)

Londonist läänes asuvas Slough's on alates 2010. aastast töötanud väike eksperimentaalne madala temperatuuriga kaugküttesüsteem. See koosneb energiakeskusest, mis varustab soojusega lähedal asuvaid eluruume (kokku 10 elamut 25 elanikuga), ja teabekeskusest. Süsteemi eesmärk on demonstreerida erinevaid taastuvenergia tehnoloogiaid koos madala energiatarbega majadega. Soojusallikana kasutatakse biomassikatlamaja koos päikesepaneelidega ning maa- ja õhksoojuspumpasid. Võrk on ühetemperatuuriline ja selle peatorud on terasest ning harutorud AluFlexist. Tarbevee temperatuurid on 10/43 °C ja kaugkütte temperatuurigraafik on 55/20 °C. Iga elamu on ühendatud otse kaugküttesüsteemiga (ridaelamutes pole sisemisi süsteeme).

Høje Taastrup (Sønderby, Taani)

Taanis Høje Taastrupis on Sønderby-nimelises umbes 75 üksikelanuga piirkonnas vana kaugküttesüsteem asendatud uue, madalatemperatuurilisega. Senine süsteem oli ainult umbes 15 aastat vana, kuid selle soojuskaod olid 38–44%. Uus süsteem ühendati šuntühenduse abil põhivõrguga, mille pealevoolu temperatuur on ligikaudu 80 °C ja tagasivoolu temperatuur ligikaudu 50 °C.

Ühendus suure kaugküttevõrguga on kolmetorulise ühendusšundi kaudu, võimaldades kasutada põhivõrgu tagasivooluvett primaarveena madalatemperatuurilises võrgus; suure kaugküttevõrgu pealevooluvett saab kasutada vajadusel väikese kaugküttevõrgu temperatuuri tõstmiseks. Põhivõrgu tagasivoolu temperatuur oli aastatel 2012–2013 vahemikus 30–67 °C (keskmiselt 47 °C), samas kui põhivõrgu pealevoolu temperatuur oli vahemikus 65–107 °C (keskmiselt 80 °C). Uues süsteemis kasutati põhivõrgu tagasivoolu vett kuni 81% ajast.

Võrgu magistraalitorud on terasest kaksiktorud ja harutorudeks on elastsed Alupexi kaksiktorud. Maksimaalne rõhutase on 10 baari ja suurim kiirus 2 m/s, et hoida torude mõõtmed väiksed. Minimaalne rõhu erinevus pumbajaamades on 0,3 baari. Kõigi majade soojussõlmed asendati uutega (Danfoss Redan Akvalux II VX). Hoonetes on põrandaküttesüsteem, mis on ühendatud kaugküttevõrguga kaudse ühenduse kaudu. Sooja tarbevee valmistamiseks kasutatakse nn väikese mahu meetodit, kus maksimaalne lubatud sooja tarbevee maht on sooja tarbevee torudes kolm liitrit. Mõnes majas on kasutusel sooja tarbevee ringlus.

Sonnenbergi piirkond (Ludwigsburg, Saksamaa)

Sonnenbergis on uus kaugküttevõrk, mida varustab soojusega gaasil töötav koostootmisjaam koos geotermilise soojuspumbaga. Mõlemad asuvad vanas katlamajas, mis on nüüd renoveeritud ja taasavatud. Gaasil koostootmisjaama võimsus on 350 kW_{th} ja maasoojuspumba võimsus 200 kW_{th}. Hooned on varustatud soojussõlmedega ja detsentraliseeritud akupaakidega. Samuti on hoonetesse paigaldatud tsentraliseeritud kauglugemissüsteem. Uus jaotussüsteem on projekteeritud nii, et on võimalik kasutada madala eksergiaga temperatuuritasemeid (40/25 °C). Põhivõrgu projekteeritud temperatuurid on 70/40 °C ja seega oluliselt kõrgemad. 30% uuest Sonnenbergi linnaosast, mida varustab soojusega LowExi alamvõrk, on kavandatud madala energiaga või passiivmaja standardi järgi. Seetõttu saab kavandatavat võrgulaiendust toita olemasoleva võrgu tagasivoolest.

Stavanger (Østre Hageby, Norra)

2015. aastal projekteeriti ja juurutati Stavangeris Norra esimene neljanda põlvkonna kaugküttesüsteem, mis varustas kütte ja jahutusega 66 elamut kogupindalaga 6800 m². See põhineb madalakvaliteedilisel maasoojusel, päikeseenergial ja heitsoojusel ning suudab katta ka tarbimistippe. *Legionella* probleem lahendati vee ringlusega temperatuuril 55 °C ja vähem kui kolmeliitrise mahuga soojusvahetiga enne tarbijapoolset kraani. Trondheimis kasutati suures hoones (62 000 m²) *Legionella* ennetamiseks uudset lahendust – vase- ja hõbedaioone. See võimaldas temperatuuri taset vähendada 70-lt 50 °C-le. Kuna temperatuuri alandamine viis suure energiasäästuni, võimaldas see ka elekterküttesüsteemi asendada superarvuti heitsoojusel töötava soojuspumbaga.

Hyvinkää (Soome)

Kaugküttesüsteem Hyvinkää piirkonnas (2013) on hea näide madalatemperatuurilise kaugkütte uurimiseks. Piirkond koosneb 40 tarbijast 17 ha suurusel alal. Vaadeldavas süsteemis on umbes pooled tarbijatest ühendatud kaugküttesüsteemiga, ülejäänud hoonespetsiifilise küttesüsteemiga, näiteks päikeseenergia ja kollektorite kombinatsioon või soojuspump. Hoone soojuse jaotussüsteemiks võib

olla põrandaküte, radiaatorid ja ventilatsioonipõhine küte. Analüüsi eramute kaugküttesüsteemiga ühendamise erinevaid võimalusi. Uuriti ka päikesekollektorite ja kaugkütteühendusega maju. Simulatsioonide tulemused näitasid, et suurem osa päikeseenergiast kasutatakse sooja tarbevee kütmiseks, kattes umbes poole sooja tarbevee aastasest küttevajadusest. Ruumi kütmiseks kasutatava päikeseenergia osa on tühine. Erinevate kaugküttevõrkude konfiguratsioonide simulatsioonid näitasid ka ühendatuse määra mõju. 100%-lise hoonete ühendatuse ja piisava võrgustruktuuri korral olid aastased suhtelised soojuskadod mõistlikul 10% tasemel. Madala (47%) ühendatuse määra korral olid süsteemis soojuskadod 20%. Väikese soojusvajadusega kaugküttesüsteemi eripärana täheldati temperatuuri kõikumist ja langust võrgus, eriti väljaspool kütteperioodi. Vooluhulga ja temperatuuri stabiliseerimiseks kasutati möödaviike, tõstes sellega küll soojuskadusid, kuid hooldustorudel täheldati siiski märkimisväärset temperatuuri langust. Madalate temperatuuride korral olid võrgus soojuskadod küll väiksemad, kuid samas oli ligikaudu kaks korda suurem elektrienergia kulu vee pumpamisel.

Middelfart (Taani)

Middelfarti kaugkütteettevõttel õnnestus 2015. aastal alandada oma süsteemi peale- ja tagasivoolu temperatuuri keskmiselt 80,6/47,6 °C-lt 64,6/40,0 °C-ni. Kõnealuse kaugküttevõrgu torude pikkus on 139 km ja see teenindab umbes 5000 klienti. Kasutatav soojus pärineb nafta rafineerimistehase, koostootmisjaama ja jäätmepõletustehase heitsoojusest. Aastane soojustarbimine on umbes 480 TJ. Kaugkütteettevõtte on osalenud tarkvaralahenduste väljatöötamisel ja testimisel, mis on aidanud vähendada ka kaugküttevõrgu tagasivoolu temperatuuri. Lisaks on ettevõtte demonstreerinud kuidas kaugkütteettevõtted saavad kasutada hea näitena üleminekul madalatemperatuurilisele kaugküttele. Võrgu soojuskadod Middelfartis vähenenud 25% ja majanduslik kasu olnud hinnanguliselt umbes 5,5 miljonit Taani krooni (0,7 miljonit eurot). Temperatuuri alandamisest saadav majanduslik kokkuhoid koosneb säästudest, mis tulenevad madalamast soojuskaost, ja tagasivoolu temperatuuri tariifi kokkuhoiust, mida makstakse kohalikule soojatootjale. Hinnanguliselt on kokkuhoid soojuskaod vähendamise tõttu aastas 110 000 DKK/°C (14 650 €/°C) ja soojatootjale makstav tulu aastas 380 000 DKK/°C (50 650 €/°C). Projekt on edukalt näidanud, kuidas olemasolevates kaugküttesüsteemides temperatuure optimeerida ja et see võib viia energiatõhususe märkimisväärse paranemiseni. Projekt demonstreerib võimalust lisada kliendi seadmeid kaugküttesüsteemi optimeerimisse, jälgides klientide soojussõlmede tööd, pakkudes klientide rajatistele teeninduskontrolli ja rakendades tagasivoolu temperatuuri tariifi, mis motiveerib tarbijaid oma sisemisi soojuse jaotussüsteeme täiustama.

Belava (Gulbene, Läti)

Pilootprojektis on kolmes munitsipaalhoones ette nähtud madalatemperatuuriline küttesüsteem. Süsteem koosneb biomassi katlamajast ja eelisoleeritud kaugküttetorudest. Kütteandmete mõõtmiseks ja analüüsimiseks on paigaldatud kauglugemissüsteem. Soojust toodetakse 199 kW tippvõimsusega pelletikatlaga HERZ. Katlal on kaks väljavoolu – esimene on mõeldud madalatemperatuurilisele kaugküttevõrgule, mille peale- ja tagasivoolu temperatuur on enne soojusvahetit 65/35 °C, teine on kõigi muude hoonete jaoks, mille temperatuurigraafik on 80/60 °C.

2.3 Peamised takistused jätkusuutliku kaugküttesüsteemi rajamisel

Madalatemperatuurilise kaugkütte kasutamise takistused kütmisel ja sooja tarbevee tootmisel on hoonetega seondult erinevaid takistusi.

Neljanda põlvkonna kaugkütte peamiseks iseloomustajaks on madal pealevoolu temperatuur vahemikus 50–60 °C. Tegelikult ei ole tootmise poolel mingeid takistusi, kuna alati on võimalik veevoogusid omavahel pärast soojendamist segada ja saavutada soovitud temperatuur. Võrgu esimest barjääri võib kirjeldada järgmiselt: pealevoolu temperatuur väheneb, kuid tagasivoolu temperatuur jääb samale tasemele või väheneb vähesel määral ja võrgu hüdraulilise omapära tõttu ei jõua soojus kõigi tarbijateni. Seda on võimalik kompenseerida, lisades võimsamad pumbad, mis nõuab aga rohkem investeeringuid ja pumpamiseks kasutatud elektrienergia hulk suureneb.

Hoone renoveerimisprotsessi ajal võib soojuse tarbimine väheneda ja pealevoolu temperatuuri saab vähendada 5–10 °C võrra ilma täiendavate investeeringuteta hüdraulikasüsteemis, kuna veevool jääb samaks. Kuid temperatuuri edasine langus võib olla väljakutse. Sellegipoolest on siin kõige olulisemaks takistuseks tarbija. Kütteseadmed on sageli kavandatud töötama kõrgel temperatuuril, sageli kuni 80 °C, selleks et soojusvahetuspind väheneks, alandades nii investeeringute maksumust. Väikesed soojusvahetuspinnad on üks peamisi kõrgemate tagasivoolu temperatuuride põhjuseid. Üks võimalikest lahendustest temperatuuride suurema vahe säilitamiseks on küttesüsteemis suuremate radiaatorite kasutamine. Teise lahendusena on analüüsitud olemasolevates radiaatorisüsteemides temperatuuri alandamist.

Peamine kõrge temperatuuriga tagasivool pärineb kodusest sooja vee ringlussüsteemist mitmepereelamutes, kus on tavaline, et keskmine temperatuuritase on vahemikus 40–50 °C. Probleemse olukorra vältimiseks on lahendusena välja pakutud järgmine võimalus: igal korteril on oma täielikult eraldatud tarbevee soojendamise süsteem (kiirsoojusvahetiga ja veemahuga torustikus alla kolme liitri).

Viimastel aastatel on tagasivoolu kõrgemate temperatuuride põhjustajana esile tulnud soojusallikate paralleeltarbimine, näiteks soojuspumpasid kasutatakse koos soojustagastusega ventilatsiooniseadmetega baaskoormuse katmiseks. Eesti teadlased võrdlesid kahe soojustagastusega ventilatsioonitüübi mõju tagasivooluvee temperatuurile: ventilatsiooni soojustagastusega süsteem soojuspumbaga ja ilma. Tüüpilise renoveeritud viiekorruselise kortermaja energiatarbimise modelleerimisel saadud tulemused näitasid, et soojuspumbaga ventilatsiooni puhul oli temperatuur vahemikus 32 °C kuni 37 °C, samal ajal kui teise lahenduse puhul oli temperatuur 22 °C.

Temperatuuri alla 50 °C peetakse üheks teguriks, mis mõjutab *Legionella* bakterite kasvu. Detsentraliseeritud sojussõlmed võivad olla efektiivseks lahenduseks mitte ainult tagasivoolu temperatuuride alandamiseks, vaid ka vähendamaks *Legionella* levikut. Teiseks lahenduseks on tarbevee temperatuuri suurendamiseks täiendava elektrilise soojenduse kasutamine kaugküttesüsteemi ja kuumaveepaagi vahel. Selle meetodi peamiseks miinuseks on elekterkütte ebatõhusus nii majanduslikust kui keskkonnanahoiu aspektist.

Kaugkütte madal temperatuur ei ole takistuseks jätkusuutliku kaugküttesüsteemi arengule, kuigi see sõltub üldjuhul olulisel määral tarbijast. Võimalikuks lahenduseks on suurendada tarbijate teadlikkust küttesüsteemide valdkonnas ja korralike madalatemperatuuriliste seadmete paigaldamise motiveerimine, kasutades mitmekomponendilisi soojustariife koos motiveeriva tariifidega, mis põhinevad tagasivoolu temperatuuril, nagu näiteks Kopenhaagenis ja Stockholmis. Kohalikud seadused ja küttesüsteemide projekteerimist reguleerivad normid motiveerivad samuti kasutajaid oma käitumisharjumusi muutma.

2.3.1 Takistused kütusevaba taastuvenergia kasutamiseks

Kaugkütte globaalne idee on energia ringmajandus – sellist energiat võib pidada kütusevabaks taastuvenergiaks. Kõige märkimisväärsemaks takistuseks on siinkohal asukoht: tuule-, geotermaal- ja päikeseenergia ning jääsoojuse olemasolu sõltub kohast ja/või ajast. Looduslike soojusallikate kasutamisel pole reserve, juhaks kui need allikad pole kättesaadavad. Riigiasutused ja kohalikud omavalitsused võivad kavandada jääsoojuse allikate kasutamist, aga see nõuab täpset ning pikaajalist arengukava.

Peamised takistused taastuvenergia kasutamisel on järgmised: fossiilsete kütuste suhteliselt madal hind, hiljuti paigaldatud fossiilsetel kütustel põhinevad soojusallikad ja kütusevabade energiaallikate kasutamiseks vajalike seadmete paigaldamise kõrge hind.

2.3.2 Võrkude madala soojuskaod saavutamise takistused

Soojuskadude põhjused võrkudes võib jagada kahte kategooriasse: torude ja keskkonna omadused. Eelisolleeritud torud tagavad väikese soojuskaod, kuid torustike renoveerimine ei ole alati majanduslikult mõttekas, kuna jaotusvõrgu eluiga on suhteliselt lühike ja selle investeeringu tasuvusaeg suhteliselt pikk. Torusid ümbritseva keskkonnaga seotud probleeme ei ole võimalik mõjutada ja seetõttu tuleks maapealseid torustikke vältida, kuna maa sees on sama torustiku soojuskadu 20–30% väiksem kui õhus.

Toru läbimõõt on üks soojuskadu mõjutav tegur. Torude läbimõõtu on võimalik küllaltki täpselt arvutada, aga siinkohal on peamiseks probleemiks olemasolevate tarbijate pikaajalise energiatarbimise ennustamise keerukus. Lisaks sellele muutub tarbimine öösel, mis toob kaasa kõrgemaid tarbimise haripunkte, mis omakorda nõuavad suuremat torustiku läbimõõtu, kui tegelikult vajalik oleks. Seejuures on vajalik mainida, et öine temperatuuri alandamine sobib ja on tasuv ainult hoonetes, mis on spetsiifiliste nõudmistega ning madala energiatõhususega. Oluline on arvestada kütte nõudluse perspektiivide puhul suurimat võimalikku soojuskoormuse vähenemist olemasolevate tarbijate jaoks ja samas ka uute tarbijate võimalikku ühendamist. Kaugküttevõrgu pikaajaline planeerimine on võimalik ainult kaugküttesüsteemide ja kohalike omavalitsuste koostöös.

2.3.3 Takistused soojust ja elektrit tootvate tehaste kombineerimiseks

Neljanda põlvkonna kaugküttega seoses mainisime eespool, et soojuse ja elektri koostootmine on paindlik võimalus kaugküttesüsteemide jaoks. Soojuse ja elektri koostootmise peamine mõte on selles, et kasutatakse energiat, mis muidu kasutust ei leiaks. Koostootmine on energiakasutuse vaatepunktist kaugküttesüsteemi soojusega varustamise jaoks parim võimalus, kuid selle võimsust piiravad kaugküte soojuskoormuse parameetrid. Kui soojuse ja elektri koostootmisjaama kasutatakse baaskoormuse katmiseks, siis võib see aasta läbi töötada. Juhul kui koostootmisjaama võimsus on suurem kui baaskoormus, siis on järgmised võimalused:

- koostootmisjaam töötab ainult külmal ajal, kui soojuskoormus on piisavalt suur;
- koostootmisjaam töötab osakoormusega;
- kasutatakse pikaajalist soojussalvestust;
- koostootmisjaam töötab kondensatsioonirežiimil (sel juhul ei ole see efektiivne).

Oluline on valida uutele koostootmisjaamadele optimaalne võimsus ja olemasolevates koostootmisjaamades optimaalne töörežiim. Üheks soojuse ja elektri koostootmise takistuseks on selle majanduslik teostatavus, mis sõltub elektri ja kütuse hindadest. Soojuse ja elektri koostootmist

on võimalik saavutada mitmete poliitikameetmete (näiteks maksueelised, soodustariifid, sertifikaadid, toetused jne) kaudu.

2.3.4 Takistused soojuse salvestamise tehnoloogiate integreerimisel kaugküttesüsteemi

Soojuse salvestamise tehnoloogiad võimaldavad kaugküttesüsteemidel saada nutikate energiasüsteemide osaks. Lühiajalisi soojuse salvestamise süsteeme kasutatakse päevaste tipukoormuste kompenseerimiseks, et rakendada koostootmisjaamu ühtlasel koormusel päeval ajal vältimaks tipukoormuse katelde kasutamist.

Lühiajalisi soojuse salvestamise süsteeme kasutatakse koos soojuse ja elektri koostootmisega paljudes kaugküttesüsteemides. Soojuse salvestamise seadmeid on rakendatud edukalt ja laialdaselt Austrias ja Saksamaal. Veel üheks näiteks on Taani, kus peaaegu kõikidesse suurematesse koostootmisjaamadesse on paigaldatud soojuse salvestamise süsteemid. Kolmanda põlvkonna kaugküttesüsteemides ei kasutata üldiselt soojuse ja elektri koostootmisega soojuse salvestamise süsteeme. Näiteks Eestis ja Lätis neid veel ei rakendata, kuna uued koostootmisjaamad rajatakse baaskoormuse aastaringseks tagamiseks ning sel juhul ei ole soojuse salvestamise süsteemide paigaldamine kiire tasuvusega. Tänu kaugküttesüsteemide täiustumisele on huvi soojuse salvestussüsteemidega kombineerimise vastu viimastel aastatel kasvanud.

2.3.5 Takistused nutikaks mõõtmiseks

Neljanda põlvkonna kontseptsiooni kohaselt on selle oluliseks osaks arvestite kauglugemine. See annab tarbija käitumise kohta lisainformatsiooni ja võimaldab ühest küljest kaugkütet pakkual ettevõttel võrku efektiivselt hallata täpseid hüdraulilisi kalkulatsioone tehes, tootmist ja soojuse salvestamist optimeerides ning kiirelt rikkeid soojussõlmedes avastades. Teisest küljest on tarbijal võimalik saada rohkem informatsiooni oma tarbimise kohta ja selle kaudu olla motiveeritud tarbimist vähendama. Kuna kauglugemise tehnoloogiad on hästi välja töötatud ja andmeedastuse lahendused on kiired ning odavad, siis ei ole tarbijapoolseid takistusi kaugloetava intelligentse mõõteseadme paigaldamiseks.

2.3.6 Muud takistused kaugküttesüsteemides

Tuginedes kaugküttesüsteemide üleminekule neljanda põlvkonna suunas, on võimalik määratleda järgnevad takistused suurte võrkude puhul:

- Suure ulatuse tõttu ei ole võimalik võrgus muudatusi teha lühikese aja jooksul, sest see võib aega võtta aastaid ja isegi aastakümneid (nt torustiku vahetamine parema isolatsiooni tagamiseks või läbimõõdu korrigeerimiseks). Lisaks on sageli torustiku vahetamise tasuvusaeg pikem või see on soojuskadude vähendamiseks ebamõistlik viis.
- Tunnipõhine temperatuuri optimeerimine ei ole mõistlik, kuna aeg, mis kulub soojusel katlamajast tarbijani jõudmiseks, on pikk. Väikese ja keskmise suurusega kaugküttesüsteemides võib pealevoolu temperatuuri tunnipõhiselt muuta, et kompenseerida tipukoormust ja hoida võrgu torude läbimõõd väiksem. Suurte võrkude puhul võib soojus tarbijani jõuda alles kaheksa tunni pärast, olenevalt torustiku läbimõõdust ja pikkusest. Tipukoormuse ajad kompenseeritakse suurema kütteevee kogusega ja torustiku läbimõõd on optimaalsest suurem.

Mõnel juhul on takistuseks ka seadusandlus ja suhtumine:

- Kaugkütte suurettevõtete ja tarbijate vahelise usalduse puudumine võib olla takistuseks soojussõlmede kauglugemisel ja -juhtimisel.
- Soojuse tootmise ja varustuse ettevõtete ebapiisav koostöö ei võimalda soojuse tootmist ja tarnimist kõige tõhusamal viisil. Mõnikord on mõttekas soojust toota ühest allikast, lähtudes hüdrauilisest või keskkonnakaitse aspektist, kuid sellega kannatab majanduslik külg. Kasumi jagamise kokkulepped on vajalikud.
- Õigusaktid, mille eesmärk on tarbijate kaitse, võivad mõnikord negatiivselt mõjutada süsteemi efektiivsust. Näiteks tehnilisest küljest lähtudes on mõistlik, kui soojust tootev ettevõtte tarnib ja lisaks pakub ka soojussõlme hooldamist, kuid sel juhul tekib monopolne olukord. Tarbijate kaitsmiseks on vaja täiendavaid regulatsioonimeetmeid.

Iga võrgu puhul on võimalik leida mittetehnilisi takistusi, mis on keerulised või mida pole võimalik ületada. Geotermaal-, päikese- ja tuuleenergia pole igas kohas saadaval või seda ei ole mõistlik kasutada. Samuti võivad tekkida seadusandlikud küsimused, näiteks kuidas mõista soojuse salvestamise soojuskadusid: kas need on võrgukaod või tootmiskaod ning kas soojust ja elektrit koostootev jaam peaks saama toetusi elektritootmisel, kui soojus kaotsi läheb? Kuidas panna tootjad ja võrguomanikud tarbijatega koostööd tegema?

2.4 Kontrollküsimused

- 1) Mille põhjal eristatakse kaugkütte erinevaid põlvkondi?
- 2) Kus kasutatakse tänapäevalgi esimese põlvkonna kaugkütet ja miks?

- 3) *Peamine erinevus esimese ja teise põlvkonna kaugkütte vahel on see, et ülekuumendatud auru asemel kasutati teise põlvkonna kaugküttes kuuma vett. Mis eeliseid selline muutus endaga kaasa tõi?*
- 4) *Mis tingis väiksemad investeerimiskulud kolmanda põlvkonna kaugkütte puhul, võrreldes teise põlvkonna kaugküttega?*

3 Soojusvajadus ja tarbijad

3.1 Soojusvajadus

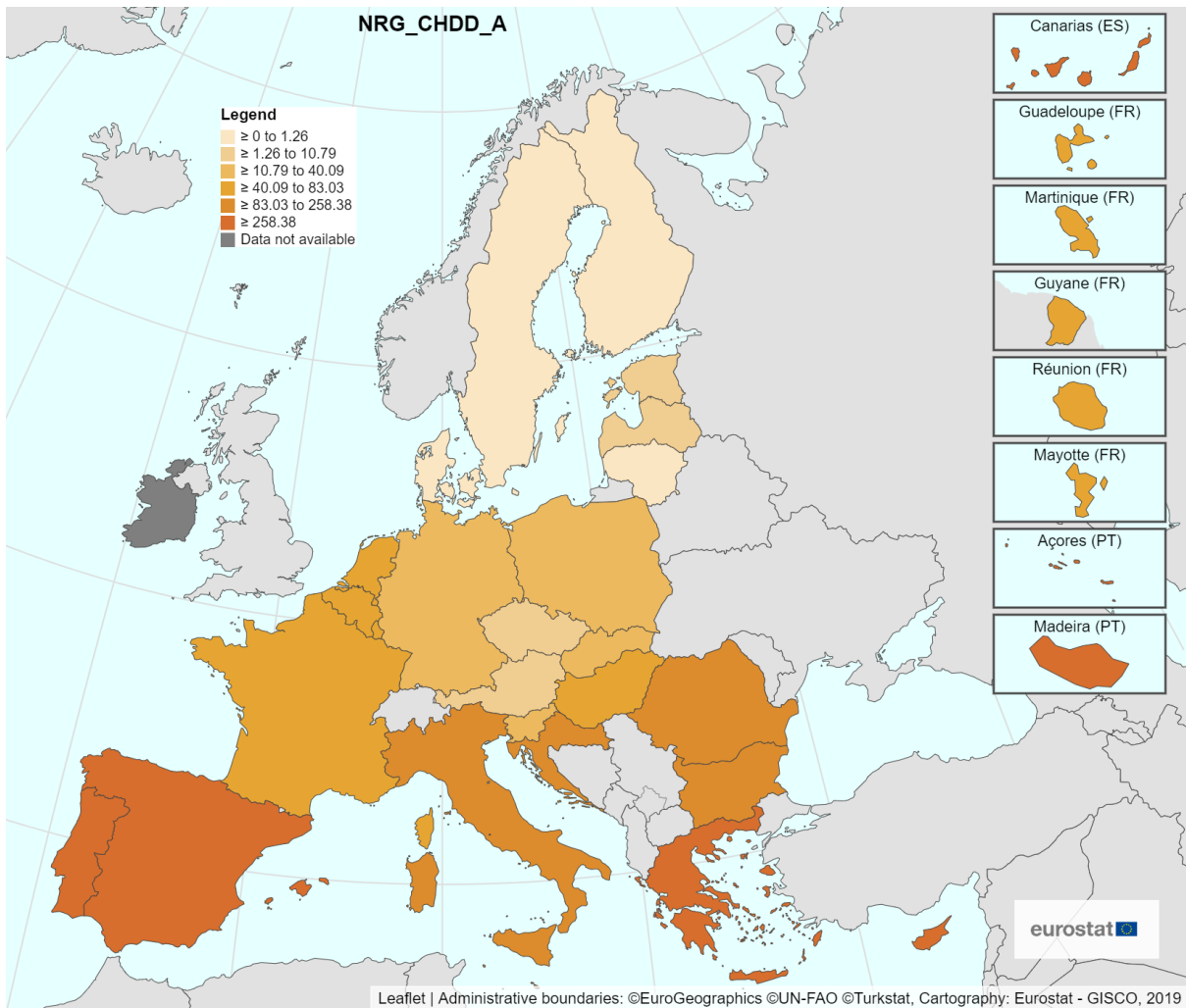
3.1.1 Ruumide kütmine

Ruumide kütmise eesmärk on luua mugav sisekliima, kui välistemperatuur on sisetemperatuurist madalam. Ruumide kütmiseks vajaliku soojavajaduse üksikasjalik analüüs on esitatud õpikus „Hoonete küte“ (autorid Teet-Andrus Kõiv ja Aivar Rant). Kaugküttega seonduvaid ruumide kütmise aspekte on seal käsitletud põgusalt.

Mida külmem on kohalik kliima ja mida kõrgem on sisetemperatuur, seda suurem on soojuse vajadus ruumide kütmiseks. Ruumi soojusvarustus peaks kompenseerima seinte, akende ja katuse soojusülekanne kadusid ning mehaaniliste või looduslike ventilatsioonisüsteemide õhuvarustuse soojendamist. Välistemperatuur on kõige olulisem muutuja, mida on vaja, et välja selgitada nii päevase soojusvajaduse maht kui ka aastast aastasse varieeruv ruumide kogusoojusvajaduses.

Ruumide kütmine moodustab märkimisväärse osa kogu maailma energia tarbimisest.

Hoone soojusvajadus (kWh/a) on soojuse hulk, mida ruumi küttesüsteem peab kogu kütteperioodi jooksul andma, et siseruumides oleks kogu aasta jooksul soovitud temperatuur. Selle arvutamiseks vajalikud kraadpäevad erinevates Euroopa riikides on esitatud joonisel 3.1.



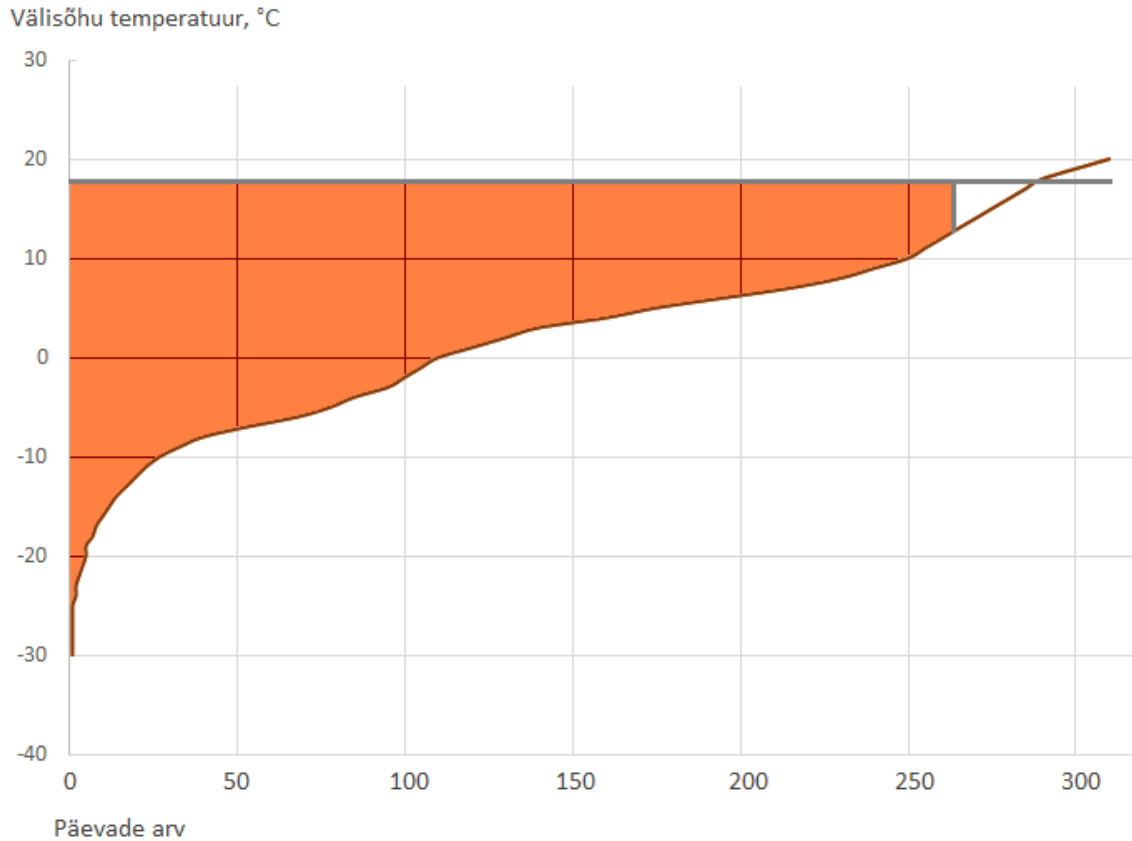
Joonis 3.1 Kraadpäevad EL liikmesriikides 2020. (Allikas: Eurostat) [Online link](#)

Ka Euroopa energiakasutusest moodustab ruumide kütmine suure osa. Kütte kraadpäevad on hoone kütmiseks vajaliku energiavajaduse lähtepunkt. See parameeter tuletatakse välisõhu temperatuuri mõõtmistest. Hoone puhul kasutatavaid küttenõudeid peetakse mingil määral proportsionaalseks kraadpäevade arvuga hoone asukohas. Kuid need sõltuvad ka mitmetest muudest teguritest, näiteks hoone projekteerimine ja soojustamine, kütte- ja jahutussüsteemide kättesaadavus ja tüüp, energiahinnad ning tarbijate käitumine. On näha, et Balti riikides ja Põhjamaades on Euroopa Liidu riikidest kõige külmem kliima ja kõige suurem kraadpäevade arv.

Kraadpäevade arvutusmetoodikat illustreerib joonis 3.2. Kasutatakse ruumides vajalikku sisetemperatuuri, välisõhu temperatuuri ja künnise temperatuuri ehk välisõhu temperatuuri, millest madalama temperatuuri korral hakatakse ruume kütma.

Eurostati arvutuste kohaselt on kraadpäevade arv leitav hoone sisetemperatuuri T_{in} ($^{\circ}\text{C}$, joonisel $18\text{ }^{\circ}\text{C}$) ja välisõhu päevase keskmise temperatuuri T_{mean} ($^{\circ}\text{C}$) vahena, juhul kui T_{mean} on väiksem kui

künnise temperatuur T_k ($^{\circ}\text{C}$, joonisel 15°C). Kui T_{mean} on suurem kui künnise temperatuur T_k , on kraadpäevade arv null. T_{mean} avaldub päeva maksimaalse ja minimaalse temperatuuri aritmeetilise keskmisena.



Joonis 3.2. Välisõhu temperatuuri kestus päevades

Kaugküttega kortermajades on harilikult radiaatorküttesüsteem, kuid vähesel määral esineb ka pörandakütet. Muid keskkütte liike, nagu õhkküte või aurküte, peaaegu ei esine.

Hoonete soojusvajadus on üldiselt vähenemas. See on peamiselt põhjustatud vanade hoonete renoveerimisest ja asjaolust, et uute hoonete puhul on meil tänapäeval tegemist hoonetega, mis on ehitatud energiatõhususe printsiipe arvesse võttes; sealhulgas on ka ligi-nullenergiaga hooned.

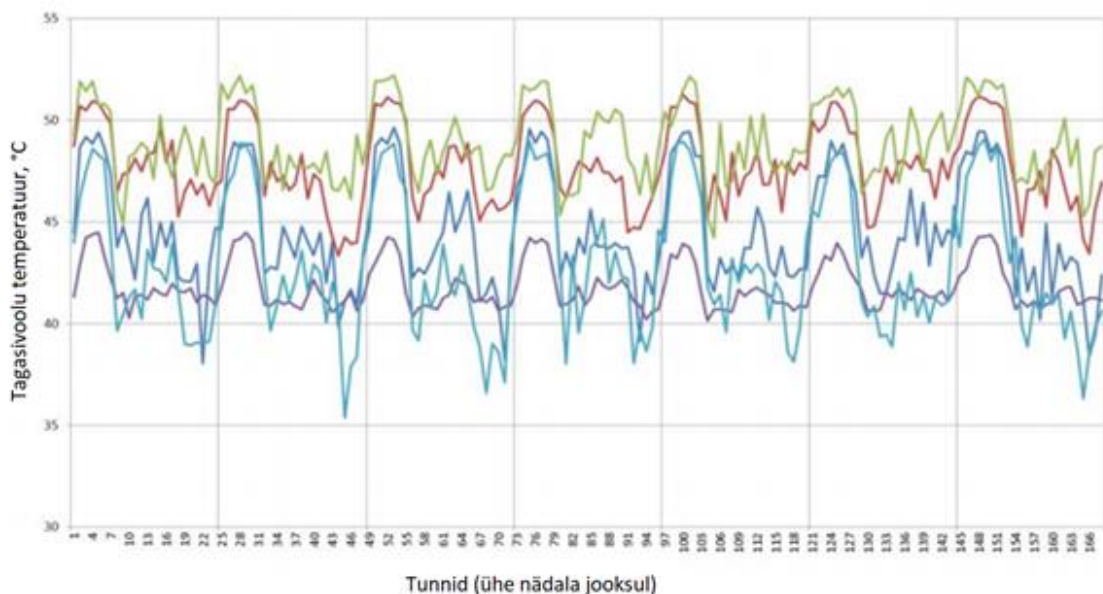
3.1.2 Sooja tarbevee koormus

Sooja tarbevee pakkumine on kaugküttevõrkude jaoks oluline, isegi olulisem kui ruumide kütmine, kuna see mõjutab kaugküttevõrgu olulisi parameetreid, milleks on tagasivoolu temperatuur ja küttevete vooluhulk, viimane eriti suveperioodil, kui ruume ei kõeta. Madalatemperatuurilistes kaugküttevõrkudes on sooja tarbeveega varustamise peamine probleemkoht sooja tarbevee vajaliku

temperatuuri (55 °C) kindlustamine võrgus. Mitmepereelamutes, kus tarbimiskoht võib olla üsna kaugel soojussõlmest, on tüüpiline, et sooja tarbevee edastamiseks kasutatakse eraldi tsirkulatsiooni. Sellel lahendusel on mõned puudujäägid, näiteks tõuseb kaugkütte tagasivoolu temperatuur seetõttu 40–50 °C-ni või kõrgemale, eriti öösiti. Samas võib seda ka kasulikult rakendada, näiteks kütta vannitubades asuvaid rätikukuivatamise torusid tagasivooluga.

Lisanduvad tsirkulatsioonitoru, tsirkulatsioonipumba ja soojusvaheti lisasissevoolu paigaldamise ja töös hoidmise kulud ning vee pumpamiseks kasutatav elektrienergia.

Traditsiooniliste sooja tarbevee ringluse lahenduste korral võib kaugkütte tagasivoolu temperatuuri tõstmisel olla negatiivne mõju soojuskadudele, suurem on aga negatiivne mõju energia tootmise efektiivsusele, kui süsteem ei ole korralikult seadistatud. Tagasivoolu kõrge temperatuuri probleem tarbijate jaoks on eriti märgatav suve- ja üleminekuhooajal, kui küttekoormus on minimaalne või puudub üldse. Teoreetiliselt siseneb külm vesi soojusvahetisse temperatuuril 5 kuni 20 °C, sõltuvalt veeallikast, seega peaks eeldatav sooja tarbevee tagasivoolu temperatuur olema 10 kuni 25 °C. Tegelikult on tagasivoolu temperatuur 40–50 °C. Temperatuuri sellise tõusu peamine põhjus on sooja vee ringlus, mis on mitmepereelamutes hädavajalik, kuna see tagab sooja vee pideva kättesaadavuse. Mõnikord võib kõrge temperatuuri põhjustada lukustunud voolukontrollklapp, mis viitab sellele, et soojussõlm on hooldamata või valesti hooldatud. Joonisel 3.3 on kujutatud sooja tarbevee ringluse analüüs tagasivoolu suvise temperatuuri korral.



Joonis 3.3. Tagasivoolu temperatuur suvisel perioodil sooja tarbevett tarvivas hoones

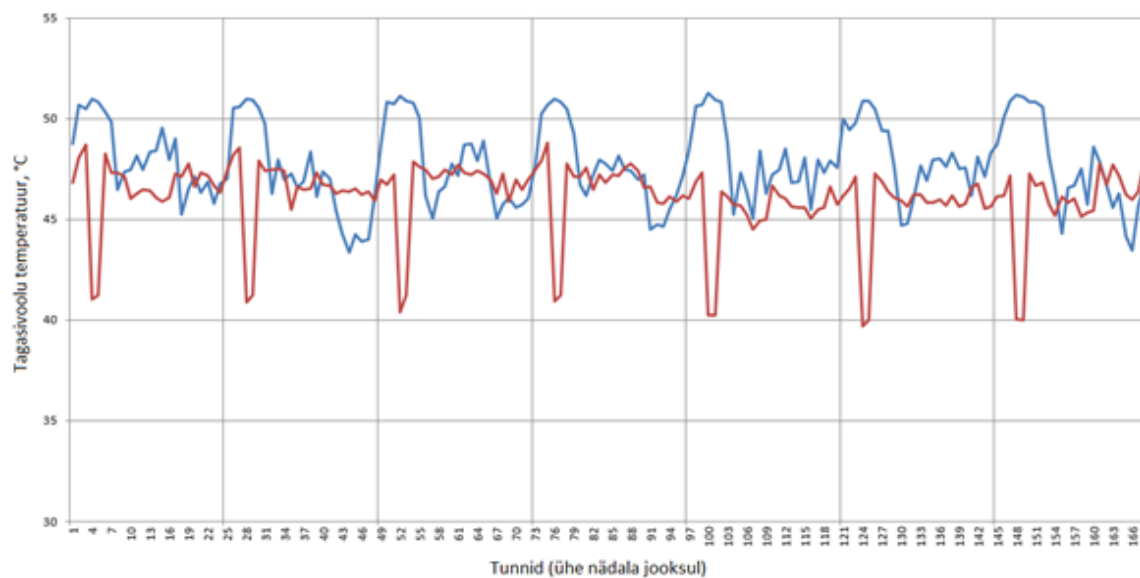
Sooja tarbevee kasutamine sõltub hoonete renoveerimisest ja tehnoloogilistest uuendustest vähem kui kütte tarbimine. Peamiselt sõltub sooja tarbevee kasutus majaelanike harjumustest. Olukorras, kus küttekoormus väheneb, jääb sooja tarbevee tarbimine enamasti endiseks, moodustades peale renoveerimist suurema osa hoone koguenergiaarbest. Ligi-nullenergia hoonete korral on tüüpiline, et soe tarbevesi moodustab suurema osa hoone küttekoormusest.

Sooja tarbevee ettevalmistamisel kasutatakse peamiselt kahte meetodit: sooja tarbevee otsene ettevalmistamine ja kuuma vee salvestamine. Otsese ettevalmistamise puhul kuumutatakse vesi vahetult enne kasutamist hoone soojussõlme soojusvahetis. Sel juhul on oluline, et soojussõlme võimsus oleks piisav ka tiputarbimise katmiseks. Sooja tarbevee salvestamise korral võib soojussõlme võimsus olla väiksem ja tiputarbimise ajal kasutatakse salvestuspaagis olevat sooja vett. Mahuti tühjenemisel täidetakse see külma veega. Sooja tarbevee otsene ettevalmistus on levinud pigem vanemates hoonetes ja salvestusega meetod pigem uuemates, energiatõhusates hoonetes.

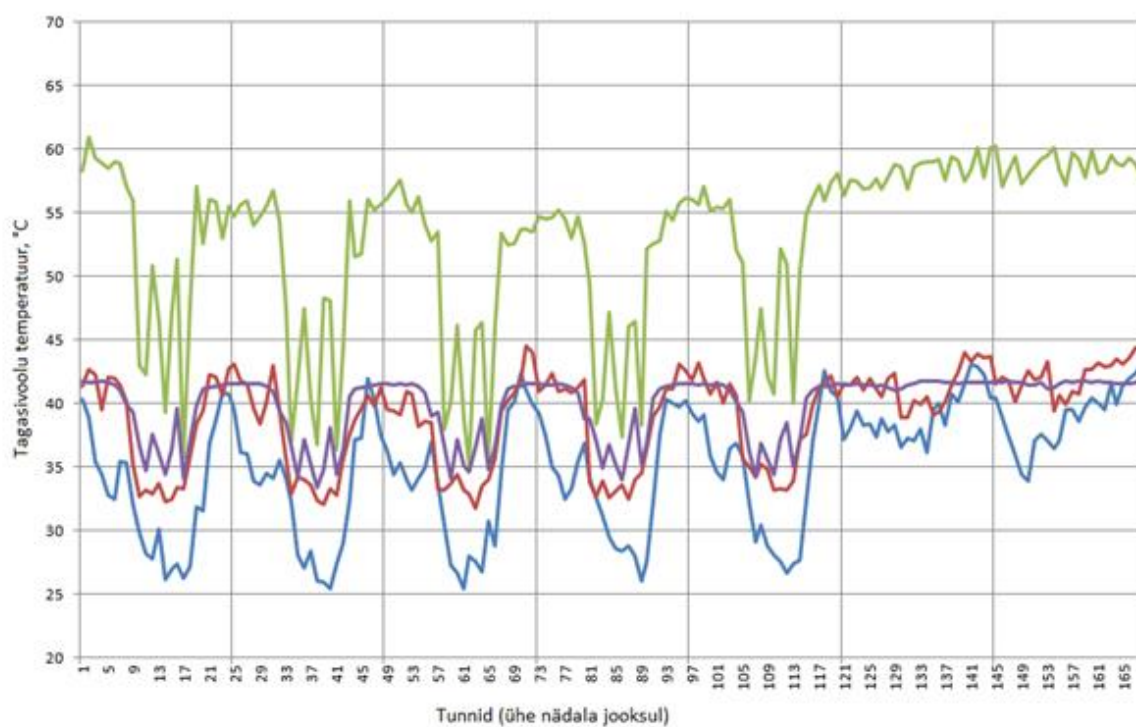
Sooja tarbevee otsese ettevalmistuse puhul tõuseb öösiti tagasivoolu temperatuur 5 kuni 10 °C võrra soojuse vähese tarbimise tõttu, võrreldes päevase tarbimisega. Mõnel juhul võib tõus olla ka kuni 25 °C, mis on põhjustatud sellest, et kui sooja vett ei tarbita, siis vesi kütte tsirkulatsioonis jahtub vaid 5–10 °C ja kaugkütte tagasivoolu vesi on ligikaudu 45–50 °C. Kehvasti seadistatud soojussõlmede puhul võib juhtuda, et tagasivoolu temperatuur võib olla võrdne pealevoolu temperatuuriga.

Väga vähesed tarbijad sulgevad sooja vee ringluse ööseks või vähendavad ringlustemperatuuri (joonis 3.4). Sel juhul välditakse tagasivoolu temperatuuri tõusu, kuid mõnede korterite puhul ei ole seda nii mugav teostada, kuna kuuma voolava vee temperatuur võib mõne aja madalam olla, sõltuvalt torujuhtme pikkusest ja läbimõõdust. Samas annab selline käitumine energiasäästu ringlusega seotud soojuskadude vähendamise arvelt.

Ärihoonete tüüpilisest ajakavast tingituna võib nende puhul olla ööpäevane tagasivoolu temperatuuri muutus kuni 20 °C, ka nädalavahetuse ja tööpäevade temperatuuride erinevused on suured. Selle põhjuseks on asjaolu, et päeval tarbitakse palju vett (köök, nõudepesumasin, dušš) ning öösel ja nädalavahetustel tarbimine peaaegu puudub. Seda tüüpi hoonetes on soovitatav veeringlus nädalavahetuseks välja lülitada või vähemalt temperatuuri seadepunkti vähendada.



Joonis 3.4. Tagasivoolu temperatuur (punane) tsirkulatsiooni temperatuuri öise vähendamise korral ja tüüpiline temperatuurigraafik (sinine)



Joonis 3.5. Ärihoonete tagasivoolu temperatuuri kõikumine

Hoone energiatõhususe meetodika järgi leitud sooja tarbevee erikulu saab näha tabelis 3.1.

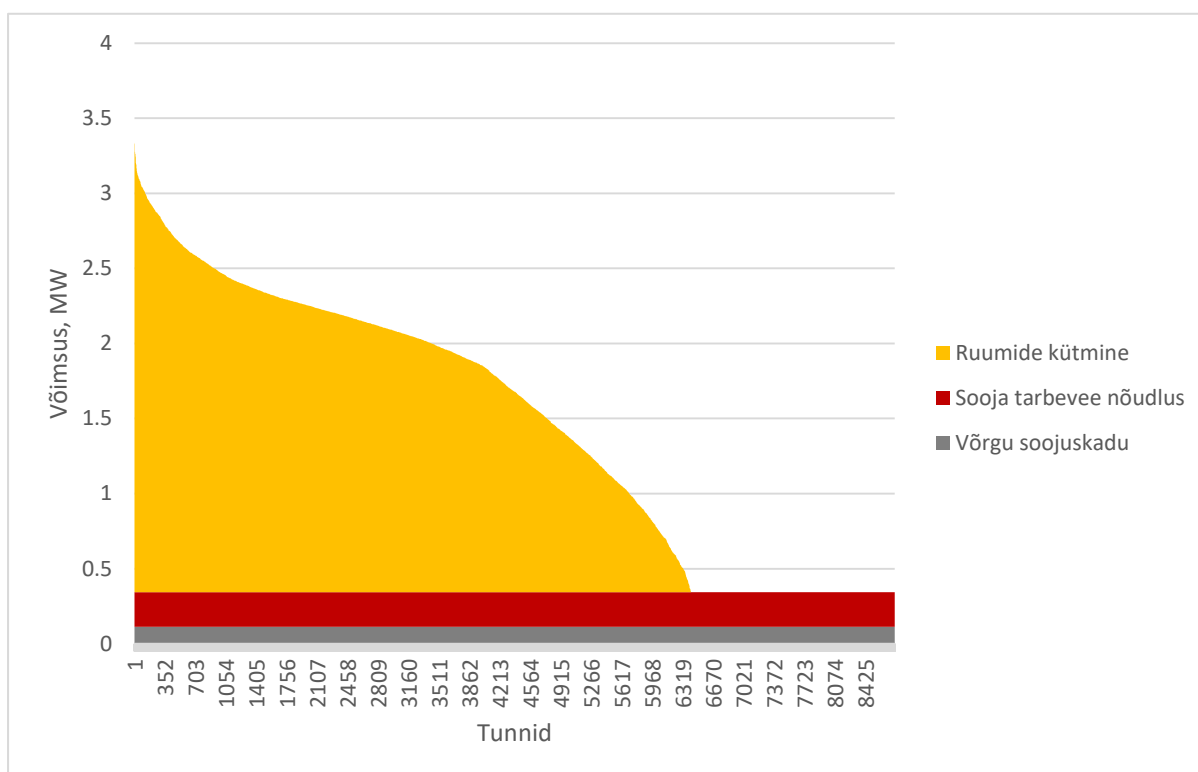
Tabel 3.1. Sooja tarbevee erikulu ja netoenergia vajadus köetava pinna ruutmeetri kohta

Hoone kasutusotstarve	Sooja vee erikulu l/(m ² ·a)
Väikeelamu	430
Korterelamu	520
Büroohoone, raamatukogu ja teadushoone	100
Kaubandushoone ja terminal	65
Majutushoone	520
Toitlustus- ja teenindushoone	400
Avalik hoone	340
Haridushoone (v.a koolieelne lasteasutus)	180
Koolieelne lasteasutus	460
Tervishoiuhoone	520

3.1.3 Soojuskoormuse kestusgraafik

Soojuskoormuse kestusgraafik näitab, kui mitu tundi aastas kestab kindla soojusvõimsuse nõudlus soojusvõrgus. Soojuskoormuse kestusgraafikut on tarvis soojusvõrgu jaoks vajalike tootmisvõimsuste määramiseks ja torustiku dimensioneerimiseks.

Soojuskoormuse aastast kestusgraafikut kasutatakse soojuse tootmise planeerimiseks. Enim sõltub soojuskoormuse kestusgraafik välisõhu aastastest temperatuuridest. Sisuliselt moodustub kaugküttesüsteemi soojuskoormuse kestusgraafik kogu süsteemi osade soojuskoormuste summast – selleks on ruumide kütmiseks kuluv soojusenergia, sooja tarbevee tootmine, protsessi töös hoidmiseks kuluv soojus ja kaugküttevõrgu sojuskaod. Alltoodud joonisel (joonis 3.6) on näidatud klassikaline soojuskoormuse kestusgraafik, millel on eristatud ruumide kütmisele kuluv soojus, soe tarbevesi ja võrgukaod.



Joonis 3.6. Soojuskoormuse kestusgraafik

Joonisel 3.6 esitatud graafikul on lihtsuse mõttes eeldatud, et kaugküttevõrgu aastane soojuskadu on konstantne. Kuna aga küttevee pealevoolu temperatuur ja torustikku ümbritseva keskkonna temperatuur aasta lõikes muutub, siis tegelikkuses varieerub ka võrgukadu aasta lõikes veidi. Teine soojuskoormuse aastaringne ja muutumatu komponent on sooja tarbevee nõudlus, mis suveperioodil siiski veidi väheneb. Lihtsuse mõttes eeldatakse soojuskoormuse graafikuid koostades, et sooja tarbevee nõudlus on aasta ringi ühesugune.

Eeldatakse, et hoonete energiatõhusus ajas paraneb, mistõttu ruumide kütmisele kuluv soojusenergia osakaal võib märgatavalt väheneda.

3.1.4 Soojuskoormuse kõikumine

3.1.4.1 Soojuskoormuse hooajaline kõikumine

Soojuskoormuse hooajaline kõikumine on ilmne ja tavapärane. See tuleneb peamiselt välistemperatuuri suurest erinevusest talve ja suve vahel ning nõudest, et temperatuur hoonet ümbritsevas soojustuses oleks enam-vähem konstantne. Soojuskoormused saab jagada kahte kategooriasse: füüsiline soojuskoormus ja sotsiaalsetest teguritest tingitud soojuskoormus. Füüsiliseks

soojuskoormuseks nimetatakse füüsilistest tingimustest, nagu temperatuuride erinevused ja isolatsiooniastmed, tingitud soojuskoormusi. Ka soojuse jaotamisest tingitud kaod kuuluvad füüsilise soojuskoormuse hulka. Need sõltuvad kaugküttevee ja kaugküttetorusid ümbritseva keskkonna temperatuuri erinevusest.

Muud füüsilised soojuskoormuse mõjutajad on tuul ja päikesekiirgus. Tuul suurendab soojusvajadust, kuna soojusülekanne hoone seinte pinnalt on suurem ja külm õhk tungib hoonesse, asendades sooja õhu külma. Päikesekiirgus vähendab välise soojuse vajadust kahel viisil: see suurendab katmata välisseinte temperatuuri ja vähendab seeläbi soojuse voogu läbi seinte ja akende, ning tekib ka kasvuhooneefekt – hoonesse lastakse päikesekiirgust, kuid läbi klaasi ja seinte tunginud ja korduvalt peegeldunud pikalaineline kiirgus ei levi enam läbi klaasi tagasi. Nii tuule- kui päikesekiirgus suurendavad hooajalist soojuskoormuse kõikumist.

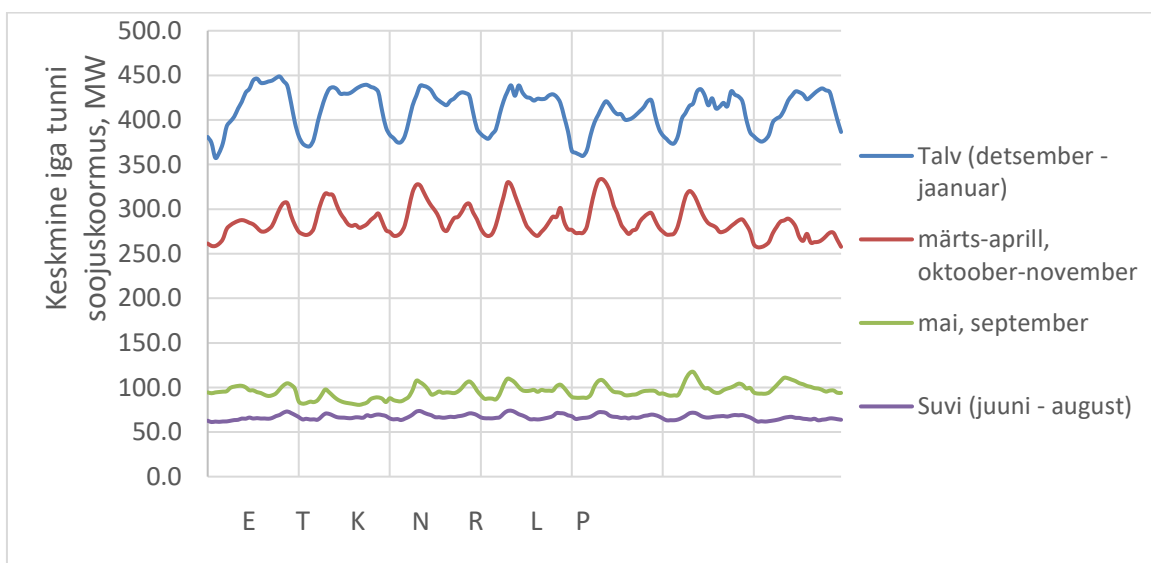
Sotsiaalne soojuskoormus sõltub hoone elanike käitumisest ja harjumustest. Tüüpiline sotsiaalne soojuskoormus on sooja tarbevee ettevalmistamine. See on igapäevase soojuskoormuse kõikumist mõjutav oluline tegur. Ka sooja vee ettevalmistamine sõltub hooajast. Talvel veedavad inimesed rohkem aega siseruumides ja kasutavad seepärast rohkem sooja vett. Suvel ja pühade ajal lahkuvad mõned inimesed ajutiselt oma linnaelamutest ega kasuta kodus üldse sooja vett. Seega suurendab sooja tarbevee ettevalmistamine hooajalist soojuskoormuse muutust. Sooja tarbevee füüsilise soojuskoormuse üks osa on sissetuleva vee temperatuuri muutumine aasta jooksul, eriti linnades, kus värsket vett võetakse pinnaveehoidlast (nagu enamikus Eesti linnades). Sellisel juhul suureneb hooajalise soojuskoormuse kõikumine, kuna tarbitav külm vesi on talvel külmem kui suvel.

3.1.4.2 Soojuskoormuse päevane kõikumine

Kaugküttesüsteemi soojusvajadust mõjutavad eelkõige kliendid. Soojusvajadus ei ole päeva jooksul ühesugune, ehkki kaugküttesüsteemides ühtlustuvad geograafilise mitmekesisuse tõttu igapäevased soojuskoormuse muutused ja soojuskoormuse tipud ei teki samal hetkel. Kaugküttesüsteemide igapäevastel soojuskoormuse kõikumistel on mitu põhjust. Enamik neist lähtub sotsiaalsest soojavajadusest. Kui inimene otsustab käte pesemiseks soojaveekraani lahti keerata, suureneb hoone soojusvajadus, mis jõuab kaugküttevõrgu kaudu soojusvarustusjaama. Sotsiaalse soojusvajaduse põhjusteks on nii individuaalne kui ka kollektiivne sotsiaalse käitumine. Üks näide individuaalsest sotsiaalsest käitumisest on sooja vee tarbimine. Ühtlustatud tööaeg on kollektiivse sotsiaalse käitumise näide.

Avalikes hoonetes, nagu koolid, lasteaiad ja kontorid, kus öösel ja nädalavahetustel pole ühtegi inimest, saab langetada ventilatsioonisüsteemi võimsust. Hea oleks ventilatsiooni automaatikat

rakendada kõikides ventileeritavates ruumides, mida 24 tundi ööpäevas ei kasutata. See vähendab soojusvajadust, kuid tekitab ka igapäevaseid soojuskoormuse erinevusi. Elamutes elavad inimesed tavaliselt öösel sooja vett ei tarbi, kuid ärgates on soe vesi üks esimestest asjadest, mida tarbitakse. Sama juhtub siis, kui inimesed tulevad õhtul töölt koju ja hakkavad taas sooja vett kasutama. Öine režiim on olemas enamikus küttejühtimissüsteemides. See ei vähenda kogu soojuse kasutamist, kuid suurendab soojuskoormuse varieerumist sarnaselt ventilatsiooni automaatikaga. Eelnevas peatükis mainiti sooja tarbevee ettevalmistamist kahel viisil: otseselt ja salvestusega. Otsese ettevalmistuse korral langeb sooja vee tarbimine selle kasutusajaga kokku, tekitades soojuskoormuse varieerumist. Kuuma vee salvestamisel mahupaaki ei väljendu päevased koormuse kõikumised nii tugevalt.



Joonis 3.7. Tallinna soojuskoormuse tüüpiline muster ühe nädala jooksul

Tüüpiline soojuskoormuse muster on kujutatud joonisel 3.7.

Tavaliselt võib igapäevaseid soojuskoormuse muutusi iseloomustada järgmiselt:

1. Tarbimistipp on pärast lõunat.
2. Kevadel ja sügisel tekitavad öiste ja päevaste välistemperatuuride suured erinevused märgatava soojustarbimise languse keset päeva.
3. Väikesed erinevused nädalapäevade vahel.

3.2 Tarbijad

Tarbijad mõjutavad nii võrgu toimimist kui ka selle parameetreid. Kaugkütte tarbijateks võivad olla nii elamud kui ka mitteelamud.

Suurim osa kaugküttevõrku ühendatud elamutest on korterelamud. Mitteelamute hulka kuuluvad avalik-õiguslikud hooned (haiglad, koolid, lasteaiad), kommertshooned (kauplused, bürood) ja tööstushooned. Mõnel juhul on olemas täiendavad lokaalsed soojustootmisvõimalused, nagu kohalik katlamaja, soojuspump või geotermiline soojus, mida saab kasutada paralleelselt, asendada või kasutada kaugkütte tagavarana. Tarbijad on kaugküttevõrguga ühendatud soojussõlmega (3.2.1). Kaasaegsetes kaugküttesüsteemides kasutatakse kauglugemist tarbijate andmete kogumiseks (3.2.2). Täiendavalt on paralleeltarbimise probleemidest kirjutatud peatükis 3.2.3.

Mõnikord on tarbijad ka soojuse tootjad ning soovivad seda müüa kaugküttevõrku (tootvad tarbijad). Tootvaid tarbijaid on kirjeldatud peatükis 3.2.5

3.2.1 Sojussõlmed – soojusvahetid

Sojussõlm on hoone või hoonerühma seadmestik, mille abil soojusenergia tarbijad on ühenduses soojus- ehk kaugküttevõrguga.

Sojussõlmes muudetakse välise soojusvõrgu soojuskandja temperatuur ja rõhk sobivaks hoone kütte- ja ventilatsioonisüsteemile. Sojussõlme abil sojendatakse vajaliku temperatuurini sooja vee süsteemis tarbitav vesi. Sojussõlm võib olla avatud tüüpi (kaugkütte soojuskandjat kasutatakse otse hoone küttesüsteemides) või suletud tüüpi. Tänapäeval ehitatakse suletud ühendusega ehk plaatsoojusvahetitega sojussõlmi. Iga sojussõlme kontuur vajab sekundaarpoolel erineva temperatuuriga soojuskandjat.

Sojussõlmede põhikomponendid on: soojusvahetid, pumbad, automaatika ja toruarmatuur (sulgeventiilid, mudafiltrid, tagasilöögiklapid ja torustik).



Joonis 3.8. Soojussõlm (Allikas: Eesti Termotehnika)

3.2.1.1 Soojusvahetid

Soojusvaheti on soojussõlme üks tähtsamaid seadmeid. Soojusvaheti eraldab hoone küttesüsteemi kaugküttevõrgust, st primaarkontuuris voolava vee temperatuur ja rõhk on sõltumatu sekundaarpoolel kasutatavast keskkonnast ja rõhust. Plaatsoojusvaheteid on kahte tüüpi: joodetud ja avatavad ehk tihenditega.

Tänapäeva soojussõlmedes kasutatakse üldjuhul joodetud plaatsoojusvaheteid, mis taluvad kõrgeid temperatuure ning rõhke, tagavad tõhusa soojusülekanne, on hooldusvabad ja soodsa hinnaga.

Soojusvaheti parameetrid arvutatakse ette antud võimsuse, temperatuurigraafikute ja lubatud rõhukadude järgi spetsiaalsete, soojusvaheti tootjafirmade poolt koostatud arvutusprogrammide abil.

Joodetud plaatsoojusvahetid koosnevad reljeefsete roostevabast terasest plaatide pakist, mis on vase- või niklijoodisega kokku joodetud. Plaadipaki koostamisel pööratakse iga teist plaati 180°, mille

ühendamisel tekib kaks eraldi voolukanalit – primaar- ja sekundaarpool, kus mõlemal pool plaati voolavad erinevad vedelikud vastassuunas.

Soojusvahetite kasutusotstarve on mitmekesine – peale kütmise kasutatakse neid jahutus-, aurustus- ja kondenseerimisprotsessides.

3.2.1.2 Automaatne reguleerimissüsteem

Automaatsed soojussõlme reguleerimisseadmed peavad võimaldama hoone soojuskadude võimalikult täpset kompenseerimist, et hoone kõikides ruumides oleks tagatud hea sisekliima võimalikult väikese energiakuluga.

Regulaator-seadekeskus võtab vastu signaale anduritelt, võrdleb neid ette antud reguleerimisparameetritega ning sisestatud programmiga ja vastavalt sellele juhib soojussõlme reguleeriventili täiturmootori kaudu. Seadeventiili avamise ja sulgemisega muudetakse primaarkontuuri vooluhulka ja sellega automaatselt ka sekundaarpoolel kütte või sooja vee kontuuri siseneva keskkonna temperatuuri.

Regulaatorid, mis paigaldatakse uutesse või rekonstrueeritavatesse soojussõlmedesse, peaksid võimaldama soojussõlme jälgimist ja juhtimist üldise hooneautomaatika kaudu.

3.2.1.3 Temperatuuriandurid

Temperatuuriandureid kasutatakse soojussõlmes voolava vee ja väliskeskkonna temperatuuride mõõtmiseks. Üldjuhul kasutatakse soojussõlmedes nn vette uputatud temperatuuriandureid. Pinnal asuvaid temperatuuriandureid on otstarbekas kasutada ainult aeglase temperatuurimuutusega reguleerimiskontuuris ja väikemaja reguleerimisseadmes, kui nad on hoolikalt torule kinnitatud ja isoleeritud.

Sõltumatu ühendusskeemi korral tuleb temperatuuriandur paigutada vahetult soojusvaheti järele sellisesse kohta, kus temperatuur on piisavalt ühtlustunud. Välistemperatuuri andur tuleb paigaldada hoone loode- või põhjapoolsele seinale.

3.2.1.4 Täiturmootor

Täiturmootor reguleerib seadekeskuse kaudu seadeventiili asendit. Täiturmootorid on erineva reageerimiskiirusega. Aeglasemaid mootoreid kasutatakse suure soojusliku inertsi süsteemides (radiaator- ja põrandaküte), kiiremaid ventilatsiooni ja sooja tarbevee korral.

3.2.1.5 Reguleerventiilid

Reguleerventiili avamise ja sulgemisega muudetakse läbivooluhulka süsteemide primaar- ja sekundaarpoolel. Nad jagunevad 2-, 3- ja 4-tee ventiilideks, soojussõlmede primaarpoolel kasutatakse tavaolukorras 2-tee ventiile.

Soojussõlmes paigutatakse reguleerventiilid sõltumatu ühendusskeemi korral pealevoolutorule. Reguleerventiilid valitakse, kasutades primaarpoole arvatud vooluhulkasid ja majaühenduses teada olevat rõhkude vahet.

3.2.1.6 Tsirkulatsioonipumbad

Tsirkulatsioonipumpasid kasutatakse soojussõlmes tagamaks vedelike ringlus torustikus; sõltumatu küttesüsteemi korral paigaldatakse need tagasivoolu- ja segamissõlmes pealevoolutorule.

Pumbad võivad olla kuiv- või märgmootoriga. Elamutes ja ühiskondlikes hoonetes võib kuivmootoriga ringluspumpasid kasutada, kui pöörlemiskiirus on maksimaalselt 1500 pööret minutis, märgmootorpumba pöörlemiskiirus võib igas olukorras olla maksimaalselt 3000 pööret minutis.

Tsirkulatsioonipumbad valitakse vastavalt süsteemi arvatud rõhukaole ning vooluhulgale ja soojussõlme takistusele. Euroopa Liidu direktiivide kohaselt tuleb küttesüsteemides kasutada sagedusmuunduriga pumpasid, soojal tarbeveel võib olla ka konstantse kiirusega seade.

3.2.1.7 Filtrid

Soojusvahetite, pumpade, reguleerventiilide, soojus- ja veemõõtjate kaitsmiseks vedelikes sisalduvate mehaaniliste osakeste, rooste ja sodi eest peavad soojussõlmed olema varustatud filtritega.

Tavakasutuses olevad filtrid on flants- või keermesühendustega, filterelemendiks on roostevabast materjalist võrk-sõel, mille augud on eri suurusega (0,6–1 mm).

Mudafiltrid paigaldatakse sissevoolu torustikele enne kaitsmist vajavaid seadmeid, näiteks sojustrassi ja külma tarbevee sisenditele ja sekundaarpoole tagasivooludele kütte ja sooja tarbevee tsirkulatsioonikontuurile.

3.2.1.8 Paisupaak

Paisupaak on silindriline suletud anum, mis on kummimembraaniga jagatud kaheks osaks. Paagi üks osa on ühendatud küttestorustikuga ja täidetud veega, teine pool täidetud gaasiga (lämmastik, õhk). Normaalolekus on membraan surutud vastu sisendtoru ja paak on veest tühi tänu gaasi rõhule, mida nimetatakse paisupaagi eelrõhuks. Gaasi rõhku saab reguleerida, lisades seda ventiili kaudu gaasipoolsesse ossa. Temperatuuri tõusul vedelik paisub ja gaas surutakse membraani abil kokku, paisupaak täitub teatud osas veega, hoides ära rõhu ohtliku tõusu süsteemis; mahu vähenedes surutakse liigne vesi tagasi süsteemi, säilitades ettenähtud rõhu kontuuris.

Süsteemi ja ka paisupaagi kaitseks vedeliku liigse rõhutõusu puhul kasutatakse vedruga kaitseklappe. Rõhu tõusul klappil seadistatud suuruseni surutakse vedru kokku ja klapp avaneb, lastes liigse vedeliku kanalisatsiooni või vastavasse mahutisse, rõhu tasakaalustumisel klapp sulgub.

Kaitseklapid paigaldatakse paisumistorustikule.

3.2.1.9 Muud seadmed

Soojussõlme seadmete hulka kuuluvad ka tasakaalustusventiilid, mille abil seadistatakse täpselt süsteemile projekteeritud soojuskandja vooluhulk.

Sulgeventiilide ülesandeks on erinevate kontuuride sulgemine kas soojussõlme seiskamiseks või teatud remondi- ja hooldustöödeks (filtrite puhastus, seadmete vahetus). Spetsiaalsed tasakaalustusventiilid võivad töötada ka sulgeventiilidena.

Normidest tulenevalt soovitatakse puhkudel, kui ringleva kaugküttevõrgu rõhkude vahe tarbija majaühenduses muutub enam kui 200 kPa, kasutada diferentsiaalrõhu regulaatorit.

3.2.2 Kauglugemine

Täpne ja vähemalt igatunnine mõõtmine on neljanda põlvkonna kaugküttevõrgus väga oluline. Veebimõõdikud ja kodused energijahtimissüsteemid on nutika kaugküttevõrgu oluline osa. See võimaldab mõista ja optimeerida energiatarbimist, teha võrgu täpseid geomeetrilisi arvutusi ja toota energiat ka detsentraliseeritud tootmisüksuses (peatükk 2.3.5).

Endiselt on olemas kaugküttevõrke, kus tarbitud soojushulga määramine toimub ilma arvestita, kasutades ainult arvutusmeetodit. Selliseid võrke leidub enamasti Ida-Euroopas. Õnneks on alustatud kõikides teadaolevates arvestita võrkudes soojusarvesti paigaldamist iga tarbija soojussõlme. Elanike arvete koostamiseks üksikasjalikke mõõtmisi enamasti ei tehta. Lihtsaim ja levinuim lähenemisi on

soojuskulu jaotamine elamispinna kohta (kWh/m²), kuid see ei motiveeri elanikke energiat säästma. Tuginedes Tallinna tarbijastatistikale, mõjutab radiaatoritele termostaatide paigaldamine energiasäästu pigem negatiivselt – majad hakkavad kulutama veelgi rohkem energiat, võrreldes olukorraga, kui arveid koostatakse elamispinna ruutmeetrite järgi. Sel juhul tuleks kasutada teistsugust arveldusmeetodit, näiteks paigaldada soojuse jaoturid.

Tänapäeval on selleks vajalik tehnoloogia küllalt arenenud ja odav, mistõttu kauglugemisest on saamas standardlahendus. Esimesed kaugloetavad mõõtesüsteemid ilmusid 1990. aastatel, kuid hästi arenenud ja mõistliku hinnaga süsteemid on populaarseks saanud alles viimasel kümnendil, kuna internetiühendus ja mobiilsidetehnoloogia on muutunud odavamaks. Kauglugemine on elektrivõrkudes väga levinud – seda on seal üsna lihtne rakendada, kuna elektrijaotuse ettevõtetel on rohkem võimalusi ja neil on rohkem tarbijaid (seega on ühiku hind madalam) ning andmeid saab edastada elektriliini kaudu.

Lokaalne raadioside mõõtmine teostatakse käsitsi või sõidukitele kinnitatud seadmetega. Mõõturid on ühendatud väikese võimsusega raadiosaatjatega ja andmeid saab lugeda ainult siis, kui vastuvõtja on saatja lähedal (kuni 50 m). Seda tüüpi mõõteseadmeid kasutatakse tarbimisandmete kogumiseks kuu lõpuks, sest andmetöötlus on pigem aeganõudev ja igapäevane tarbimisandmete lugemine võib võtta aega, mis muudab suurte võrkude korral kõigi tarbijate andmete lugemise võimatuks. Pisut nutikam lahendus on paigaldada vastuvõtjad prügiveokitele, kuna need liiguvad pidevalt kogu linnas ja nad sõidavad vähemalt kord nädalas igast majast mööda. Veokitele kinnitatud seadmetel on kohalik andmete salvestusruum ja andmed saadakse sealt „baasist“. Nii kogutakse andmeid vähemalt kord kuus, minimeerides samal ajal transpordi- ja tööjõukulusid. Selle mõõtmismeetodi negatiivne külg on vajadus saada erinevad ettevõtted koostööd tegema, mis võib osutuda problemaatiliseks.

3.2.2.1 Raadiosidega lugemismõõdikud üle linna või selle osades

Saatjad on kas ise võimsamad või ühendatud võimenditega. Andmekogumissüsteemis on tavaliselt üle kogu linna paigaldatud kohalikud vastuvõtjad mõõtetulemuste salvestamiseks konkreetses piirkonnas ja seejärel saadetakse need raadioside teel põhivastuvõtjale või laaditakse internetiühenduse abil otse serverisse. Sellisel juhul toimub andmetöötlus tavaliselt iga 24 tunni järel, kuid andmed saadetakse enamasti tunnimõõtmiste paketine. Ühe arvesti kohene lugemine on teatud piirangutega võimalik ja võtab paar minutit. Selle süsteemi peamine negatiivne külg on suured investeeringud tugijaamade paigaldamiseks. Arvestades tänapäeval saada olevaid tehnoloogiaid, on märksa otstarbekam valida mõni muu viis andmete kogumiseks.

3.2.2.2 *Perioodiline andmelugemine Etherneti või GSMi teel*

Tegemist on eelnevalt kirjeldatud tehnoloogia täpsema versiooniga. Peamine erinevus on vahepealsete vastuvõtjate ja saatjate puudumine linnas, arvesti näidud laaditakse otse serverisse kord päevas tunninäitude paketina. Ühe arvesti kohene lugemine on võimalik väikeste piirangutega ja kuni paariminutilise viivitusega. Investeeringud on väiksemad, kuid lugemisintervall on siiski piiratud ühe kuni mitme tunnini.

Näidud kogu linna kohta laaditakse otse serverisse vähemalt kord tunnis. Ühe näidu lugemine on võimalik minimaalse viivitusega, samas kui andmete lugemise praktiline intervall on sõltuvalt soojusarvesti riistvarast piiratud 5–15 sekundiga. Selle lahenduse puhul saab andmeid vahetada mõlemas suunas, seega on võimalik lubada soojusettevõtjal soojussõlme juhtimist ja reguleerimist, kuna tarbijad saavad soojussõlme parameetreid muuta igast internetiühendusega seadmest. Samuti on võimalik läbi viia tarbimise parameetrite ja käitumise üksikasjalikku analüüsi, mis võimaldab kaugküttesüsteemi optimeerida.

Kõigi andmelugemissüsteemide puhul on oluline märkida, et mistahes arvestiga andmete tootmine on energiat tarbiv toiming ja kui andmete lugemist plaanitakse teha sagedamini kui üks kord tunnis, tuleks arvestit laadida patareide asemel toiteallika abil. Kogemustest on teada, et kord tunnis lugemine vähendab aku kasutusaega umbes kaks aastat. Näiteks on aku tüüpiline eluiga 10 aastat ilma lugemissüsteemi kasutamata, kuid kaheksa aastat koos süsteemiga. Tavaliselt tekitab toiteallika kasutamine küsimusi, kes peaks arvestite elektritarbimise eest maksma ja kuidas saab arvutada soojustarbimist elektrivarustuse häirete korral. Tegelikuses on arvestite energiatarve mitte üle 2–3 kWh aastas ja vastavat elektriarvet ei saa võrrelda pumpamiseks vajaliku elektrienergiaga. Vastuseks teisele küsimusele – elektrikatkestuse korral ei anta soojust kütteseadmetesse, kuna kütteevee ringlus ei saa ilma tsirkulatsioonipumbata toimuda, mistõttu pole mittetöötav arvesti sel juhul probleem. Samuti on saadaval dubleeritud energiaallikate arvestid, mida kasutatakse mõnes võrgus standardlahendusena. Kaugmõõtesüsteemi olulisuse ja peamised eelised saab välja tuua järgmiste punktidenä:

- Täpne tarbimisstatistika – leibkonnad esitavad sageli tarbimisteavet konkreetse perioodi erinevatel päevadel ning igakuine energiamüügi ja soojuskao statistika võib osutuda sellisel juhul valeks.
- Detailne ülevaade võrgu parameetritest – parem peale- ja tagasivoolu temperatuuri reguleerimine, paigaldatud rõhuandurid võimaldavad võrgus paremat rõhureguleerimist ja selle tulemusel saab võrgu parameetreid optimeerida.

- Petmise tuvastamine – tavaliselt külastavad inspektorid soojussõlmi paar korda aastas ja ülejäänud aasta jooksul võivad mõned majapidamised mõõdikuid petta. Soojussõlme parameetrite pidev jälgimine aitab pettureid kiiresti tuvastada ja võimaliku petmiskatse tõendamise jaoks tõendid salvestada.
- Kliendi mugavuse uus tase – alajaama parameetreid ja tarbimist saab interneti kaudu jälgida reaalajas ja igast kohast; kliendid ei pea tarbimisandmeid esitama konkreetsel päeval.
- Soojussõlme tööparameetreid jälgitakse pidevalt, vigu ja tõrkeid saab tuvastada väga lühikese aja jooksul.

3.2.3 Tarbija mõju: tagasivoolu temperatuur ja paralleeltarbimine

Hoone energiatarbimist on võimalik vähendada kütte- ja ventilatsioonisüsteemide renoveerimise abil. Küttesüsteemide parendamine hõlmab soojussõlmede renoveerimist, mille käigus need varustatakse kõrgetasemeliste ja töökindlate kontrollsüsteemidega ning tsirkulatsioonipumpadega. Tänu kaasaegsele soojussõlmele on hoone küttesüsteem paindlikum. Tuleks eelistada soojustagastusega ventilatsiooni, sest see aitab vähendada hoone energiatarbimist. Ka hoone välisfassaadi renoveerimine, akende vahetamine ja katuse soojustamine on suure energiasäästupotentsiaaliga tegevused. Kütte hinna pidev tõus muudab hoonete energiatarbimise parendamise aegamööda aina kulutõhusamaks. Kõik eespool mainitud tegevused langetavad küttekoormust, mida peab arvesse võtma ka kaugküttesüsteemi elementide planeerimisel ja projekteerimisel, et valida optimaalse võimsusega seadmed ja torustike renoveerimisel optimaalse diameetriga torud.

Probleemid ilmnevad siis, kui hoonete renoveerimisel lisatakse süsteemi uusi soojusallikad, mis vähendavad kogu kaugküttesüsteemi energianõudlust. Kui kaugküttevõrguga ühendatud tarbija tarbib soojust ka teistest, kaugküttevõrgust väljaspool asuvatest allikatest, viib see paralleeltarbimiseni.

Uued energiatarbimise standardid toovad kaasa olemasolevate hoonete renoveerimise, sealhulgas korterelamute sektoris, millel on oluline roll energiatarbimise ja süsinikdioksiidi heitmete vähendamisel. Märkimisväärne hulk tarbijaid kaugküttevõrkudes renoveerib hooned, et jõuda Eesti renoveerimistoetuse programmi C-klassi, (energiatarbimise näitaja (EPI – *energy performance indicator*) ehk arvutatud aastane primaarenergia (PE) tarbimine peab olema $\leq 150 \text{ kWh/m}^2$), et saavutada renoveerimiskulude 40% tasuvus.

Toetuse abil renoveeritud hoonetes saavutatud energiasääst peaks 2030. aastal jõudma korterelamutes 50%-ni ja väikeelamute 40%-ni. Sealjuures võib tekkida paralleelne energiatarbimine, mis on üks takistus üleminekul neljanda põlvkonna kaugküttesüsteemile, kuna paralleeltarbimise tõttu tõuseb kaugküttesüsteemis tagasivoolu temperatuur. Hetkeseisuga on kahe ventilatsioonisüsteemi abil võimalik saavutada suurepärase energiatõhususe ja hoone hea sisekliima. Eesti korterelamute renoveerimise programm toetab ventilatsioonisüsteemidest heitõhu soojuspumba (EAHP – *exhaust air heat pump*) ja soojustagastusega ventilatsiooni (HRV – *heat recovery ventilation*) kasutuselevõttu. Heitõhu soojuspump on eelistatav lahendus ühiselt mitme hoone peale, kuna vaid siis on võimalik saavutada vajalik energiatõhususe näitaja, et saada soovitud renoveerimistoetus minimaalse investeerimiskuluga (heitõhu soojuspumba elektritarve on märkimisväärne). Heitõhu soojuspumba kasutamisel on negatiivne mõju ka kaugküttesüsteemile, sest see mõjutab soojuskadusid, vähendab tarbimist ja põhjustab hinnatõusu. Lisaks suurenevad kaugküttesüsteemis olevate tarbijate energiatootmise CO₂ heitmed. Heitõhu soojuspumba positiivseks küljeks on, et peaaegu sama primaarenergia tarbimise tase on saavutatav väiksemate aastaste kulutustega (aastased kapitalikulud, sooja tarbevee soojuskulud ja elektrikulud) ning väiksema alginvesteeringuga. Samal ajal on igal heitõhu soojuspumbaga renoveeritud hoonel negatiivne mõju soojuse hinnale. Kaugküttepiirkondades, kus peaaegu kõiki hooneid renoveeritakse heitõhu soojuspumpade abil, ei ole kulude kokkuvõtte nii ilmne kui kaugküttepiirkondades asuvate soojustagastusega ventilatsiooniga hoonete korral, kus paralleelsete tarbimislahenduste kasutamine on minimaalne.

3.2.4 Tootvad tarbijad

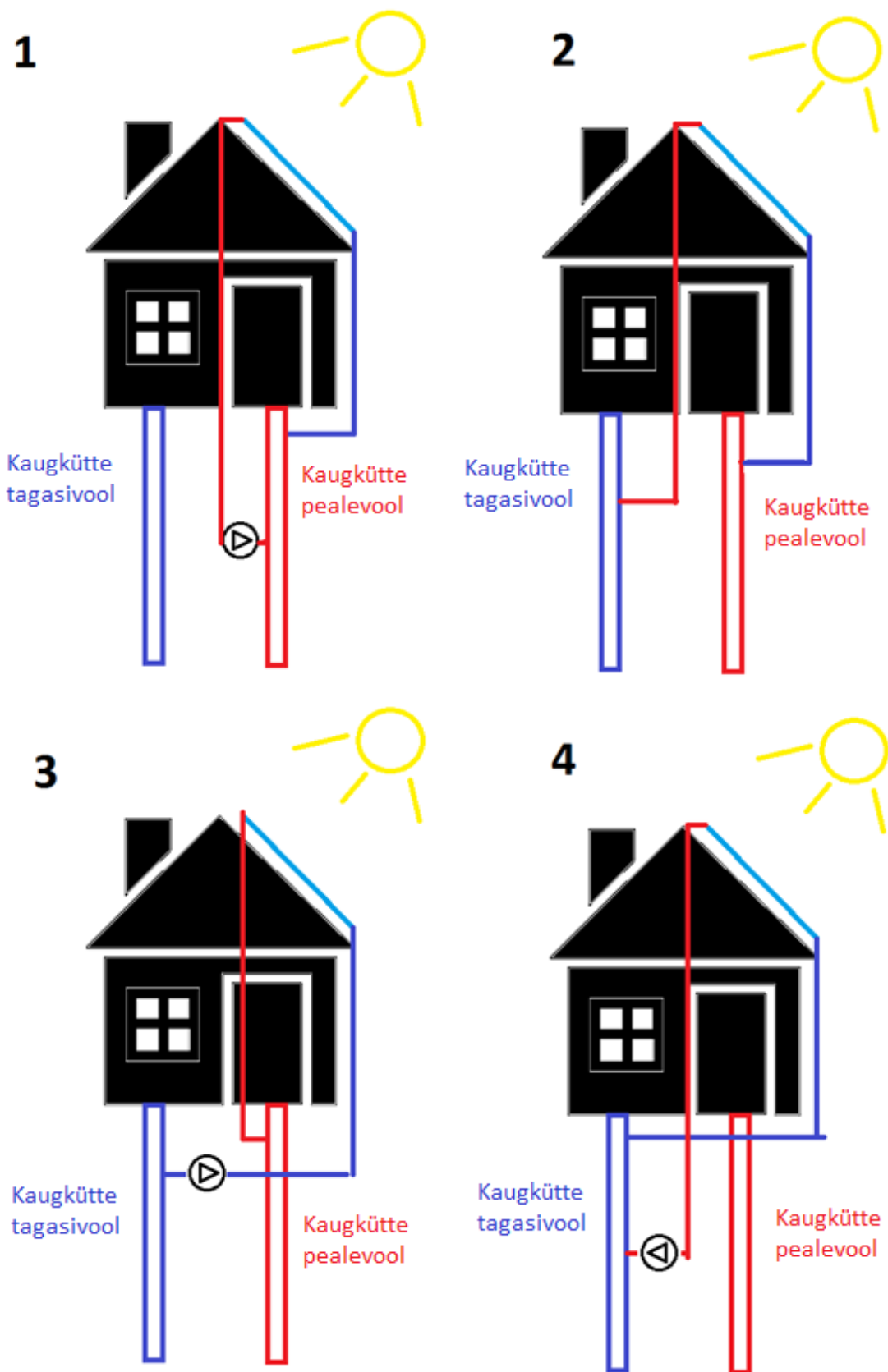
Tarbijad, kes lisaks tarbimisele ka toodavad soojust ja soovivad seda müüa kaugküttevõrku, on järgmise põlvkonna tarbijad pärast kahe allikaga tarbijaid (peatükk 2.1.4). Esimesed sellised tarbijad on kaugküttevõrkudes juba olemas ja tulevikus tuleb neid tõenäoliselt juurde. Elektrivõrkudes on tootvad tarbijad tegutsenud juba aastaid, kuid kaugküttevõrgus muudab hüdraulika tootva tarbija ühendamise kaugküttevõrguga palju keerulisemaks. Seda tüüpi tarbija on problemaatiline ka soojusettevõtte jaoks, eriti seoses kaugküttesüsteemi tehtavate investeeringutega, kuid tänu võimalusele müüa üleliigset energiat kaugküttevõrku võib see tekitada mõnel juhul teatud sümbioosi.

Tootvad tarbijad ei ole tuleviku tarkades kaugküttevõrkudes mitte ainult olulised sidusrühmad, vaid nende roll võib olla oluline ka nõudluse tippude katmisel. Soojuse detsentraliseeritud tootmine tagab võrgu suurema paindlikkuse ja see võib vähendada ka ehitamiskulusid, kuna tsentraalse katlamajaga ühendamiseks pole vaja üle kogu linna suuri torustikke paigaldada. Soojuse jaotatud tootmine parandab ka soojuse kättesaadavust, kuna võrgu rikked mõjutavad väiksemat arvu tarbijaid

ja on olemas paindlikkus anda soojust muust allikast. Puuduseks on see, et õhusaaste kontroll võib olla palju keerulisem, samuti on vaja lahendada võrgu hüdrauline reguleerimine, parameetrite kontroll ning tagavaratootmisüksuste asukohad.

Siin arvestatakse ainult tarbijate heitsoojusega, kuna kütuseressursside asemel on mõistlik kasutada muidu kasutamata energiat ehk heitsoojust. Selliste allikate kasutamine suurendab energiatarbimise tõhusust ja vähendab kaudset keskkonnareostust. Suurte külmutussüsteemidega supermarketid on üks paremaid näiteid energiat tootvatest tarbijatest. Tavaliselt on jahutusseadmed ühendatud katusel paiknevate soojusvahetitega, kus kõrge temperatuuriga energia eraldub keskkonda. Halvimal juhul võib ruumide ja sooja vee kütmiseks kasutatud soojuse tarbimisega kaasneda soojuse liigne eraldumine keskkonda. Erinevad tootmiskohad, näiteks klaasitehased, tsemendi tootmishooned jms peaksid olema ühendatud kaugküttevõrguga, sest nende heitsoojus on tavaliselt saadaval aasta ringi ja seda on võimalik kasutada baaskoormuse katmiseks.

Korterelamud ja eramajad võivad samuti olla tootvad tarbijad. Päikesepaneelid ja soojuspumbad on odavad ning päikese kõrge aktiivsusega perioodidel võib paneelide abil toodetu ületada maja tarbimisvajaduse. Siin on peamine probleem, kuidas seda energiat võrku anda ja millised on selle parameetrid. Rakendamiseks on siinkohal välja pakutud neli ühendusskeemi (joonis 3.9). Igal skeemil on omad plussid ja miinused.



Joonis 3.9. Erinevad võimalused tootvate tarbijate (prosumers) kaugküttevõrku ühendamiseks

- 1. Soojusvarustus pealevoolutemperatuuril** – seda võimalust võib kaaluda, kui heitsoojus on kõrge temperatuuriga. Torustikus võib soojuskadu suurened. Samuti erineb toitetemperatuur võrgugraafikust, mis on kõrgem läheduses asuvate tarbijate jaoks. Pealevoolutoru peab olema ühendatud suurema torujuhtmega, vastasel juhul ei tarnita energiat suletud ahela tõttu. Pumpamiskulud on suhteliselt väikesed, ületada tuleb ainult sisemine rõhulangus.
- 2. Soojusvarustus pealevoolu temperatuurilt tagasivoolu temperatuurile** – siin on ainus eelis see, et lisapumpasid pole vaja. Sellel on samad probleemid nagu esimesel võimalusel, lisaks tõuseb tagasivoolu temperatuur, mis võib vähendada tootmiskoha efektiivsust ja suurendada vee vooluhulka ning soojuskadu võrgus. Kaugküttevõtte vaatenurgast on see kõige halvem variant, aga parim tarbija seisukohast.
- 3. Soojusvarustus tagasivoolu temperatuurilt pealevoolu temperatuurile** – see on kaugküttevõrgu jaoks parim skeem, kuna võimaldab kasutada madalama temperatuuriga heitsoojust ja vähendab energiakulu soojuskandja pumpamisel. Puudusena nõuab see tootva tarbija juures suurt pumpamisvõimsust. Arvestades, et neljanda põlvkonna kaugküttevõrkudes ei ületa pealevoolu temperatuur 60 °C, pole ühendusel olulist tehnilist mõju.
- 4. Soojusvarustus tagasivoolu temperatuuril** – sellel variandil on samad probleemid, mis esimesel ja teisel võimalusel; seda võib kaaluda, juhul kui tootmise efektiivsus ei sõltu soojuskandja tagasivoolu temperatuurist.

Esimest ja kolmandat ühendusvõimalust tasub kaaluda, kuna nende üldine mõju kaugküttevõrgule on kõige väiksem. Igat tootva tarbija juhtumit tuleb analüüsida eraldi, et mõista selle mõju teistele tarbijatele ja kaugküttesüsteemile.

Mõned üldised põhimõtted:

- naabertarbijate pealevoolu temperatuur võib langeda, kuna tootva tarbija (soojuspumba ja päikesepaneeli) efektiivsus sõltub temperatuurist, mistõttu võib tarbija tahta soojusvõrku anda soojust kavandatust madalamatel temperatuuridel;
- hoolimata asjaolust, et vee vooluhulk tootmisjaamades väheneb, suureneb kiirus tarbija lähedal, kui pealevoolu temperatuurid on kavandatust madalamad;
- võib tekkida rõhu erinevusi tootmissettevõtte lähedal, kui tootva tarbija võimsus on soojust tootvate seadmetega võrreldes suhteliselt väike.

Üldiselt peab rõhk langema, kui pealevoolu temperatuur on sama, mis plaanitud, ja rõhk jääb samaks või tõuseb, kui temperatuur on madalam. Neljanda põlvkonna kaugküttevõrgu vaatenurgast võib tarbijate heitsoojus kaugküttevõrgule kasu tuua, vähendades kütteperioodil kasutatud

fossiilkütuste hulka. Võrkude jaoks, kus vähese koormusega küttevajadus on juba kaetud mittefossiilse kütusega, on hooajaline soojusenergia salvestamine heitsoojuse kasutamisel ülioluline.

3.3 Kontrollküsimused

- 1) *Millistest parameetritest sõltub hoone soojuskoormus?*
- 2) *Millest sõltub hoone sooja tarbevee koormus?*
- 3) *Kuidas on võimalik vähendada sooja tarbevee ebaühtlasest kasutamisest tingitud tagasivoolu temperatuuri tõusu?*
- 4) *Mida näitab soojuskoormuse kestusgraafik ja kuidas seda koostatakse?*
- 5) *Iseloomusta tüüpilist soojuskoormuse mustrit. Kirjelda erinevaid võimalikke lahendusi, kuidas ühendada tootvaid tarbijaid kaugküttevõrguga. Millised on nende lahenduste eelised ja puudused?*
- 6) *Milleks on vajalikud kaugküttesüsteemi soojussõlmed?*
- 7) *Millised on tänapäevase soojussõlme peamised komponendid?*
- 8) *Kuidas mõjutab tarbija temperatuuritaset kaugküttevõrgus?*
- 9) *Mis on paralleeltarbimine ja kuidas see mõjutab kaugküttesüsteemi toimimist?*
- 10) *Nimeta erinevaid võimalusi kaugküttevõrgus kauglugemise korraldamiseks? Millist moodust kasutatakse kõige rohkem ja miks?*

4 Soojuse tootmine kaugkütte jaoks

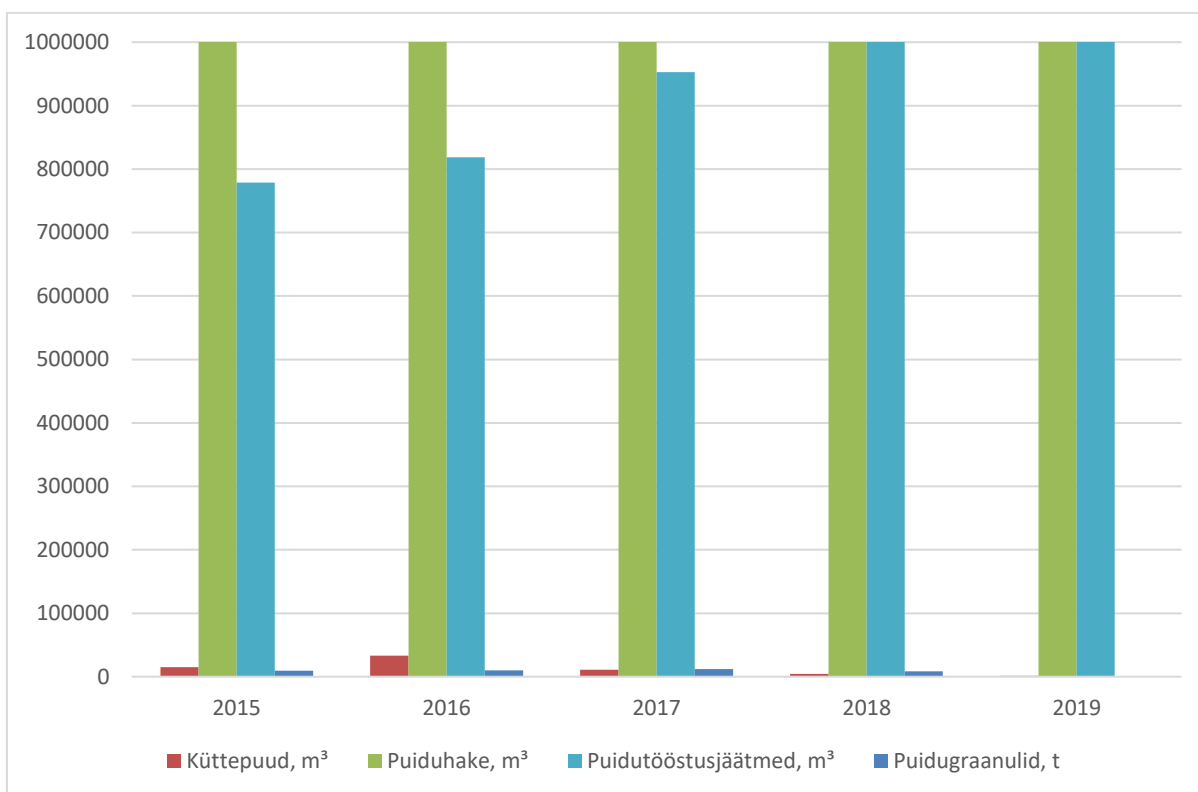
4.1 Kütusepõhised soojusallikad

4.1.1 Kütused

Biomass

Biomass on Eestis hästi kättesaadav kütus. Biomass on oma lähtetoorainest tulenevalt mitmekesine. Vastavalt Euroopa Liidu standardile CEN/TS 1496:2005 klassifitseeritakse tahke biokütus päritolu järgi – puitne biomass ehk puitbiomass ja rohtne biomass. On kindlaks tehtud, et saadaolevaid põllumajandusjääke tekib Eestis 1,1 miljonit tonni aastas, metsandusjääke 0,99 miljonit tonni aastas ja biojätmeid 0,11 miljonit tonni aastas. Vastavalt metsadest pärineva puitbiomassi, sealhulgas tüvepuidu, raiejääkide ja kändude potentsiaalile on Eesti ELi kõige suurema biomassi kättesaadavusega piirkondade seas, kus hektari kohta saada olev biomass jääb vahemikku 0,51–0,75 miljonit tonni aastas. Eesti Statistikaameti andmetel on metsade osakaal kogu Eesti maa-alast 51,4%, millest 74% on tulundusmetsad ja 26% looduskaitsealad.

Joonisel 4.1 on esitatud puidupõhiste kütuste kasutamise kogused Eesti kaugküttevõrkudes



Joonis 4.1. Puidupõhiste kütuste kasutamine kaugküttes 2015-2019 (Allikas: Statistikaamet)

Küttepuit (ka halupuud) leiab harva kasutamist suurtes katlamajades. 2020. aastal kasutati seda ainult väiksetes katlamajades (näiteks Kolga-Jaani, Kääpa). Enamik küttepuude raiest talumetsades tehakse seniajani käsitsi mootorkettsaagidega, metsalangetusmasinaid (harvestere) on hakatud kasutama uuendusraiel, kui küttepuit raiutakse koos likviidse puiduga.

Pelleteid kasutatakse väikeste katlamajade kütmiseks, pakkudes soojust väikestele kaugküttevõrkudele. Eestis kasutatakse pelletikatlamaju näiteks Kose ja Pajusti kaugküttevõrkudes.

Peamine kaugküttes kasutatav kütus on puiduhake. Puiduhakke tootmistehnoloogia on viimastel aastatel kiiresti arenenud. Hakkpuit ehk puiduhake on võsast, tarbepuiduks sobimatutest tüvedest, tüvede laasimisjäätmest ja raie- või puidutöötlemisjäätmest saadud küttematerjal, mis on peenestatud spetsiaalse hakkuri abil. Puiduhakke tüki keskmine suurus on 25–40 mm.

Puiduhakke toormaterjalina kasutatakse ka kraavipervedel kasvavat võsa, raiejääke, puidust ehitusjätmeid, kände ja muid puidupõhiseid materjale. Võsalõikus, kraavide ja teeäärte puhastamine, raiejäätmete kogumine ning metsa hooldamine muudab looduse üldist ilmet ja teeb metsa majandamise lihtsamaks ning odavamaks.

Hakkuri abil on võimalik toota kuni 200 m³ puiduhaket tunnis. Puiduhaket tuleb hoiustada kõva pinnasega laoplatsil, mille juurde viivad raskeveokitele sobivad teed. Teede puhul on oluline ka see, et hakkuril ja hakkeveokil oleks piisav manööverdamise võimalus ning raskeveokite ligipääs oleks piiranguteta.

Eestis tegutseb üle 50 puiduhakke tootja, kelle hulgast suuremad on näiteks Riigimetsa Majandamise Keskus (RMK), Lumbar OÜ ja Timberston OÜ. Puiduhaket tootvate ettevõtete seas on nii metsaomanikke kui ka ettevõtteid, mis ostavad toormaterjali väiksematelt metsaomanikelt.

Ka rohtse biomassi kasutamine kütusena kaugküttes on keskkonnasõbralik. Üks selline hea näide on Lihula Soojuse katlamaja, mis kasutab kütusena luhaheina. Kütteks kasutatav luhahein pärineb lähedal asuva Matsalu rahvusparki territooriumilt Kasari jõe luhalt, kus luhaheina niitmine on vajalik, et säilitada märgaladele omaseid looduslikke maastikke. Luhahein on loomasöödaks sobimatu, kuna see on toiteainesisalduse poolest väheväärtuslik. Siiani ei ole luhaheinale paremat kasutust leitud. Teise näitena võib tuua põhukatlamaja Tamsalus, mis katab linna soojuskoormuse osaliselt.

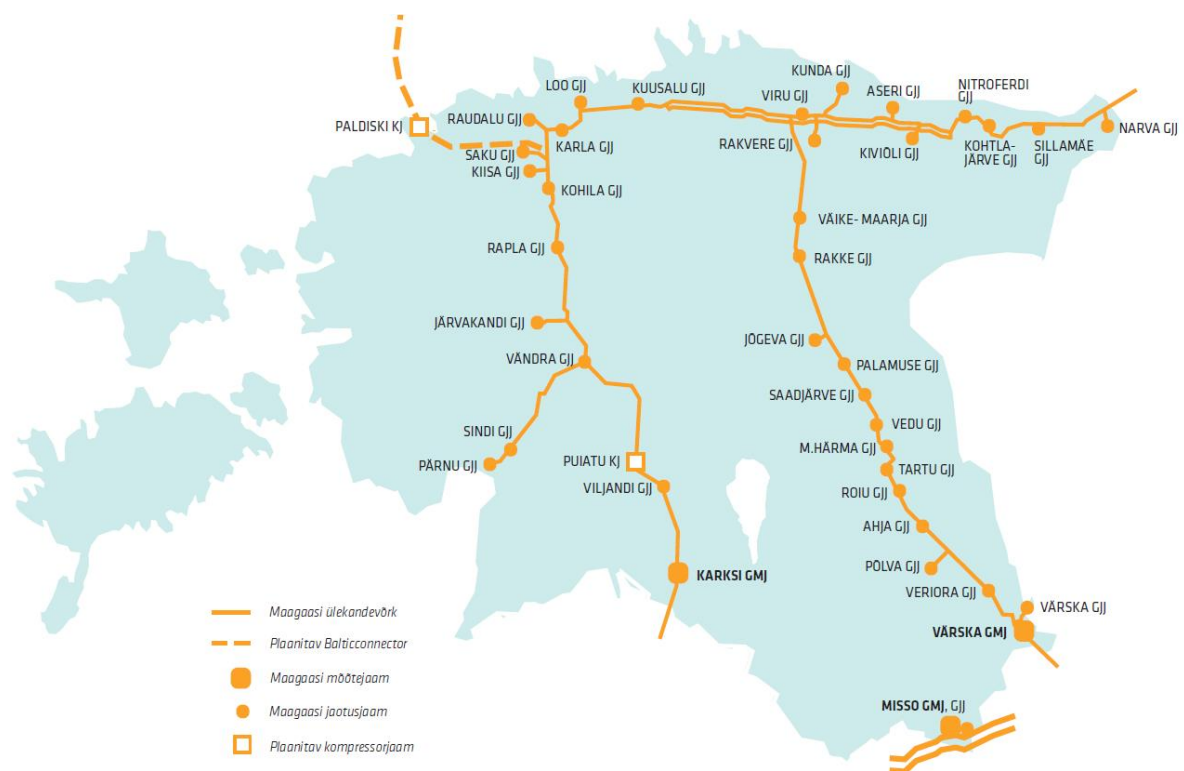
Maagaas

Maagaas on puhtaim fossiilne kütus ja selle põletamisel ei teki tahkeid jäätmeprodukte. Puhtalt gaasi- ja gaasikondensaadimaardlate gaaside keemiline koostis on püsiv, metaani (CH₄) sisaldus gaasis on

harilikult vahemikus 75–98% ning raskete süsivesinike (etaan, propaan jne) sisaldus on väike. Maagaas sisaldab vähesel määral ka süsinikmonooksiidi (CO), lämmastikku ning mõnede leiukohtade puhul võib gaasi koostises leiduda ka vesinikku.

Eesti gaasisüsteem kuulub regionaalsesse gaasisüsteemi ja meie gaasiturg on osa regionaalsest gaasiturust. Eesti gaasisüsteem ühendab Balticconnector'i kaudu omavahel gaasitarneid Venemaalt, Lätist Inčukalnsi maagaasihoidlast ja Leedust Klaipeda LNG terminalist Soome gaasisüsteemiga, moodustades ühe regionaalse gaasisüsteemi – Balti riigid ja Soome. Peatselt on valmimas ka Leedu ja Poola vaheline ühendus, mis tänu täiendavatele tarneallikatele tõstab varustuskindlust. 1. jaanuarist 2020 liitusid Eesti, Läti ja Soome ühtsesse gaasituru piirkonda, Leedu puhul läbirääkimised liitumise teemadel veel käivad.

Eesti maagaasi ülekandevõrk (joonis 4.2) koosneb 977,4 km pikkusest gaasitorustikust, mille juurde kuulub neli gaasimõõtejaama, 36 gaasijaotusjaama (GJJ) ja üks gaasireguleerimisjaam (GRJ).



Joonis 4.2. Eesti maagaasi ülekandevõrk. (Allikas: Elering)

Gaasimõõtejaamades mõõdetakse ülekantavaid gaasikoguseid ja gaasi kvaliteeti. Gaasijaotusjaamades redutseeritakse ülekandevõrgust väljuva gaasi rõhku, mõõdetakse koguseid, lisatakse gaasile lõhnaaineid ning tagatakse kokkulepitud tarbimisrežiim. Gaasireguleerimisjaamast, mis asub Kiilis, on võimalik juhtida ülekandevõrgu erinevaid osasid erinevatel tööriiskudel. Lisaks

toimub Kiili gaasireguleerimisjaamas Balticconnector'i süsteemi torustikust väljuva gaasikoguse mõõtmine. Paldiski gaasimõõtejaam valmis 2020. aasta lõpus ja ka seal mõõdetakse kahepoolselt Balticconnectorit läbivat gaasikogust.

Biogaas

Biogaas on anaeroobse kääritamise teel saadud gaasiline kütus, mis koosneb 50–70% metaanist (CH_4), 30–40% süsinikdioksiidist (CO_2) ja teistest komponentidest nagu N_2 , O_2 , NH_4 ja H_2S . Loodusliku protsessi käigus on võimalik biogaasi saada soodest, rabadest ja prügilatest. Kasutades spetsiaalseid kääriteid, on võimalik saada biogaasi ka sõnnikust, reoveest ja rohtsest biomassist ning teistest biolagunevatest jäätmetest. Enamasti jääb biogaasi kütteväärtus vahemikku 5–7 kWh/m³. Biogaasi kütteväärtus sõltub metaanisaldusest, mis omakorda sõltub biogaasi tootmiseks kasutatud kääritatava materjali toitainete sisaldusest, niiskusest ja jäätme tüübist. Eestis kasutatakse biogaasi soojuse ja elektrienergia tootmiseks.

Biometaan ehk rohegaas on puhastatud biogaas, mille metaanisaldus on 96–99% ja mille kütteväärtus on võrreldav maagaasiga. Biometaani saab kasutada samades tarvitites, mis kasutavad maagaasi. Eesti jaoks on hinnatud kohaliku biometaani potentsiaaliks 450 miljonit normaalkuupmeetrit, mis on veidi üle poole viimaste aastate keskmisest maagaasi tarbimisest Eestis.

Biogaasi tootmisel kasutatakse biolagunevaid tooraineid, millest peamised on:

- loomne sõnnik;
- reovee sete;
- erinevad söödakultuurid;
- märgaladel kasvavad taimed;
- taimekasvatusest üle jäävad varred, lehed jms;
- toiduainetetööstuste jäätmed (sh piima- ja lihatööstustest, tapamajadest).

Erinevate toorainete täpne energiasaldus ning kooskääritamise võimalused sõltuvad paljudest teguritest, näiteks kuivainest ja toitainete sisaldusest. Iga konkreetse projekti elluviimist tuleks alustada tooraine täpse analüüsiga. Tabelis 4.1 on toodud loetelu Eesti biogaasi tootmisüksustest.

Tabel 4.1. Eestis biogaasi tootmisüksused (bm – biometaani tootja)

Põllumajanduslikel sisenditel töötavad biogaasijaamad	Reoveepuhastus	Tööstusreovee käitlusjaamad	Prügilagaasi tootmine
Aravete Biogaas OÜ Oisu Biogaas OÜ Biometaan OÜ (bm) Vinni Biogaas OÜ (bm) Tartu Biogaas OÜ (bm)	Tallinna Vesi AS Kuressaare Veevärk AS (Kullimäe) Narva Vesi AS Tartu Vesi AS	Eastman Specialties OÜ Salutaguse Pärmitehas Estonian Cell AS (bm)	Paikre OÜ e. Rääma prügila (Pärnu, Raba prügila) Tallinna Prügilagaas OÜ (Jõelähtme prügila) Uikala Prügila AS (Uikala prügila) Aardlapalu prügila Väätsa prügila Kiviõli

[Kaart](#)

2020. aastast on Eestis võimalik sertifitseerida biolagunevatest jäätmetest biogaasi tegemisel tekkiva kääritusjäägi tootmist. Esimene kääritusjäägi tootmise sertifikaat väljastati Lääne-Virumaal biogaasi valmistamisega tegelevale ettevõttele Vinni Biogaas OÜ.

Biogaasi kasutatakse kütusena Aravete ja Oisu kaugküttevõrkudes. 2012. aastal ehitas Aravete Biogaasi OÜ Mägise suurfarmi juurde biogaasijaama koos biogaasil töötava soojuse ja elektri koostootmisjaamaga, millest alustati 2012. aasta sügisel Aravete kaugküttevõrgu soojusega varustamist. Koostootmisjaam, mille nii elektriliseks kui ka soojuslikuks võimsuseks on 2,0 MW, kasutab kohalikest põllumajanduse ja loomakasvatuse kõrvalsaadustest anaeroobse lagundamise protsessis saadavat biogaasi. Lisaks biogaasist toodetud soojusele töötab Aravetel ka põlevkiviõli kasutatav katlamaja. Aravete kaugküttevõrgu tarbijateks on koolimaja, spordihoone, lasteaed, kultuurikeskus ja üheksa kortermaja.

Biogaasi kasutatakse ka Oisu kaugküttevõrgus. 2013. aastal valmis Oisu aleviku külje all Estonia põllumajandusühistu lautade juures biogaasijaam, mille nii elektriline kui ka soojuslik võimsus on 1,2 MW. Biogaasijaamast juhitakse soojus magistraalitorustiku kaudu Oisu aleviku kaugküttevõrgu katlamajja. Lisaks biogaasijaamast saadavale soojusele on Oisu kaugküttevõrgus ka õlikatlad. Võrgus on kokku kaheksa tarbijat, neist pooled valla objektid.

Põlevkiviõli

Põlevkiviõli on kodumaine kütus, mida toodetakse põlevkivi utmisel Eestis kolmes põlevkiviõli tootmisettevõttes. Eestis toodavad põlevkiviõli Enefit Power õlitööstus, Kohtla-Järvel Viru Keemia Grupi tütarettevõtte VKG Oil AS Õlitööstus ning Kiviõlis Kiviõli Keemiatööstus. Kuigi veel aastakümneid tagasi töötas põlevkiviõlil 400 katelt, mis andsid keskmiselt 14% Eestis tegutsevate katlamajade soojusest, on põlevkiviõli oma tähtsuse katlakütusena minetanud. Põlevkiviõli leiab kasutamist

laevakütuse lisandina ja pea kogu toodetud põlevkiviõli eksporditakse. Vähesel määral võib leiduda veel vanu põlevkiviõlikatlad, mida kasutatakse varu- ja tipukateldena.

Jäätmed

Jäätmepõletuses on äärmiselt oluline üksikasjalik teave põletatavate jäätmete koostise ja omaduste kohta. Vaja on teada jäätmete kütteväärtust, niiskuse- ja tuhasisaldust, tuha karakteristikuid (sulamistemperatuur), happeliste ühendite (väävel, kloor) sisaldust, kütuse fraktsiooni suurust, lendosiste sisaldust ning elementaarkoostist. Elementaarkoostist on vaja teada kütust iseloomustavate karakteristikute väljaarvutamiseks. Kõiki neid suurusi on vaja harilikult teada ka tavakütuste korral.

Et jäätmed on erinevate materjalide segu, siis on nende koostis vägagi muutlik ja sõltub suuresti sellest, millistest komponentidest segu koosneb. Esindusliku proovi saamiseks tuleb uuritavat materjali võtta suures koguses, mis teeb nende analüüsimise kulukaks. Jäätmekütuse laborianalüüside läbiviimine on suhteliselt keerukas toiming, sest keskmise koostisega jahvatatud proovikoguse (1 g) saamine on üsna raske.

Eestis kasutatakse jäätmeid energia tootmiseks alates 2013. aastast, kui alustas tegevust Iru elektrijaama jäätmekütusel töötav elektri ja soojuse koostootmisplokk. Iru jäätmeplokk on võimeline põletama 250 000 tonni jäätmeid aastas, mis on üle poole kogu Eesti aastasest segaolmeprügi kogusest. Iru jäätmeploki soojuslik võimsus on 50 MW ja elektriline 17 MW. Toodetud soojusenergia suunatakse kaugküttevõrgu kaudu Tallinna ja Maardu elanikele.

4.1.2 Katlad

Kõige traditsioonilisem ja levinum viis kaugküttesoojuse tootmiseks Eestis on katlamaja.

Kaugkütte katelseade ehk katel on kompleksne seadmestik veeauru või kuuma vedeliku tootmiseks ja tarbijale edastamiseks. Katlas toimub kütuse keemilise energia muundamine soojuseks ning vee kuumutamine ja aurustamine selle soojuse arvel.

Katla põhiosad on kolle ja erinevat liiki küttepinnad, mis võivad olla paigutatud erineval viisil ja paikneda nii ühes kui ka mitmes korpuses. Kütus põleb koldes ja soojuse ülekandmine põlemisproduktidelt soojuskandjale toimub küttepindade kaudu. Soojuskandjaks võib olla vedelik (nt vesi), aur või põlemisõhk.

Katlaid võib liigitada erinevate tunnuste alusel, enamasti tehakse seda kasutatava kütuse, kolde ehituse ja soojuspindade põhjal. Kütuse järgi võib eristada gaasikatlaid, vedelkütuse katlaid ja tahkekütuse katlaid. Gaaskütusest on levinuim maagaas, vedelkütusena on Eestis kasutatud tavaliselt põlevkiviõli, kerget või rasket kütteõli, aga tänapäeval on vedelkütuse katlad kasutusel vaid reservkateldena või tipukoormuste katmiseks. Tahkekütusena on Eesti kaugküttekattlamajades kõige levinum puiduhake, vähemal määral ka turvas. Kuna kasutatava kütuse omadused (kütuse põlemist iseloomustavad põlemisprotsessid, leegi temperatuur, tuhasus, tuha sulamistemperatuur jne) määravad katla konstruktsioonis palju, siis on katla parima töö huvides oluline kasutada katlas vaid ettenähtud kütust.

Katla osa, kus toimub kütuse põlemine, nimetatakse koldeks. Läbi kolde seinte antakse soojus kollet ümbritsevale veesärgile, kus ringleb küttevesi. Kõige suurem soojuseraldus toimub koldes – tavaliselt ligi 50%. Ülejäänud soojuseraldus toimub üldjuhul suitsugaaside käikudes ehk konvektiivsete küttepindade kaudu.

Kolde ehituse järgi jaotatakse kolded kamberkolleteks ja kiht- ehk restkolleteks. Kihtkolletest võib lisaks eraldi välja tuua keevkihtkolded. Kamberkolletes põletatakse gaas- ja vedelkütuseid. Eramutele mõeldud kateldest on kamberkoldega ka pelletikatlad. Tahkekütuse katlad on harilikult kiht- ehk restkoldega. Kihtkollet iseloomustab kütusekihi olemasolu, millesse puhutakse põlemisõhku. Kütusekiht paikneb restil, millest tuhk ja räbu läbi sadenevad.

Tahkekütuse keevkihtkolded jagunevad statsionaarseks ja tsirkuleerivaks keevkihtkoldeks. Tahkekütuse keevkihtpõletustehnoloogia on leidnud laia kasutust. Tänu keevkihtpõletustehnoloogia arengule on suurenenud võimalused madalakvaliteetsete kütuste põletamiseks ning vähenevad põletamisega kaasnevad emissioonid (SO_x, NO_x). Keevkiht on hõljuvatest tahketest osakestest ja seda läbivast gaasivoolusest koosnev aerodünaamiline süsteem. Keevkihi puhul tekib sisemist liikumist omav keha, mida tuntakse ka pseudovedelikuna. Pseudovedelik käitub samalaadselt vedelikuga ning sellel on vedelikuga sarnased omadused.

Suure võimsusega energiablokkides on tänapäeval kasutusel tsirkuleeriva keevkihiga katlad. Tsirkuleeriva keevkihi korral rebitakse suurema pindkiiruse tõttu koldes osakesed keevkihist lahti ning suunatakse separaatorisse. Viimases eraldunud jämedamad osakesed lähevad tagasi koldesse.

Tsirkuleeriva keevkihiga kolde omapäraks on väike põlevaine kontsentratsioon ringlevas vooluses ning soojusvahetuspinna puudumine kihis.

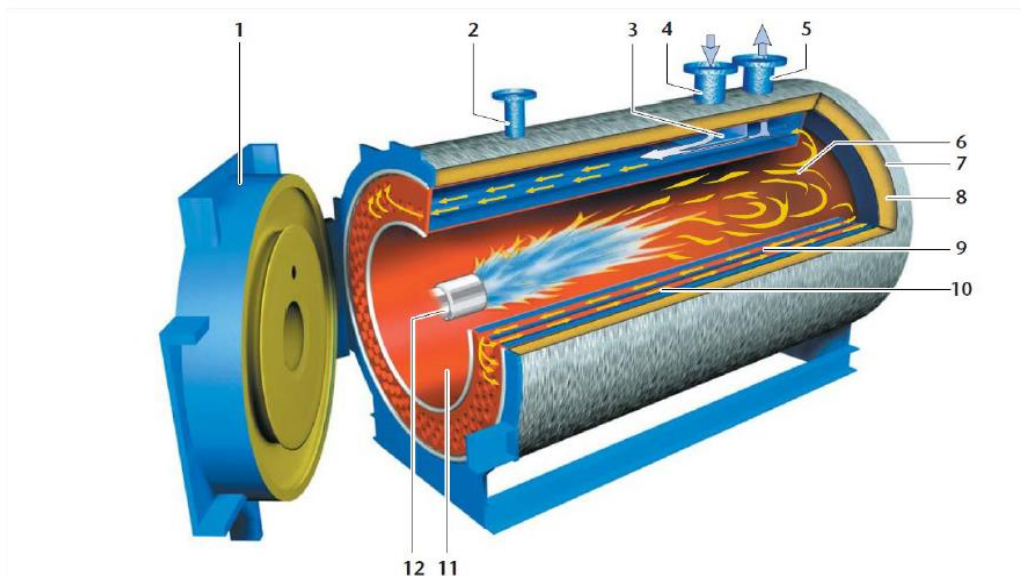
Tsirkuleeriva keevkihttehnoloogia kasutamisel suure lämmastikusisaldusega kütuste põletamisel võib kujuneda probleemiks lämmastikdioksiidi kui kasvuhoonegaasi suur kontsentratsioon põlemisgaasis.

Tsirkuleeriva keevkihiga katlad on täna Eestis kasutusel põlevkivi põletamisel elektrienergia tootmisel Balti elektrijaamas, milles tekkivat üleliigset soojust kasutatakse Narva linna kaugküttes.

Eesti keskmise ja väikese võimsusega kaugküttevõrkudes kasutatakse soojust tootmiseks tihti leektoru ehk leek-suitsutorukatlad. Leektorukatlad on enimlevinud soojusgeneraatorid kuuma vee ja auru tootmiseks kuni võimsuseni 25 MW ja rõhuni 25 bar.

Leektorukatlad on mitut tüüpi: kahekäiguline tagasipöörduva suitsugaasiga, kolmekäiguline, neljakäiguline, tagumise veesärgiga ja ilma tagumise veesärgita katel. Üldiselt on kõige levinum kolmekäiguline leektorukatel. Kõik need katlatüübid sarnanevad üksteisega oma ümara põlemiskambri ehk leektoru ja väiksemate leek- või suitsutorude poolest. Katla kollet ja suitsutorusid ümbritseb vesi, millele kantakse üle kütuse põletamisel eralduv soojus

Joonisel 4.3 on esitatud Buderuse tootjafirma S825L seeria leektorukatla skemaatiline konstruktsioon



Joonis 4.3 Buderuse S825 tüüpi katel (allikas: Buderus)

1. Teenindusluuk; 2. kaitseklapi äärik; 3. veetorud katla kesta sees; 4. küttevee tagasivool katlasse; 5. küttevee pealevool kaugküttesüsteemi; 6. gaasikäikude algus katla sees;

7. alumiiniumkorpus; 8. soojusisolatsioon; 9. põlemisgaaside gaasikäigud, I aste; 10. põlemisgaaside gaasikäigud, II aste; 11. kolle; 12. põleti

Biokütuste puhul asub adabaatiline põlemiskamber katlast väljaspool. Sel juhul on katla kolle (leektoru) sisuliselt soojusvaheti, kus leektorus toimub puidu lendosiste (gaasilise osa) järelpõlemine ja suitsutorude kaudu antakse põlemisgaaside soojus üle kütteveele.

Eesti Statistikaameti andmeil on Eestis ligikaudu 4000 katelt, millest 785 on biomassikatlad (puiduhake). Biomassikateldest kolmandik on võimsamad kui 100 kW. Statistikaameti andmebaasis on vaid registreeritud katlad. Väikekatlad, mida kasutatakse kodumajapidamiste kütmiseks (10–55 kW), Statistikaameti andmebaasis ei kajastu ja nende üle puudub nii kontroll kui ka ülevaade.

Tabel 4.2. Paigaldatud katelde summaarne võimsus kasutatavate kütuste järgi

Kasutatav kütus	Katelde summaarne võimsus, MW
Kivisüsi	20
Põlevkivi	43
Turvas	89
Puit	1161
Raske kütteõli	10
Põlevkiviõli	393
Kerge kütteõli	347
Maagaas	2952
Elekter	20
Põlevkivi- ja biogaas	6
Rohtne biomass	4

Tavaliselt on kaugküttekatalamajas järgmised komponendid:

- katel/katlad;
- kütus(t)e kinnine ladu (vajaduse korral);
- kütuse etteandesüsteem;
- kütuse ettevalmistussüsteem;
- suitsugaaside puhastusseadmed;
- korsten;
- elektrijaotusseadmed;
- abiruumid;
- automaatika- ja mõõteseadmed;
- katla ja soojusvõrgu lisavee ettevalmistussüsteem;

- torustikud koos sulgemis- ja reguleerimisseadmetega;
- kontrollmõõteriistad;
- kaugküttevõrgu soojusvaheti;
- lisapõleti koos lisakütuse etteandesüsteemiga.

Katelde võimsuse valikul lähtutakse soojuse koormusgraafikust, mis koostatakse aasta iga tunni soojusvõimsuse alusel.

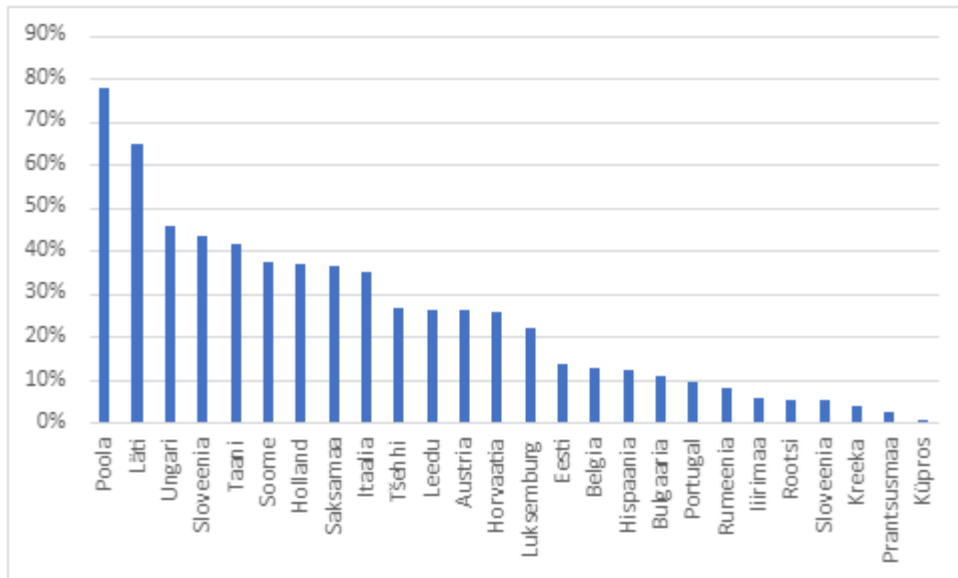
Enamasti on katlamajas üks katel baaskoormuse jaoks ja teised kas reserv- või tipukoormuse katmiseks. Baaskoormuse jaoks kasutatakse Eestis enamasti puiduhakkekatlaid. Tippude ja madalate koormuste jaoks on katlamajades harilikult gaasi- või õlikatel, mille käivitamine on kiire ning töö paindlik.

Suurema paindlikkuse saavutamiseks on soovitatav katta baaskoormus mitmest katlast, mille soojuslikud võimsused kokku suudavad katta pisut üle baaskoormuse. Selline lahendus nõuab küll suuremat alginvesteeringut, kuid suurendab varustuskindlust, paindlikkust ja vähendab tipukatelde kasutamise vajadust.

4.1.3 Soojuse ja elektri koostootmine, koostootmisjaamad

Soojuse ja elektri koostootmine on energia kahe vormi, soojuse ja elektri üheaegne tootmine tekkiva heitsoojuse ärakasutamisega. Inglise keeles tähistab seda tähekombinatsioon CHP (Combined Heat and Power). Nagu on kirjeldatud jaotises 1.1.2, sai kaugküte Eestis alguse just sellest, kui elektrijaamad ehitati ümber soojuse ja elektri koostootmisjaamadeks.

Soojuse ja elektri koostootmisel kulub sama koguse lõpptoodete (soojuse ja elektri) tootmiseks oluliselt vähem kütuse primaarenergiat, kui kuluks soojuse ja elektri eraldi tootmisel. Lisaks mõjub efektiivne energiakasutus soojus- ja elektrienergia koostootmisel soodsalt energiavarustuse kindlusele. Koostootmine on kogu maailmas kasutatav tehnoloogia ja joonisel 4.4 on näidatud koostootmise osakaal elektri tootmises Euroopa Liidu riikides



Joonis 4.4. Koostootmise osakaal elektri tootmises EL liikmesriikides (Allikas: Eurostat)

Suurim elektri ja soojuste koostootmise osakaal on Lätis, kus Riia linna varustatakse soojustega gaasiküttega töötavatest suure võimsusega koostootmisjaamadest.

Koostootmise peamised eelised soojuste ja elektri eraldi tootmise ees on järgmised:

- väiksem primaarenergia kulu – koostootmise kaudu on elektri ja kasuliku soojuste tootmine tõhusam, võrreldes eraldi elektri ja soojuste tootmisega, kuna koostootmise puhul on kütusekulu väiksem kui eraldi tootes;
- keskkonnasäästlikkus – koostootmise puhul on heitgaaside kogus väiksem, võrreldes eraldi tootmisega, kuna tarbitava energia kulu on väiksem ja harilikult on kasutusel kaasaegsem tehnoloogia, näiteks suitsugaaside puhastusseadmed (pesurid). Täiustatud on ka keskkonnakontrolli ja -seireseadmeid;
- tõhustatud majandus – paljudel juhtudel on elektri ja kasuliku soojuste tootmine koostootmise kaudu olulusringi mõistes efektiivsem kui eraldi protsesside kasutamine elektri ja soojuste tootmiseks.

Et otsustada soojuste ja elektri koostootmisjaama rajamise otstarbekuse üle, tuleb välja selgitada järgmised põhilised tingimused:

- koostootmisjaama optimaalne konfiguratsioon;
- sobilik koht koostootmisjaamale;
- koostootmisjaama ühendamise võimalused olemasoleva soojus- ja elektrivõrguga;

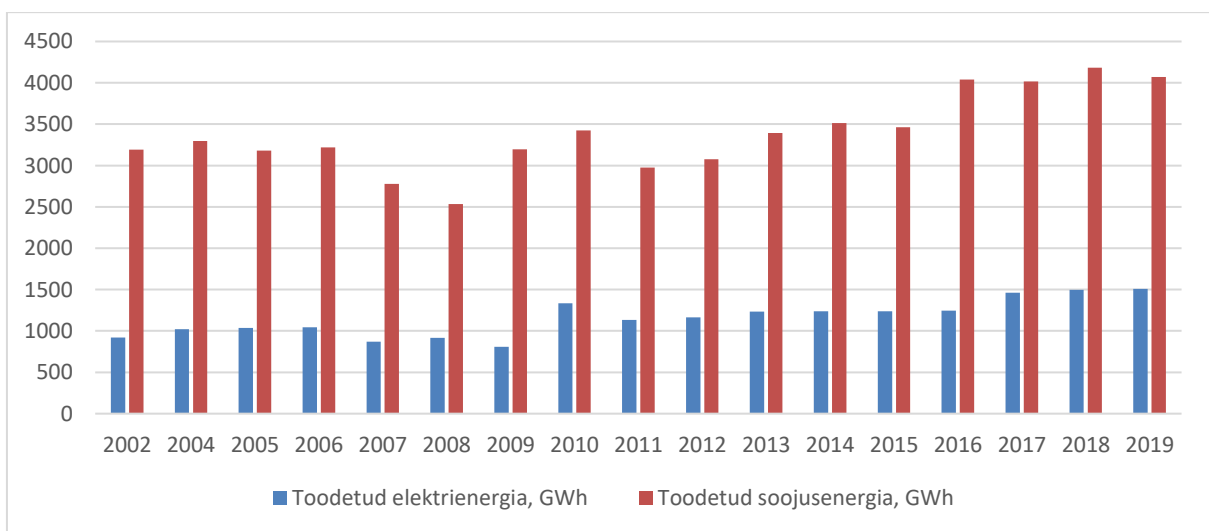
- planeeritava asukoha tarbijate soojuskoormused aasta ja ööpäeva lõikes, et tagada maksimaalne soojuse ja elektri koostootmisjaama kasutus koos kõrge kasuteguriga.

Vastavalt Euroopa Liiduga kokkulepitud kohustustele pidas Eesti 2020. aastal koostootmisrežiimis tootma vähemalt 20% elektrist. Eesti vastav näitaja oli 2020. aastal 27,7%.

Koostootmisseadmete poolt Eestis aastas toodetud elektri- ja soojusenergia (GWh aastate lõikes) on esitatud joonisel 4.5.

Koostootmise potentsiaal Eestis on piisav, sest:

- linnades ja suuremates asulates on toimiv kohalik kaugküttevõrk;
- kohalik tööstus on suhteliselt energiamahukas;
- biokütuste kasutamise potentsiaal on kõrge;
- vaja on renoveerida olemasolevaid soojusseadmeid;
- rangemad keskkonnanõuded.



Joonis 4.5. Koostootmisseadmete poolt Eestis aastas toodetud elektri- ja soojusenergia, GWh. (allikas: Statistikaamet)

Kuna koostootmisjaama töö käib üldjuhul soojuskoormuse järgi, siis on selle rajamise tingimuseks piisava soojuskoormuse olemasolu. Seetõttu on Eestis koostootmisjaamad vaid suuremates linnades, kus kaugkütte soojuskoormus on piisav, et koostootmisjaama rajamine oleks kasumlik.

Tabelis 4.3 on toodud soojuse ja elektri koostootmisjaamade loetelu koos kasutatava kütuse väljundvõimsusega.

Eestis makstakse koostootmisseedmega elektri tootmise eest toetusi vastavalt elektrituruseadusele. Toetuse saamiseks peab elektritootja esitama põhivõrguettevõttele Elering vastava taotluse.

Kui elektrit toodetakse taastuvast energiaallikast toomisseadmega, mille netovõimsus ei ületa 100 MW, siis on makstava toetuse suurus 53,7 EUR/MWh. Sama kehtib ka biomassist koostootmisrežiimil toodetud elektrile, juhul kui elektrit ei toodeta kondensatsioonirežiimil. Toetuse maksmise periood on 12 aastat. See tähendab, et biomassi koostootmisjaamad, mis on juba 12 aastat toetust saanud, seda edaspidi enam ei saa.

Kui elektrit toodetakse tõhusa koostootmise režiimil jäätmetest jäätmeseaduse tähenduses, turbast või põlevkivitöötlemise uttegaasist või lihtsalt seedmega, mille elektriline netovõimsus ei ületa 10 MW, siis on makstav toetuse määr 32 EUR/MWh.

Tabel 4.3. Eesti koostootmisjaamad

Koostootmisjaama nimi	Kasutatav kütus	Elektriline võimsus (MW)	Soojuslik võimsus (MW)
Balti Elektriijaam	põlevkivi	215	160
Iru Elektriijaam	maagaas	95	200
Iru Elektriijaama jäätmeplakk	prügi	17	50
VKG Energia Põhja SEJ	põlevkiviõli tootmise kõrvalsaadus uttegaas	87	379
Sillamäe SEJ	biomass	7	18
Tallinna SEJ1 (Väo 1)	biomass	25	67
Tallinna SEJ2 (Väo 2)	biomass	21	76
Mustamäe KTJ	biomass	10	47
Tartu Elektriijaam	biomass	25	50
Pärnu KTJ	biomass	24	48
Aravete biogaasijaam	biogaas	1,7	2
Ilmatsalu biogaasijaam	biogaas	1,5	1,5
Imavere KTJ	biomass	10	27
Jämejala KTJ	maagaas	1,8	1,7
Kuressaare KTJ	biomass	2,3	9,6
Kiviõli Keemiatööstuse SEJ	uttegaas	1,3	6,5
Oisu biogaasijaam	biogaas	1,2	1,2
Paide KTJ	biomass	1,7	8,0
Rakvere KTJ	biomass	1,0	5,3
Vinni biogaasijaam	biogaas	1,4	1,4

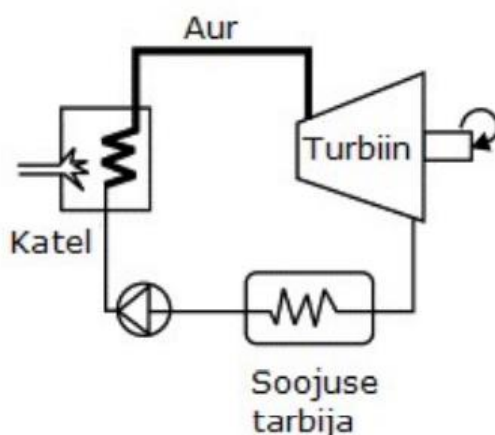
Koostootmise uueks erivormiks on kolmiktootmine, mis tähendab, et jaamas toodetakse lisaks soojusele ja elektrile veel ka jahutust. Kolmiktootmise korral võib jahutuse tootmiseks olla kasutusel erinevaid seadmeid, näiteks sobivad koostootmisjaama paindlikkuse suurendamiseks hästi jahutusseadmed, mis kasutavad elektritootmise heitsoojust (näiteks absorptsioonjahutid).

Koostootmisjaamu võib klassifitseerida kasutatavate jõumasinate tüübi järgi, tüüpilisemad tehnoloogiad on:

- vasturõhu auruturbiin;
- vaheltvõttudega auruturbiin;
- gaasiturbiin;
- gaasimootor.

Kõige levinumad on auruturbiinidega koostootmisjaamad, mille töö rajaneb Rankine'i ringprotsessil. Nimetatud tehnoloogia põhineb aurukatlas genereeritud auru paisumisel elektrigeneraatoriga ühendatud auruturbiinis soojustarbija vajaliku auru rõhuni. Sellisel süsteemil on küll palju eeliseid, näiteks võimalus kasutada erinevaid kütuseid, pikk kasutusiga, suhteliselt madalad tootmiskulud, kuid ta sobib kasutamiseks pigem suurematel võimsustel. Auruturbiinid saab jagada kaheks: vasturõhuauruturbiinid ja vaheltvõtuga auruturbiinid.

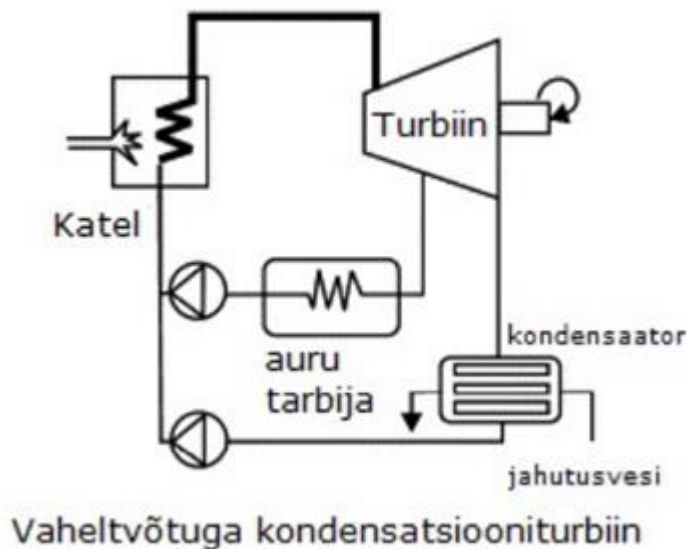
Vasturõhuga auruturbiinide turbiinil puudub kondensaator ning madalrõhuline aur suundub turbiinist otse kaugkütte soojusvahetisse. Vasturõhuturbiinide töövõimsuse määrab soojustarbija koormus. Ilma soojuskoormuseta on vasturõhuturbiinidega elektri tootmiseks vajalik kasutada jahuteid, et vasturõhuline aur heita läbi jahtuse atmosfääri. Sellist režiimi aga ei saa lugeda koostoomiseks. Mida kõrgem on soojusvõrku antava vee temperatuur, seda kõrgem peab olema turbiini vasturõhk ja seda väiksem on toodetud elektrienergia kogus. Vasturõhuauruturbiiniga koostoomisseadme tööpõhimõtte skeem on toodud joonisel 4.6



Joonis 4.6. Vasturõhu auruturbiiniga koostootmisjaama tööpõhimõtte skeem (allikas: S. C. Bhatia „Advanced Renewable Energy Systems“ 2014. Woodhead Publishing India)

Vaheltvõtuga auruturbiiniga koostootmisjaam

Vaheltvõtuga auruturbiinides juhitakse osa auru turbiinist välja enne lõpprõhuni paisumist. Reguleeritava vaheltvõtuga turbiinides on võimalik kaugkütte koormust reguleerida auru kogusega – kaugkütte suurema koormuse korral juhitakse rohkem auru kaugkütte soojusvahetisse ja vähem turbiini. Eristatavad on tööstusliku auru vaheltvõttud ja kaugkütte vaheltvõttud – tööstusliku vaheltvõtu korral on vaheltvõetava auru rõhk kõrgem (üle 0,6 MPa), kaugkütte vaheltvõtt tehakse madalama rõhu juures (0,07–0,25 MPa). Turbiini läbinud aur kondenseeritakse, soojuskoormuse puudumisel töötab turbiin täielikult kondensatsioonirežiimis. Eestis on vaheltvõtuga auruturbiin näiteks Balti Elektri jaamas. Vaheltvõtuga auruturbiiniga koostoomisseadme tööpõhimõtte skeem on toodud joonisel 4.7

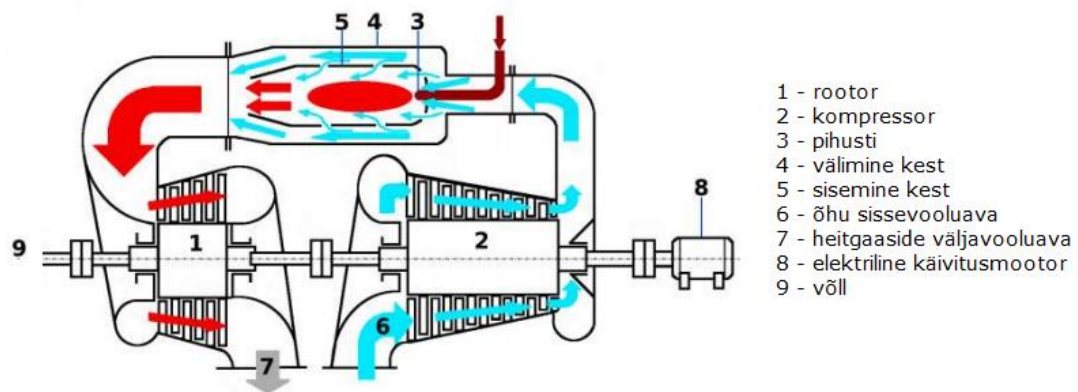


Joonis 4.7. Vaheltvõtuga kondensatsiooniturbiini tööpõhimõtte skeem (allikas: S. C. Bhatia „Advanced Renewable Energy Systems“ 2014. Woodhead Publishing India)

Gaasiturbiiniga koostootmisjaamad

Gaasiturbiinjõuseade, mille töö põhineb Braytoni ringprotsessil, on suhteliselt uus tehnoloogia, mis võeti kasutusele 1980ndatel. Gaasiturbiiniseadmele on iseloomulik madal kapitali- ja hooldekulu ning lühike ehitusaeg. Nende elektriline kasutegur on ligikaudu 30%. Gaasiturbiinjõuseadmega koostootmine eeldab konstantse parameetriga suure võimsusega soojustarbijat. Eestis gaasiturbiinide kasutamise kogemus puudub. Gaasiturbiini tööpõhimõtte on esitatud joonisel 4.8. Gaasiturbiini käivitamiseks on elektriline käivitusmootor (8). Kompressorisse (2) läbi sissevooluava (6) imetav õhk

surutakse kokku ülerõhuni 0,2–2 MPa ning suunatakse välimisest (4) ja sisemisest kestad (5) koosnevasse põlemiskambrisse. Kütuse põlemine toimub põlemiskambris rõhu all, kuhu suunatakse kütus pihusti (3) abil. Osa kokkusurutud õhust liigub läbi põlemiskambri sisemise ja välimise kesta vaheruumi, jahutades põlemiskambrit ja segunedes seejärel kuumade põlemisgaasidega. Põlemiskambrist väljuvad põlemisgaasid temperatuuriga kuni 850 °C (kui ei kasutata düüside ja töölabade jahutust) või kuni 1200 °C (düüside ja töölabade jahutuse kasutamisel) juhitakse turbiini (1). Põlemisgaaside paisumisel saadud kineetiline energia turbiini düüsvõres muundub rootori töölabadel mehaaniliseks tööks. Turbiinist väljuvad gaasid suunatakse väljavooluavaga (7) ühendatud torustiku kaudu atmosfääri. Suurem osa (u 70%) saadud mehaanilisest tööst kulub turbiini (1) rootoriga ühele võllile rakendatud kompressori (2) käitamiseks, ülejäänud (vaid u 30%) realiseeritakse kasulikuks tööks võlli (9) abil elektrigeneraatori käitamisel.



Joonis 4.8. Gaasiturbiini tööpõhimõte (allikas: Heino Punab „Laevajõuseadmed“ Eesti Mereakadeemia, 2008.)

Gaasimootoriga koostootmisjaamad

Gaasimootoriga koostootmisjaam põhineb sisepõlemismootoriga jõuseadmel, mille töö rajaneb kas Dieseli või Otto ringprotsessil. Otto ringprotsessil töötavad seadmed kasutavad üldjuhul kütusena maagaasi või biogaasi. Soojusenergiat toodetakse nii heitgaaside soojusest kui ka mootori jahutussüsteemist. Jõuseade koosneb tavaliselt mootorist, elektrigeneraatorist ja soojusenergia tootmiseks vajalikest soojusvahetitest, mis on seotud mootori veesärkjahutuse ja õlitussüsteemiga ning heitgaasi ärajuhtimissüsteemiga. Energiabilansiliselt kujuneb siin välja vahekord, kus kütusega protsessi viidud energiast (100%) toodetakse elektrienergiat 40% ja soojusenergiat 50% ning kaod moodustavad ligikaudu 10%.

Tüüpilise jõujaama elektriline võimsus on piirides 100 kW–5 MW, kuid toodetakse ka seadmeid elektrilise võimsusega 9–20 kW.

Orgaanilise Rankine'i ringprotsessiga tehnoloogia ehk ORC koostootmisjaamad

Viimase aja uuemaid elektritootmise tehnoloogiaid on ORC ehk orgaanilise Rankine'i ringprotsessi tehnoloogia, kus erinevalt tavalisest auruturbiinist, mis töötab Rankine'i ringprotsessi põhimõttel, kasutatakse veeauru asemel turbiinis termodünaamilise kehana termaalõli. Orgaanilise vedeliku valikul on olulisteks kriteeriumideks termodünaamilised omadused (madal üleküllastumise temperatuur), kõrge keemiline stabiilsus, väiksem oht keskkonnale (paljud ORC vedelikud on keelatud Montreali protokolliga, kuna hävitavad osoonikihti), kerge kättesaadavus ja mõistlik hind. Orgaanilise vedeliku eelis veeauru ees on madalamate temperatuuride kasutamine elektritootmises. Seetõttu saab ORC abil rakendada koostootmist ka geotermaalenergia ja tööstuse heitsoojuse kasutamise korral, samuti väiksemates biomassijaamades. Eestis on ORC tehnoloogial põhinevad koostootmisjaamad Rakveres ja Kuressaares.

4.1.4 Koostootmise parameetrid

Soojuse ja elektri koostootmise iseloomustamiseks kasutatakse mõistet *kogukasutegur* (või *üldkasutegur*), mis avaldub summana elektrilisest kasutegurist ja soojuslikust kasutegurist ja mida saab analüütiliselt väljendada nii (valemitega 4.1 kuni 4.3):

$$\eta_{el}^{CHP} = \frac{P_{CHP}}{B_{CHP}} \quad (4.1)$$

$$\eta_{th}^{CHP} = \frac{Q_{CHP}}{B_{CHP}} \quad (4.2)$$

$$\eta_t^{CHP} = \frac{P_{CHP} + Q_{CHP}}{B_{CHP}} \quad (4.3)$$

kus on

P_{CHP} on toodetud elektrienergia, MWh;

Q_{CHP} on toodetud soojusenergia, MWh;

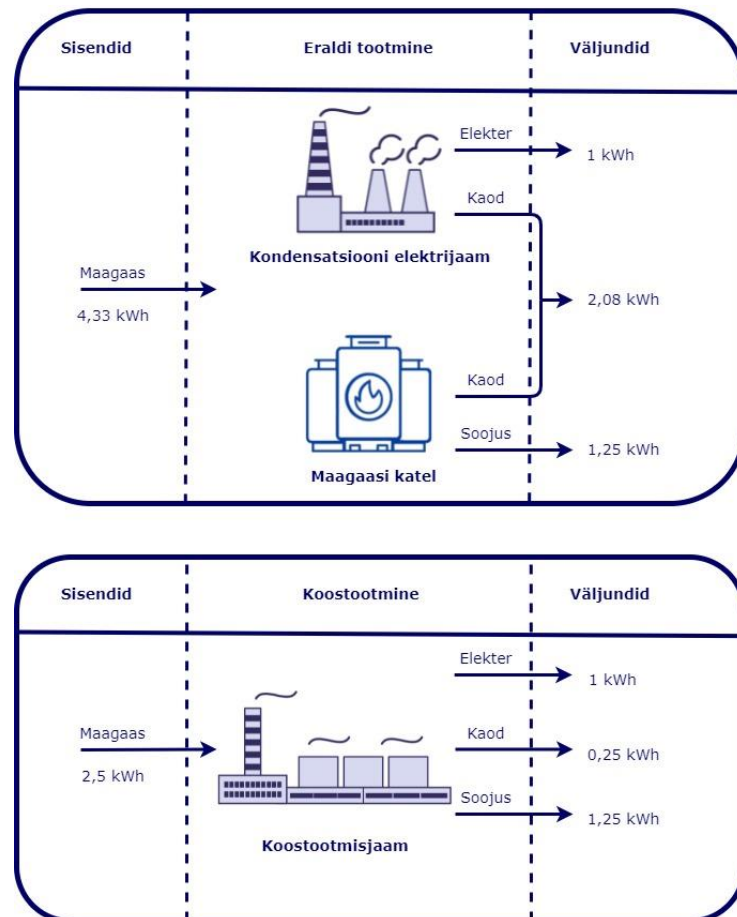
B_{CHP} on süsteemi sisseviidud kütuse energia, MWh;

η_{el}^{CHP} on elektriline kasutegur;

η_{th}^{CHP} on soojuslik kasutegur;

η^{CHP} on kogukasutegur.

Võrdleme koostootmist soojuste ja elektri eraldi toomisega. Olgu kondensatsioonielektrijaama termiline kasutegur 35% ja katlamaja kasutegur 85%. Koostootmise puhul on kogukasuteguriks arvestatud 90%. Kirjeldatud süsteemid ja neist tulenevad energiavood on esitatud joonisel 4.9:



Joonis 4.9 Soojuse ja elektri koostootmise ja eraldi tootmisel kütuse ja energiavoogude bilanss

Näeme, et soojuste ja elektri koostootmisel kulus sama koguse lõpptoodete (soojuste ja elektri) tootmiseks $4,33 / 2,5 = 1,7$ korda vähem kütust, kui oleks kulunud soojuste ja elektri eraldi tootmisel.

Kui realiseeritud soojuslik kasutegur (ja seega ka kogukasutegur) sõltuvad rohkem koostootmisjaama ja tarbija omavahelisest sobivusest, siis elektriline kasutegur on absoluutne – ta on teoreetiliselt piiratud agregaadis realiseeritud ringprotsessi termodünaamiliste omadustega.

Koostootmise üks oluline parameeter on elektri ja soojuste toodangu suhe, mis määrab ühes koostootmissüsteemis toodetava elektrienergia ja soojuste osakaalu. Elektri ja soojuste kõrgema

suhtega uute tehnoloogiate hulka kuuluvad kombineeritud tsükliga (gaas ja aur) koostootmisjaamad, ploki-tüüpi soojuselektrijaamad või kütuseelemendid. Nendel võib elektri ja soojuse suhe olla ka kõrgem kui 1,0, mis on küllaltki kõrge, võrreldes klassikaliste auruturbiinidega koostootmisjaamadega, mille vastav suhe on vahemikus 0,3 kuni 0,7.

Soojuse ja elektri koostootmise tõhususe ja primaarenergia kokkuhoiu arvutamine

Eesti majandus- ja taristuministri määrus nr 71 „Soojus- ja elektrienergia tõhusa koostootmise nõuded“ (vastu võetud 13.12.2016) sätestab soojus- ja elektrienergia tõhusa koostootmise nõuded, primaarenergia säästu arvestamise põhimõtted ning elektri- ja soojusenergia eraldi tootmise viiteväärtused tõhusa koostootmise määramiseks, lähtudes Euroopa Parlamendi ja nõukogu direktiivis 2012/27/EL esitatud meetodikast.

Kokkuvõtlikult loetakse koostootmine Eestis hetkel tõhusaks, kui protsessi kogukasutegur ületab (tehnoloogiast sõltuvalt) 75–80% ning määruses esitatud valemi alusel leitav primaarenergia sääst (PES) ületab 0–10% (olenevalt tehnoloogiast ja tootmiseseadme võimsusest). Kui biomassi kasutava koostootmiseseadme neto-üldkasutegur kalendriaasta arvestuses on üle 40%, loetakse, et elektrienergia on toodetud koostootmisrežiimil.

Koostootmisel tekkiva primaarenergia sääst (PES) arvutatakse valemiga 4.4 (määruse § 6):

$$PES = \left(1 - \frac{1}{\frac{\eta_{th}^{CHP} + \eta_{el}^{CHP}}{\eta_{th}^{REF} + \eta_{el}^{REF}}} \right) \cdot 100\% \quad (4.4)$$

kus

η_{th}^{CHP} on kasuliku soojuse kasutegur – viimase 12 kuu kasuliku soojuse toodang jagatud kütuseenergiaga, mis kulus kasuliku soojuse ja elektri koostootmiseks;

η_{th}^{REF} on soojuse eraldi tootmise viiteväärtus;

η_{el}^{CHP} on koostoodetud elektrienergia kasutegur – koostoodetud elektrienergia viimase 12 kuu kogus jagatud kütuseenergiaga, mis kulus kasuliku soojuse ja elektri koostootmiseks;

η_{el}^{REF} on elektrienergia eraldi tootmise viiteväärtus.

Määrus kehtestab, et erinevate kütuste segu korral tuleb koostootmiseseadme tõhususe määramiseks kasutada kaalutud keskmisi viiteväärtusi, mis on arvutatud energia tootmiseks tarbitud kütuste energiasisalduste suhte alusel.

Viiteväärtused ($REF\eta$ $REFE\eta$) kütuste kasutamisel ning vajalikud parandustegurid sõltuvalt välisõhutemperatuurist ja elektriühenduse pingeklassist on toodud määruse lisades 1 ja 2. Et määruuses toodud elektrienergia eraldi tootmise viiteväärtus on arvestatud välisõhu aasta keskmisele temperatuurile +15 °C, siis tuleb viiteväärtust korrigeerida sõltuvalt välisõhu aasta keskmisest temperatuurist järgmiselt:

- 0,1 protsendipunkti võrra tõhususe suurenemise suunas iga kraadi kohta, mis on madalam kui +15 °C.

Varem esitatud ELi direktiivides oli kirjas, et kõikide kliimavööndite piirid kulgevad mööda ümbritseva õhu aasta keskmise temperatuuri isoterme (täiskraadides Celsiuse järgi), mille erinevus on vähemalt 4 °C. Külgnevate kliimavööndite aasta keskmiste õhutemperatuuride erinevus peab olema vähemalt 4 °C.

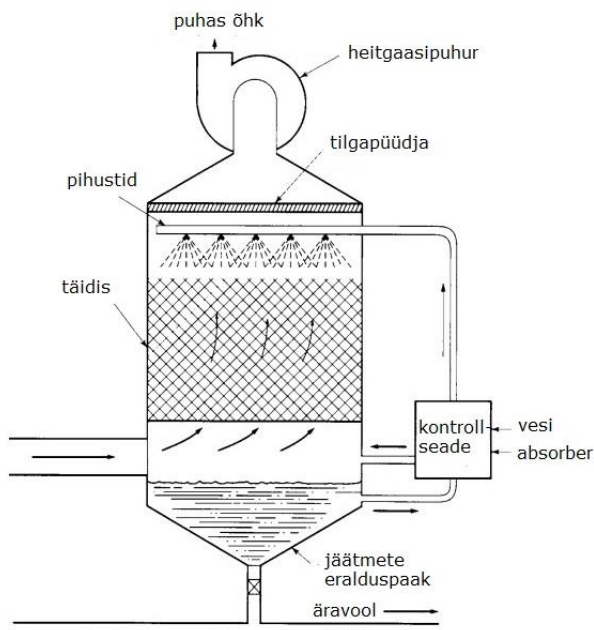
Et Eesti territooriumil ei erine aasta keskmine temperatuur piirkondade vahel üle 4 °C, saab Eesti kasutada üle riigi ühtset aasta keskmist temperatuuri. Eesti aasta keskmine temperatuur, mida arvutuse aluseks võtta, on seadusandlikes dokumentides määratlemata, kuid on teada, et see on 7...8 °C.

Suitsugaaside kondensaatorid

Kuna katlast väljuvad gaasid on küllaltki soojad ja niiskete kütuste põletamisel on suitsugaasides küllaldaselt veeauru, siis on suitsugaasid arvestatav jääksoojuse allikas, mida on suitsugaaside kondensaatori abil võimalik ära kasutada. Suitsugaaside kondensaator on seade, mille ülesandeks on puhastada suitsugaasid peenosakestest, neutraliseerida happeksiide ning tagastada suitsugaasides sisalduv soojus.

Suitsugaaside kondensaator on ehituselt kui soojusvaheti, kus üheks soojuskandjaks on kuum suitsugaas ja teiseks kaugküttevesi. Suitsugaasid voolavad läbi soojusvaheti torukimpude, kus voolab kaugkütte tagasivoolu vesi. Tagasivoolu jahutava mõju tõttu suitsugaasides sisalduv veeaur kondenseerub ja läbi torupinna antakse suitsugaaside soojus kaugküttevee eelsoojenduseks. Suitsugaaside täiendavaks jahutamiseks ja puhastamiseks pihustatakse suitsugaasidesse neutraliseerivat lahust, mis vähendab happeoksiidide sisaldust väljuvates suitsugaasides. Harilikult kasutatakse neutraliseerijana NaOH-d. Suitsugaaside kondensaatori soojustagastus sõltub otseselt kaugkütte tagasivoolu temperatuurist – mida madalam on tagasivoolu temperatuur, seda rohkem veeauru on võimalik kondenseerida ja seda rohkem soojust on võimalik tagastada. Suitsugaasidega lahkuv soojus on tavaliselt katelde jaoks suurim soojuskadu. Juhul kui katlamajas või koostootmisjaamas kasutatakse suure niiskusesisaldusega kütust (nt puiduhake), võib suitsugaaside kondensaatori soojustagastus olla kuni 20% jaama soojusvõimsusest. Paljudes Eesti puiduhakkekatlamajades ja koostootmisjaamades on suitsugaaside kondensaatorid kasutusel. Lisaks puiduhakkele töötavatele soojusallikatele kasutatakse suitsugaaside kondensaatorit tihti ka maagaasikatlamajades, näiteks on see paigaldatud maagaasil töötavasse Tallinna Kristiine katlamajja.

Märgede suitsugaaside pesuri ehk suitsugaaside kondensaatori skeem on esitatud joonisel 4.10.



Joonis 4.10. Märgede suitsugaaside pesur ehk suitsugaaside kondensaator (allikas: Woodard & Curran Inc.

„Industrial Waste Treatment Handbook“ 2006)

4.2 Kütusevabad taastuvad kaugkütte soojusallikad ja tehnoloogiad

4.2.1 Suured soojuspumbad

Soojuspump on seade, mille eesmärk on soojuse ülekanne madalama temperatuuriga keskkonnalt kõrgema temperatuuriga keskkonnale. Soojus levib üldiselt kõrgema temperatuuriga kehalt madalama temperatuuriga kehale, kuid soojuspumbad võimaldavad muuta soojuse liikumise suuna vastupidiseks, kasutades seejuures küllaltki väikest energiakogust. Soojuspumpasid kasutatakse küttesüsteemides ja ka jahutussüsteemides, lisaks veel tehnoloogilistes protsessides. Soojuspumba jaoks on madalama temperatuuriga keskkonnaks näiteks maapind, veekogu või välisõhk.

Soojustegur on mõiste, mis on kasutusele võetud iseloomustamiseks soojuspumba efektiivsust (ingl k COP – *coefficient of performance*). See tegur näitab suhet soojuspumba poolt toodetud energia ning selle energia tootmiseks kulutatud energia vahel. Kui soojustegur COP = 4, siis tarvitab soojuspump 4 MWh soojusenergia tootmiseks 1 MWh elektrienergiat.

Suuremahulised soojuspumbad võivad anda võimaluse kasutada kaugküttesüsteemides tõhusalt ära madalakvaliteedilist soojust. Soojuspumbad on võimelised energiasüsteeme tasakaalustama ja aitavad integreerida süsteemi erinevaid mitmekülgseid energiaallikaid. Nad pakuvad klientidele hõlpsasti kütet kohalikest soojusallikatest, näiteks põhja-, järve-, jõe- ja mereveest või heitsoojusest. Elektrilise soojuspumba abil saab kaugküttesüsteem oma energiatarbimist oluliselt vähendada. See on ka tõhus tehnoloogia energiahindade stabiliseerimiseks.

Suuremahulisi tsentraliseeritud soojuspumpasid võib pidada üheks parimaks võimaluseks elektri- ja soojusvõrkude ühendamiseks. Suuremahuline elektri- ja soojuspump on üks tõhusamaid lahendusi madalatemperatuuriliste kaugküttevõrkude korral. *Power-to-heat* tehnoloogiad koos soojusenergia salvestamisega võimaldavad energiasüsteemi integreerida rohkem juhitamatuid taastuvenergiaallikaid. Ühelt poolt võimaldavad suuremahulised soojuspumbad integreerida energiasüsteemi elektrienergiat, mis on saadud taastuvatest allikatest (tuul, veevool). Teisest küljest võimaldavad suuremahulised soojuspumbad kasutada kaugküttes pinnavee, kanalisatsioonivee ja tööstusliku heitsoojuse madala kvaliteediga soojust, vähendades seeläbi fossiilkütusel põhineva soojuse osakaalu. Euroopas on umbes 150 suuremahulist soojuspumpa, mille soojusvõimsus on üle 1 MW ja mis toodavad soojust kaugküttesse. 2017. aastal oli kaugkütte soojuspumpade koguvõimsus 1580 MW. Need soojuspumbad erinesid suuruse, soojusallika, pealevoolu temperatuuri, külmutusagensi, töörežiimi ja soojusteguri (COP) poolest. Suuremahulisi soojuspumpasid on rajatud Taanis, Soomes, Prantsusmaal, Norras, Itaalias, Šveitsis ja Rootsis. Paljud äsja paigaldatud

soojuspumbad kasutavad külmutusagensina R134a, millel on suhteliselt kõrge globaalse soojenemise potentsiaal (GWP). Madala GWP-ga soojuspumpasid, mis kasutavad külmutusagensina looduslikke külmutusagenseid (ammoniaak, CO₂), on Taanis kümme, Šveitsis viis, Norras kaks ja Rootsis üks. Lisaks puudub mainitud külmutusagensitel osoonikihi kahandamise potentsiaal.

Kaugküttes on võimalik kasutada soojuspumpasid kahel viisil. Esimene võimalus on rakendada neid kaugküttesüsteemi veetemperatuuri hoidmiseks etteantud tasemel. Teine võimalus on kasutada väikesemahulisi ehk individuaalseid soojuspumpasid lõpptarbijate küttesüsteemides.

Kaugküttes kasutakse tavaliselt vesi-vesi soojuspumpa. Vesi-vesi soojuspump on populaarne, sest suudab madalatemperatuurilisest soojusest toota kõrgemal temperatuuril sooja vett ja kasutada seda kütteks. Kui jahutusvajadus on samaaegne küttevajadusega, suurendab soojuspumpade süsteem jahutus- ja küttesüsteemi tõhusust märkimisväärselt.

4.2.2 Madalatemperatuurilised soojuse allikad

On mitmeid madala temperatuuriga soojusallikaid, mida saab kasutada kaugkütteks. Tavaliselt kasutatakse suuri soojuspumpasid küttekandja temperatuuri tõstmiseks, aga 4. ja 5. põlvkonna kaugkütte korral saab soojust allikatest otse kasutada.

4.2.2.1 Maasoojus

Maasoojust on võimalik kaugküttes kasutada mitmel moel. Kasutusviis sõltub olulisel määral kättesaadavast temperatuurist, pinnase geoloogilistest omadustest ja soojuse kasutamise eesmärkidest. Maasoojusel on kaks peamist allikat: maapõue kivimites sisalduvate radioaktiivsete elementide lagunemisel eralduv soojus ja kivimitesse salvestunud päikeseenergia. Pinnapealsetes kihtides pärineb soojus päikeselt, kuid sügavuse kasvades suureneb radioaktiivsel lagunemisel eraldunud soojuse osakaal. Maasoojuse kasutamisel on kõige olulisem maapinna parameeter geotermiline gradient, mis näitab temperatuuri muutust sügavuse kasvades. Suurema geotermilise gradiendiga alad on harilikult piirkondades, kus maakoos esineb murranguid ja lõhesid, näiteks laamade piiralad, vulkaanilised piirkonnad ning geoloogilised murranguvööndid.

Geotermaalenergia kasutamiseks on vajalik ka termaalvee olemasolu; loodusliku termaalvee puudumisel on vaja vesi eelnevalt kivimitesse süstida. Eristatakse kinniseid ja lahtiseid geotermilisi süsteeme. Lahtiste süsteemide puhul tekitatakse kivimitesse lõhed, kuhu süstitakse vesi. Kuum vesi pumbatakse tagasi tootmispuuraugust. Kinniste süsteemide puhul maapinda ei lõhestata ja vesi ringleb kinnistes puuraukudes kuivades kuumades kivimites. Mõlemal juhul ulatuvad puuraugud

mõnesaja meetri sügavusele maapinna sisse (v.a Island, kus geotermiline gradient on oluliselt suurem ja vajalik temperatuur pinnale lähemal). Harilikult on sellistes süsteemides termaalvee temperatuur ligikaudu 200 °C. Euroopas on geotermaalenergia kasutamises esirinnas Ungari, ka Saksamaal kasutatakse looduslikku termaalvett spaade kütteks.

Maasoojuse kasutamine soojuspumpade abil on samuti väga levinud. Selle eeliseks on hea kättesaadavus, ka on maasoojuspumba efektiivsustegur (COP) parem, võrreldes õhksoojuspumbaga. Maasoojuspumba puhul kasutatakse maapinda salvestunud päikeseenergiat, kuna kontuurid paigaldatakse harilikult üsna maapinna lähedale, vaid allapoole külmumispiiri.

Soojuspumpadel töötavaid kaugküttevõrke on Eestis kolm: Palamuse (aastane soojustarbimine 2300 MWh), Kiikla (aastane soojustarbimine 530 MWh) ja Kaarepere (aastane soojustarbimine 730 MWh).

Palamusel on kaks eraldi kaugküttevõrku, kus soojavajadus on kaetud soojuspumpadega. Soojusallikana kasutatakse põhjavett. Ühes kaugküttevõrgus on Palamuse kool ja selle lisahooned ning teises on tarbijateks elamud (seitse hoonet). Soojuspumbad paigaldati 2013. aastal. Palamuse kooli soojaveevõrgu aastane tarbimine on 830 MWh ja elamute võrgus on aastane tarbimine 750 MWh. Soojuspumpade keskmine aastane soojustegur COP on 2,6.

Palamuse lähedal, Kaarepere külas kasutatakse kaugküttevõrgus soojuse tootmiseks samuti soojuspumpasid. Sarnaselt Palamusega kasutatakse ka Kaareperes soojusallikana põhjavett. Võrgu tarbijateks on kuus elamut ja lasteaed. Võrgu aastane soojustarve on 730 MWh. Pumpade aastane keskmine COP on 2,3. Soojuspumbad paigaldati 2013. aastal nagu Palamuselgi.

Kiikla külas on kaugküttevõrgu soojusvajadus kaetud 400 kW soojuspumbaga, mis kasutab soojaallikana lähedal asuva kaevanduse vett. Soojuspump paigaldati 2012. aastal ja tootja hinnangul peaks keskmine COP olema 4,1. Aastane Kiikla soojaveevõrgu soojustarve on 530 MWh.

4.2.2.2 Merevesi, jõed ja järved

Soojuspumpade abil saab merevett kasutada kaugkütte soojusallikana. Merevett mõjutavad mitmed muutuvad keskkonnatingimused, eriti pinnavesi. Mida sügavamal on merevee väljatõmbepunkt, seda väiksem on ümbritseva keskkonna mõju merevee temperatuurile.

Kütte jaoks on kriitiline periood talvel, kui merevee temperatuur on kõige madalam ja soojusvajadus sageli kõige suurem. Pinnavesi võib olla külmumispunkti lähedal. Järelikult on väga raske ammutada merest soojust ilma külmumisprobleemideta. Soojuspumbad võivad olla kavandatud

suurema mahuga vooluhulkade jaoks, et soojuspumba aurustisse sisse ja sealt välja voolava merevee temperatuuride erinevus oleks väiksem. See nõuab suuremat soojusülekanne pinda ja tehniline lahendus muutub kallimaks. Seetõttu oleks kasulikum vett võtta sügavamalt. Nii tehakse suuremahuliste soojuspumpade korral Norras Oslos ja Rootsis Stockholmis. Oslos ammutatakse vett sügavatest fjordidest 800 m kaugusel kaldast, kus veetemperatuur on aasta ringi püsivalt umbes 8–9 °C ja tagasilastava vee temperatuur on 4 °C. Stockholmis võetakse vett 15 m sügavuselt, kus veetemperatuur on talvel 3 °C.

Taanis ei ole tavaliselt lubatud vett tagasi keskkonda viia, kui seda on jahutatud rohkem kui 5 °C võrra. Lisaks ei tohi vett jahutada temperatuurini alla 2 °C, kuid on võimalik teha erandeid. Merevee soojuspumpade puhul tuleb arvestada ka seda, et soolase vee, mineraalide ja merevetikatega kokku puutuvad materjalid vajavad spetsiaalset kaitset (kattematerjalid, lisahooldus, regulaarne puhastamine).

Kaugkütte soojusallikana võib kasutada ka jõe- ja järvevett. Neil on mereveega sarnased temperatuuriomadused. Jõgesid ja järvi võib leida ka sisemaal ning sageli asuvad küttevajadusega linnad suuremate järvede või jõgede lähedal. Samas on jõgede ja järvede soojuslik potentsiaal tavaliselt väiksem kui mereveel; seda piirab kas järve veemaht või jõe veevool. Lisaks võib vee sügavus olla madalam kui meres. Ka võivad veekogu taimed mõjutada soojuspumba jõudlust, mistõttu võivad need vajada regulaarset puhastamist.

Soojusallika võimsust võib hinnata järve veemahu ja jõe vooluhulga järgi. Nende teadmiste ühendamine tagasivoolu temperatuuri kohta kehtivate eeskirjadega võib paika panna võimsuse piirangud.

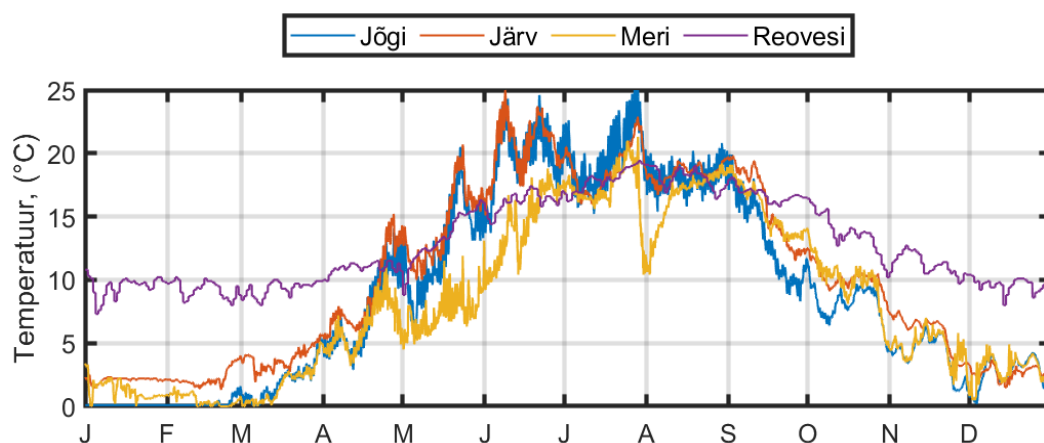
4.2.2.3 Reovesi

Reovett võib pidada perspektiivseks soojuspumba soojusallikaks, mida saab kasutada kaugküttes, kuna selle temperatuur on sageli ümbritseva keskkonna temperatuurist kõrgem ja voolu maht on suur.

Tavaliselt kasutatakse puhastusprotsessijärgset reovett, sest reovee bioloogiline puhastamine on tundlik temperatuurimuutuste suhtes ja seda ei tohi häirida. Lisaks võib puhastamata vee kasutamine tekitada puhastusvahendite lisakulu ja nõuda täiendusi soojusvaheti konstruktsiooni osas. Lisaks on kogemus näidanud, et isegi puhastatud reovesi sisaldab rohkelt toitaineid, mis võimaldavad bakterite kasvu. Sellepärast võib sujuva töö tagamiseks vaja minna filtreid ja kohapeal puhastatavaid seadmeid.

Rootsis on paigaldatud palju suuremahulisi soojuspumpasid, mis kasutavad reoveevett soojusallikana, näiteks on Malmös reovee soojuspump, mille soojusvõimsus on 40 MW. Taanis asub suurim reovett kasutatav soojuspump Kalundborgis, selle võimsus on 10 MW.

Ülevaate Eesti erinevate soojusallikate veetemperatuuridest leiab jooniselt 4.10. Sealt on hästi näha, milliste allikate temperatuurid on kogu aasta vältel kõige kõrgemad.



Joonis 4.11. Soojusallikate temperatuurid

Nagu näha, on reovee temperatuur külmade perioodide vältel, kui soojusvajadus on tavaliselt suurim, võrdlemisi kõrge. Järvede, jõgede ja merevee temperatuur on jaanuaris ja veebruaris külmumispunkti lähedal. Seetõttu võib nendest allikatest lisakütte eraldamine kõrge soojusvajaduse perioodidel olla väga keeruline. Soojusvaheti temperatuurierinevus tuleks sellisel juhul üsna väike, mis tingib aga vee suure vooluhulga soojusvahetis, mõjutades seadmele kuluvaid investeeringuid ja seadme suurust. Väga madalate veetemperatuuride ja külmumise vältimiseks tuleks järve-, jõe- ja merevett võtta sügavamalt kui 10 m. Selles sügavuses olevat vett mõjutavad keskkonnatingimused vähem kui pinnal olevat vett ja temperatuur püsib vahemikus 2–4 °C. Seda võib näha järve veetemperatuurist (joonis 4.11), kus on toodud järvevee temperatuurid mõõdetuna järve põhjas nelja meetri sügavusel. Soojusallika temperatuur pole siiski ainus valikukriteerium. Muud olulised parameetrid on näiteks olemasolev soojuslik potentsiaal, kaugus tarbijatest, erivarustus või investeeringud, mis võivad varieeruda sõltuvalt soojusallikast.

4.2.2.4 Jäaksoojus

Tööstuslik üleliigne soojus on soojusallikas, mille temperatuur on tavaliselt kõrgem kui muude siin käsitletud looduslike või mittelooduslike soojusallikate omad. Mitmetes uuringutes on kindlaks tehtud erinevate tööstussektorite liigse soojuse potentsiaal ja võimalik üleliigse soojuse kogus ning vastavad temperatuurid. Tulemused näitasid, et 5% olemasolevast soojusvajadusest oleks võimalik katta

tööstuslike termiliste protsesside käigus eralduva üleliigse soojusega. Tööstusliku heitsoojuse kasutamise potentsiaal on suurem tööstuspiirkondades, kus see võib olla integreeritud kohalikesse kaugküttevõrkudesse.

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

Eestis on juhtivateks tööstusharudeks keemia-, tsemendi- ja puidutööstus ning rafineerimistehased. Nende aastane primaarenergia tarbimine on u 16 000 GWh. Asfaldi- ja toiduainetööstuse aastane primaarenergia tarbimine on 1449 GWh. Asfalditehaseid on Eestis 63 ja tööstusliku jääsoojuse kasutamise mõttes sobivaid toiduainetööstuseid kümme.

4.2.3 Päikesesoojus

Suuri päikesekollektoreid saab kasutada ka kaugküttesüsteemide soojuse tootmiseks. Päikeseküttesüsteemid kasutavad päikesekollektoreid ja vedeliku käitlusseadet soojuskoormuse katmiseks, tavaliselt on süsteemides vaja ka soojussalvestit. Päikesekollektoritena kasutatakse tavaliselt ülitõhusaid kollektoreid, mille hulgas on enim levinud lamekollektorid. Kogu süsteem vajab täiendavat soojuse tootmise võimsust, et tagada tarbijate küttevajaduste rahuldamine vähese päikesepaiste korral või talveperioodil. Seda täiendavat soojust on võimalik toota katlamajade või koostootmisjaamade abil. Neid süsteeme võib kombineerida soojusenergia salvestamisega. Süsteemi eeliseks on, et see kasutab keskkonnasõbralikku CO₂-vaba energiaallikat. Aasta jooksul toimuvate temperatuurimuutuste tõttu on küttevajaduse 100%-line katmine vähem kulutõhus kui osalise koormusega katvus. Näiteks Taanis võib päikesekollektorite süsteem katta 10–25% aastasest küttevajadusest. Peamine puudus on suur investeerimiskulu. Teine probleem on kaugküttesüsteemi madal pealevoolu temperatuuri tase, mistõttu saab seda tüüpi lahendust kasutada vaid madalatemperatuurilistes kaugküttevõrkudes. Hooajalise salvestusvõimaluseta tehnoloogia vajab lisaks ka varuenergiaallikat, mis võib põhineda looduslikel biokütustel, jäätmetel, fossiilkütustel, gaasil või soojuspumpadel.

Taanis Silkeborgi linnas asub maailma suurim päikeseküttesüsteem. 156 694 m² (110 MW_{th}) päikeseenergia kaugkütteseadet lisati võrku 2016. aastal pärast kõigest seitse kuud kestnud ehitustöid. Munitsipaaltevõtte Silkeborg Forsyning kavatses kasutada päikeseenergiat, et rahuldada 20% küttevajadusest võrgus, kuhu on ühendatud 21 000 tarbijat. Päikeseväli on jagatud neljaks alaväljaks, et sellele ebakorrapärase kujuga maatükile oleks võimalik rajada paigaldus- ja hüdraulikasüsteemid.



Joonis 4.12. Päiksekollektorite põld Silkeborgis Taanis (156 694 m²) (allikas: <http://arcon-sunmark.com>)

4.2.4 Elektriboilerid

Elektriboilerid muundavad elektrienergia soojuseks. Nende peamisteks eelisteks on töörežiimi paindlikkus, head automatiseerimise võimalused, lihtne kasutatavus ja hinnast sõltuv temperatuurirežiim. Peamine puudus on see, et kvaliteetset energiat (elektrit) kasutatakse madalama kvaliteediga energia (soojuse) tootmiseks, vähendades seeläbi protsessi eksergia efektiivsust.

Mis puutub elektriboilerite kasutamisse säästvas kaugküttes, siis lühiajaliselt saab taastuvatest energiaallikatest nagu tuul või päike toodetud elektrienergia kasutada soojusvajaduse katmiseks või selle salvestamiseks. Teine võimalus on kasutada elektrit soojuse tootmiseks hetkel, kui elektri hind on väga madal.

Seega võib elektriboilerit pidada paindlikuks elektrikoormuseks võrgu abiteenuste toetamisel.

4.3 Soojusenergia salvestamine

Kaugküttesüsteemides ei kattu soojuse tootmine ja tarbimine alati ideaalselt ning ajaliselt tekivad tootmise ja tarbimise vahele tühimikud. Esimest liiki tühimik on tingitud sellest, et tarbimise ja tootmise vahel esineb ajaline vahe. See ajaline vahe võib olla tingitud füüsikalistest põhjustest (päikseenergia katkendlikkus) või tarbimise päevastest muutustest. Teist liiki tühimikud tekivad kaugusest soojusallikate ja tarbijate vahel.

Kui tekib vahe tootmise ja tarbimise vahel, võib juhtuda, et kasutamata soojusenergia läheb raisku. Veelgi enam, kuna soojuse tootmine peab järgima soojuskoormust, võib efektiivsus seetõttu kergesti väheneda. Soojusenergia salvestamise süsteemid on kaasatud kaugkütte ja -jahutuse süsteemidesse eesmärgiga arukalt hallata tarbimise ja tootmise vahelist lõhet. Need toimivad puhvrina tarbimise ja tootmise vahel, võimaldades maksimeerida nii soojuse tootmise ja soojussüsteemide paindlikkust kui ka jõudlust ning tõhustades taastuvate energiaallikate tarka integreerimist soojusvõrkudesse.

Soojusenergia salvestid koosneb soojuskandjast – salvestuskeskkonnast, mida kasutatakse teatud aja jooksul saada oleva soojuse salvestamiseks, et seda hiljem kasutada. Soojussalvestite rakendamine tööstus- ja ehitussektoris võib anda Euroopa Liidus 7,8% energiasäästu aastas.

Soojussalvesti on lihtne ja töökindel tehnoloogia, mis kombineerituna soojusvõrkudesse suurendab nende efektiivsust, paindlikkust ja annab võimaluse lõimida energiatootmisse taastuenergiaallikaid. Lisaks annab see võimaluse ühendada kaugküttesüsteemi rohkem hooneid, vaatamata füüsilistele piirangutele.

Kaugküttes kasutatakse tavaliselt faasimuutuseta soojusenergia salvestamist, mille puhul saab eristada lühiajalist ja pikaajalist salvestamist. Peamised erinevused soojusenergia pika- ja lühiajaliste salvestite parameetrite vahel on esitatud tabelis 4.4.

Tabel 4.4. Pika- ja lühiajaliste soojussalvestite iseloomulikud parameetrid

	Lühiajaline salvestamine		Pikaajaline salvestamine	
	Kõrgerõhuline salvestamine	Atmosfäärirõhul salvestamine	Süvend-salvesti	Akupaak
T _{min} °C	60–70	60–70	10–12	15
T _{max} °C	140–180	98	80–90	90
Maht m ³	1000–6000	1000–50 000	60 000–200 000	6000
Salvestusvõime, MWh	Kuni 850 MWh	Kuni 2 GWh	5–15 GWh	Ligikaudu 500 MWh
Maksumus, euro/kWh	20–25	6–20	Madalam kui 0,4	1,8
Salvestustsükli pikkus	1 päev kuni 1 nädal		1–2 aastat	1–2 aastat
Efektiivsus	99%		< 81%	81%

4.3.1 Soojusenergia lühiajaline salvestamine

Koostootmisjaamade tööd saab muuta paindlikumaks soojusenergia lühiajalise salvestamise abil. Nende käitamisel tuleks tootmist vähendada hetkedel, kui taastuenergia (tuul, päike) abil toodetud

elekter on kättesaadavam, ja toota rohkem, kui taastuvelektrit on saadaval vähem. Soojussalvesti abil on võimalik katta taastuenergia ülejäägist 20–25% soojusenergia nõudlusest. Et soojusenergia salvestamine on palju odavam kui elektrienergia salvestamine, võib elektrit kasutada elektriboilerite abil soojuse tootmiseks, mida saab lühiajalise soojussalvesti abil salvestada.

Valdavalt on lühiajalise soojussalvestina kasutusel akumulatsioonipaagid ehk akupaagid.

Akumulatsioonipaagid võivad olla paigaldatud vertikaalselt või horisontaalselt. Nad erinevad konstruktsiooni ja kasuteguri poolest. Vertikaalsete paakide kasutegur on üldiselt suurem kui horisontaalsetel. Akupaakide kasutamine kaugküttes võimaldab suurendada energiasüsteemi efektiivsust.

Olulisemad akupaakide kasud on järgmised:

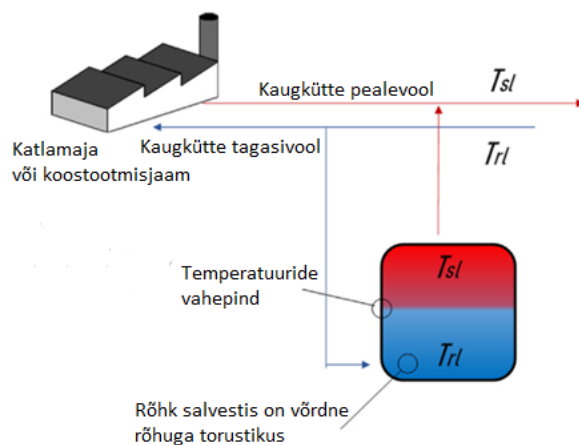
- toodetud soojuse täielik taastamine;
- süsteemi efektiivsuse suurendamine;
- tarbimistippude katmine vajab vähem tootmisvõimsust;
- koostootmise paindlikkuse suurenemine ning elektri ja soojuse tootmise harmoneerimine;
- maagaasikatelde väiksem kasutamine tipuhetkedel;
- lühiajaline soojuse taastamine;
- kiire käitamine;
- töökindluse suurendamine;
- madalad töös hoidmise kulud.

Lühiajalisi akupaake on kahte tüüpi: kõrge rõhuga ja atmosfäärirõhul töötavad. Nende peamised erinevused on välja toodud tabelis 4.5.

Tabel 4.5. Kõrge rõhuga ja atmosfäärirõhul töötavad akupaagid

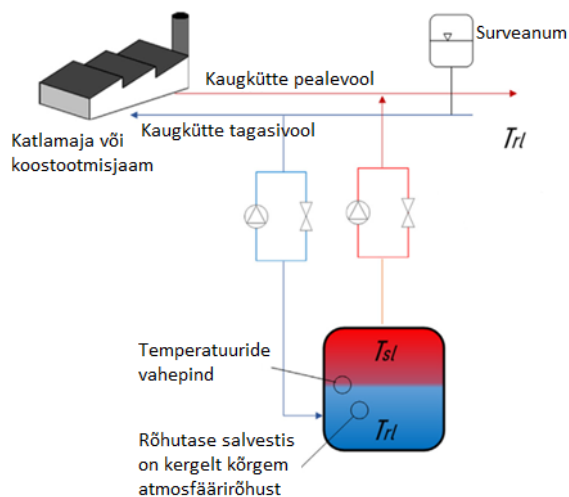
Kõrge rõhuga akupaagid	Atmosfäärirõhul töötavad akupaagid
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Kõrge temperatuuriga kaugküttele (vesi üle 100 °C) ▪ Tavaliselt ühendatud otse kaugküttevõrku, kuna salvesti ja torustik töötavad samal rõhutasemel ▪ Otsese ühenduse korral võivad toimida ka rõhu reservuaarina ▪ Atmosfäärirõhul töötavate akupaakidega võrreldes on tehnoloogia lihtsam, eriti kontrollmehhanismide poolest. Paagis esinevate soojuslike pingete tõttu on võimalik temperatuurivahemik (maks – min) ligikaudu 50–55 °C 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Madalatemperatuurilisele kaugküttele (< 100 °C) ▪ On ühendatud kaugküttevõrku kaudselt, kuna salvestusmahuti ja kaugküttetorustik töötavad erinevatel rõhutasemetel ▪ Kasutatakse mitmeid pumpe ja ventiile, et hoida õiget rõhuvahet

Kõrge rõhuga akupaagiga kaugküttesüsteemi skeem on esitatud joonisel 4.13.



Joonis 4.13. Kõrge rõhuga akupaagiga kaugküttesüsteem

Atmosfäärirõhul töötava akupaagiga kaugküttesüsteemi skeem on esitatud joonisel 4.14.



Joonis 4.14. Atmosfäärirõhule lähedasel rõhul töötava akupaagiga kaugküttesüsteem

Baltimaade suurim sojussalvesti (joonis 4.15) asub Lätis ja kuulub ettevõttele Latvenergo. Akupaak rajati 2020. aastal Euroopa Liidu Ühtekuuluvusfondi abiga. Sojussalvesti maht on 18 000 m³ ning vastavalt peale- ja tagasivoolu temperatuuridele suudab see salvestada üle 65 000 MWh sojusenergiat aastas. Akupaak on rajatud koostootmisjaama kõrvale. Tänu sojussalvestile on aastane primaarenergia sääst ligikaudu 2500 MWh ning CO₂ aastane emissioonide kogus väheneb üle 9000 tonni.

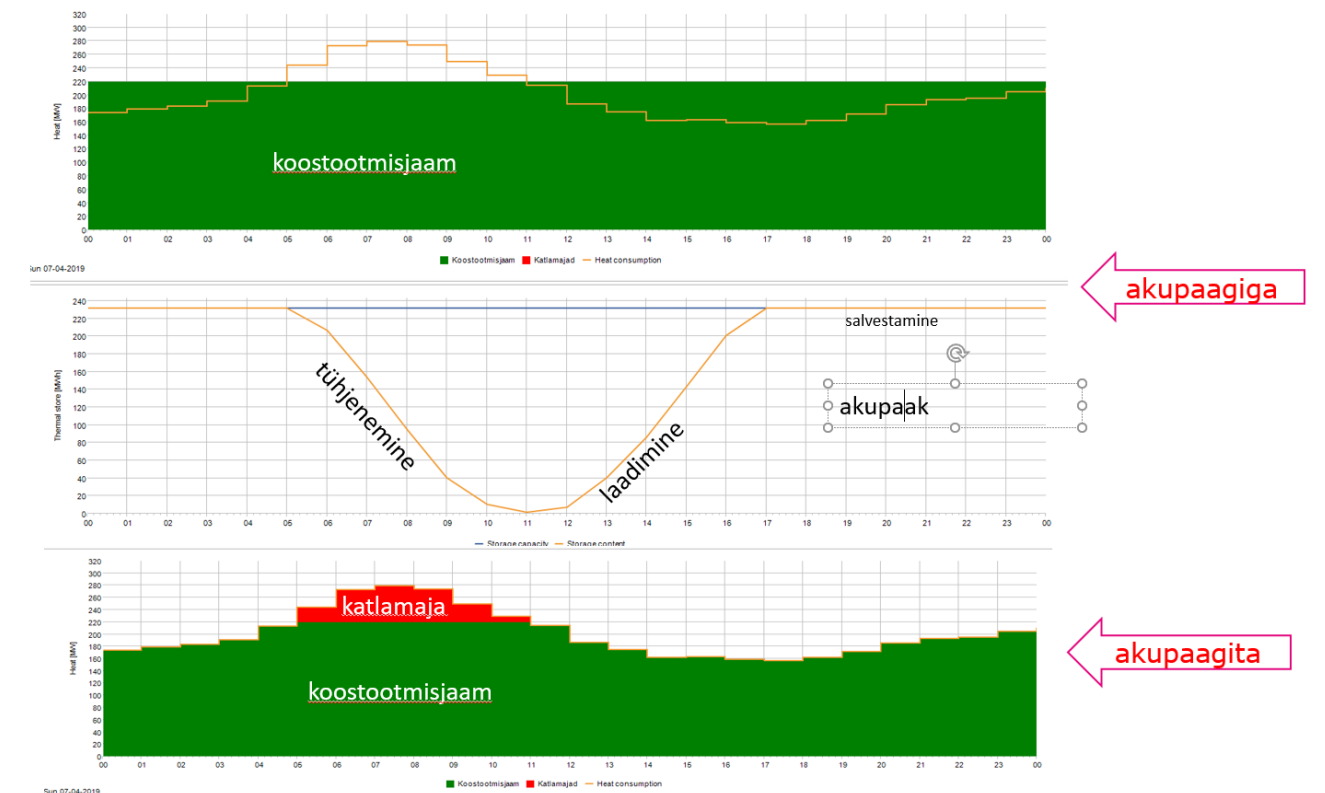


Joonis 4.15. Baltimaade suurim sojussalvesti – Latvenergo CHPP-2 (allikas: Latvenergo)

Eesti soojussalvestistest võib välja tuua Saaremaal asuva akupaagi, mis võeti kasutusele aastal 2012, kui Kuressaare Soojus rekonstrueeris vana 400 m³ masuudimahuti. Enne kasutuselevõttu mahuti puhastati ja isoleeriti. Soojussalvesti eesmärk on hommikuse ja õhtuse ning nädalavahetuse soojuse tipukoormuste kompenseerimine kütteperioodi jahedamal ajal. Tänu sellele ei ole vaja lisanduvalt tipukatlaid käivitada ning kogu soojus on võimalik toota Kuressaare koostootmisjaamas. Samuti on soojuse salvestamine hea selleks, et ühtlustada elektri tootmist ööpäeva lõikes. Kuressaare soojussalvesti töösükkel on enamjaolt üks ööpäev, kuid vajadusel võib salvesti anda soojust ka kogu nädalavahetuse.

Paindlikkuse suurendamiseks tuleks tarka energiasüsteemi lisada elektri ja soojuse sektoreid ühendavad tehnoloogiad, näiteks elektriboilerid ja suuremahulised soojuspumbad.

Elektriboilereid saab kasutada väga madala elektrihinna juures nii soojusenergia tootmiseks kui ka elektrivõrgu stabiliseerimiseks hetkedel, kui võrku on vaja lülitada täiendav suure koormusega tarbija. Toodetud soojust saab kasutada kaugküttevõrgus või säilitada hilisemaks tarbimiseks. Joonisel 4.15 on kujutatud kaugkütte koormuse katmine akupaagiga ja ilma.



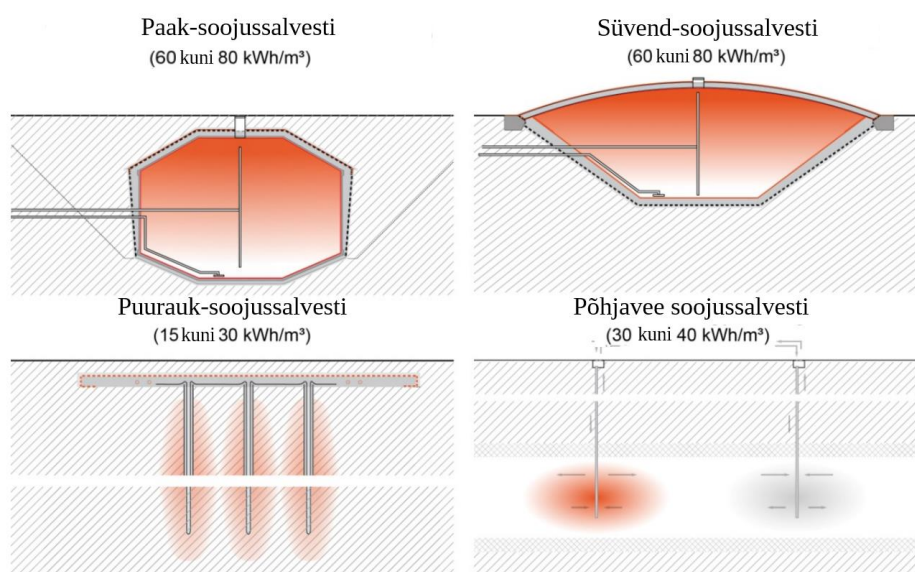
Joonis 4.16. Lühiajalise soojussalvesti töörežiim

4.3.2 Soojusenergia pikaajaline salvestamine

Hooajalisi ehk pikaajalisi salvesteid kasutatakse üldiselt päikeseenergia või elektriyaamade suvise jääksoojuse salvestamiseks, et seda kasutada talvisel perioodil. Seega on laadimise ja tühjendamise tsükleid aasta jooksul vähe ning salvestatava energia kogus väike. Majanduslikult peab hooajaliste salvestite tööhoidmine olema soodne. Seetõttu on hooajalised salvestid võimalikult lihtsa tehnoloogiaga: suuremahulised ja mitte rõhu all olevad süsteemid.

Pikaajaliste salvestite tüübid on (joonis 8.8):

- soojusenergia paaksalvesti (TTES – *tank thermal energy storage*);
- soojusenergia süvendsalvesti (PTES – *pit thermal energy storage*);
- soojusenergia puurauksalvesti (BTES – *borehole thermal energy storage*);
- soojusenergia põhjaveesalvesti (ATES – *aquifer thermal energy storage*).



Joonis 4.17. Pikaajaliste salvestite tüübid (allikas: Solites)

Paak-soojussalvesti

Paak-soojussalvesti (joonis 4.17 ja 4.18) konstruktsioon on üldiselt tehtud betoonist, terasest või tugevdatud plastikust (kihtelemendid). Betoonist mahutid ehitatakse kohapeal valmistatud betoonist või eeltoodetud betoonelementidest. Lisavooder (polümeer, roostevaba teras) on tavaliselt kinnitatud paagi pinna sisse, et veeauru hajumist takistada ja konstruktsiooni tihendada. Isolatsioon on

paigutatud paagi välisele pinnale. Tavaliselt on sellist tüüpi salvestil suured soojuskaod. Üldiselt on maa peale paigutatud suuremahulised teraspaagid (nii soojustatud kui ka soojustamata) tehnika tiptase.



Joonis 4.18. Paak-soojussalvesti ehitamine

Paak-soojussalvesti eelised on suur soojusmahtuvus, head tööparameetrid (kõrge laadimis- ja tühjendamisvõimsus), vähe piiranguid projekteerimisel, soojuslik kihistumine, hoolduse ja paranduse võimalused.



Joonis 4.19. Valmis akupaak-soojussalvesti

Puudused on piiratud suurus (< 100 000 m³), suurem primaarenergia vajadus võrreldes teiste salvestitega ja suured paigalduskulud.

Süvend-soojussalvesti

Süvend-soojussalvestid ehitatakse harilikult endistesse avamaa kruusakaevandustesse ja oma kujult meenutavad nad tagurpidi püramiidi. Süvendsalvestid ehitatakse ilma jäikade konstruktsioonideta, paigaldades voodri (kas soojustusega või ilma) kaevanduse süvendisse. Kui salvestava keskkonnana kasutatakse lisaks veele ka kruusa, mulda või liiva, siis projekteeritakse lisaks voodrile ka mahuti kaas samamoodi nagu mahuti seinad. Veega täidetud süvend-soojussalvesti kaane konstruktsioon on tehniliselt keerukas ja see on kõige kulukam osa energiasalvestist. Tavaliselt ei toeta alumine konstruktsioon kaant ja see ujub vee peal. Temperatuurid mahutis on tavaliselt piiratud voodrimaterjalide omadustega ja jäävad vahemikku 80–90 °C. Süvend-soojussalvestid on üldiselt täielikult pinnasega kaetud. Suurte soojussalvestite korral kasutatakse väljakaevatud mulda, et tekitada kõrgemaid kaldaid salvesti ümber ja tuua salvesti pealmine pind maapinnast veidi kõrgemale.

Süvend-soojussalvesti eelisteks on mõistlikud paigalduskulud, keskmine kuni kõrge vee soojuslik mahtuvus, peaaegu piiramatult suur maht ja keskmine laadimisvõimsus vee-kruusa segu puhul.

Puudusteks on keeruline ja kulukas kaas, piiratud disain ning keerukas või peaaegu võimatu hooldus ja parandus.

Näited:

- Vojensi süvend-salvesti, 200 000 m³; [Lisainfo](#)
- Marstali süvend-salvesti, 75 000 m³; [Lisainfo](#)
- Dronninglundi süvend-salvesti, 60 000 m³; [Lisainfo](#)
- Grami süvend-salvesti, 122 000 m³. [Lisainfo](#)

Puurauk-soojussalvesti

Puurauk-soojussalvestis kasutatakse maa sisemust salvestuskeskkonnana. Puurauk-soojussalvesti puhul ei ole salvestusmaht selgelt eraldatud ülejäänud keskkonnast. Sobilikud geoloogilised vormid on kivimid või veega küllastunud muld, kus põhjavee vool on tühine. Soojust laetakse või tühjendatakse vertikaalses puuraugus olevate soojusvahetite abil, mis on paigaldatud umbes 30 kuni 100 m sügavusele (mitte sügavamale kui 250 m). Üks selle kontseptsiooni eelis on laiendatavus. Töödeldud maapinna mahu suurendamine on lihtne, tuleb vaid lisada puurauk-soojusvaheteid. Soojusvahetite ühendamisel tuleb arvestada eespool kirjeldatud horisontaalse kihistumisega. Eeliseks on ka madalad paigalduskulud. Puuduseks on madal soojuslik mahtuvus ning laadimis- ja

tühjendamisvõimsus. Tavaliselt on soovitatav salvestile lisada soojuspump. Lisaks on puurauk-salvesti puhul asukoha valik üsna piiratud ning külgedel ja põhjal puudub soojustamise võimalus. Sellist liiki salvestis on peaaegu võimatu teha hooldus- ja parandustöid.

Põhjavee soojussalvesti

Põhjaveekihiid on veega täidetud maa-alused kivimikihiid, mis koosnevad vett läbi laskvatest liiva-, kruusa-, liivakivi- või paekivikihtidest, millel on hea veejuhtivus. Põhjaveekihiid sobivad soojusenergia salvestamiseks, kui need on ümbritsetud vett mitte läbi laskvate kihtidega ja põhjavee vool on tühine. Sellisel juhul puuritakse kaks kaevu (või kaevude grupp) põhjavee kihti, mille kaudu sisestatakse vesi põhjavette ja eraldatakse. Soojuse laadimise korral eemaldatakse külm põhjavesi külmast kaevust, kuumutatakse soojusallika või jahutussüsteemi poolt ja sisestatakse sooja kaevu. Tühjendamise korral on voolu suund vastupidine: soe vesi pumbatakse soojast kaevust välja, jahutatakse tarbimise poolt ja süstitakse tagasi külma kaevu. Kahe erineva voolusuuna tõttu on mõlemad kaevud varustatud pumpade ning tühjendus- ja sisestustorudega. Salvestusmahtu ei ole võimalik ümbrusest soojuslikult isoleerida. Vajalikud on väga spetsiifilised geoloogilised ja hüdrogeoloogilised maapinnatingimused, mis tuleb kindlaks teha testpuurimiste ja hüdrogeoloogiliste uurimuste käigus projekti varases staadiumis.

Eelisteks on väga madalad paigalduskulud ja keskmine soojusmahtuvus.

Puudusteks on madal või keskmine laadimis- ja tühjendamisvõimsus, väga piiratud asukohavalik ja suured soojuskaod, kuna seest soojuslik isoleerimine pole võimalik. Tavaliselt on soovitatav lisada süsteemi ka puhver ja soojuspump.

4.4 Kontrollküsimused

- 1) *Milliseid kütuseid kasutatakse kaugküttes Eestis? Milliseid kütuseid kasutatakse kõige rohkem?*
- 2) *Mille põhjal valitakse kaugkütte katlamaja katel?*
- 3) *Mille poolest erinevad vasturõhuauruturbiin ja vaheltvõttudega auruturbiin?*
- 4) *Nimeta kütusevabasid soojusallikaid.*
- 5) *Milliseid kütusevabasid soojusallikaid saab kasutada vaid soojuspumba abil, milliseid ilma?*
- 6) *Kuidas erineb pika- ja lühiajalise soojussalvesti kasutamine?*
- 7) *Kus kasutatakse peamiselt pikaajalist soojussalvestit ja kus lühiajalist?*
- 8) *Mille poolest erinevad atmosfäärirõhul töötavad akupaagid ja kõrgsurve akupaagid? Too välja mõlema eelised ja puudused.*

5 Soojusülekanne võrkudes

Kaugküttevõrk on süsteemi veresoonestik, mille kaudu jõuab soojusenergia tarbijani. Soojusvõrgu piiriks tarbija poolel võetakse enamasti soojussõlm või trassi sulgarmatuur, hüdrauliliseks piiriks on soojusvaheti (tänapäeval on kõik soojussõlmed soojusvahetiga). Võrgu piiriks tootmise poolel võivad olla sulgarmatuur, võrgupumbad, tootmishoone sein või midagi muud. Tootmisel tihti soojusvaheteid ei kasutata, sellisel juhul hüdraulilist piiri ei eksisteeri. Võrgu põhielementideks on torustik, sulg- ja reguleerimisarmatuur (ventiilid) ning torukompensaatorid; tihti on võrkudes ka pumbad, soojusvahetid jm seadmed. Lisaks on palju abiseadmeid ja rajatisi: kanalid, drenaaž, ajamid, automaatika, kinnistoed jne.

Lähtudes füüsikast, on võimalik soojust edastada kolmel viisil: soojuskiirgus, konvektsioon ja soojusjuhtivus. Kaugküttesüsteemis võib leida kõiki soojuse ülekandmise viise, kuid soojuse edastamiseks võrkudes on kasutusel soojusjuhtivus ehk energia ülekanne vahetu kontakti teel. Soojuse transportimiseks kasutakse tänapäeval sooja vett, seega toimub soojusjuhtivuslik ülekanne vee soojusvahetites, mis asuvad tarbija juures, aga ka tootmisüksuse soojusvahetis või kateldes, mis on sisuliselt samuti suured soojusvahetid. Auru kasutamist võib leida suurte linnade vanemates võrkudes, kuid enamik nendest on tänapäeval rekonstrueerimisel ja tulevikus on soojuskandjaks vesi. Auru kasutamine põhjustab suuremaid soojuskadusid võrgus, kõrgemate temperatuuride tõttu on takistatud ka hooldus, torude korrosioonioht on suurem ja vee ettevalmistamise seadmed kallimad – kõik see on põhjuseks, miks uutes võrkudes on energiakandjaks vesi. Auru kasutamisel on ka muud probleemid: torudesse tekib kondensaad ning võimalike hüdroloökide vältimiseks tuleb tekkinud kondensaad torudest välja saada; tagasivoolust saadud kondensaadi transportimiseks on vaja lisapumpasid; auru tootmine on kulukam. Samas räägib auru kasutamise poolt asjaolu, et auru energiatihedus on suurem ning torustik, mis on vaja ehitada, on väiksema läbimõõduga. Teoreetiliselt võib soojuse transportimiseks kasutada ka muid vedelikke või gaase, kuid kuna vee soojusmahtuvus on suur ning hind madal, siis teisi aineid ei kasutata.

5.1 Soojuse edastamine

Soojuse edastamiseks on vaja tagada soojuskandja liikumine ja selle temperatuuri muutus: soojuskandja pumpamine, soojendamine tootja pool ja jahutamine tarbija juures. Soojendamine on tagatud kütuse põletamisega kateldes või jääksoojuse ülekandega soojusvahetites; jahutamine on tagatud hoonete soojuskadudega ja sooja vee tarbimisega.

Soojuskanaja liikumiseks torudes on vaja, et rõhk tootja ja tarbija juures oleks erinev; selleks kasutakse pumpasid. Võrgu tavaline töö rõhk on 2 kuni 10 baari (manomeetriline rõhk), võrgu projekteerimisel arvestatakse, et survekatses teostatakse rõhuga 16 baari. Tüüpiliselt garanteerib võrguettevõtte, et tarbija juures on rõhu erinevus pealevoolu- ja tagasivoolutorus 0,6 kuni 1 baari – see on piisav rõhk vee voolamiseks soojusvahetis ja selliste parameetritega arvestatakse ka soojussõlme seadmete projekteerimisel. Tarbijatel, mis asuvad soojusallika lähedal, on rõhuerinevus suurem; selleks et vee kiirus tarbija soojussõlmes oleks optimaalne, paigaldatakse diferentsiaalrõhu regulaator, mille ülesanne on hoida rõhku etteantud piirides. Täpsemalt räägitakse soojussõlmedest peatükis 3.2.1.

Soojusvõrke saab liigitada gruppidesse mitme parameetri järgi, milleks võivad olla lihtsad füüsikalised omadused nagu võrgu kogupikkus või torude keskmine läbimõõt, aga ka keerulisemad nagu võrgu keskmine soojuslähikande tegur.

Võrgu efektiivsuse mõõtmiseks ja analüüsiks kasutatakse järgmisi parameetreid:

- võrgu kaalutud keskmine läbimõõt (m);
- võrgu kogupikkus (m);
- võrgu keskmine vanus (a) – iseloomustab vanust ja torude renoveerimise vajadust. Eeldusel, et torude keskmine eluiga on 40 aastat, peab võrgu keskmine vanus olema ligikaudu 20 aastat. Juhul kui keskmine vanus on kõrgem, on renoveerimine või torude asendamine olnud liiga aeglane. Keskmise vanuse parameeter sobib paremini suurematele võrkudele, väikeste võrkude torud on tõenäoliselt ehitatud ühel ajal ja võrgu keskmise vanuse parameetri kasutamine võib anda vale tulemuse;
- võrgu keskmine temperatuur või kraadtunnid – iseloomustab, kui kõrged on temperatuurid võrgus ja temperatuuride kestus;
- tarbimistihedus (W/m) – iseloomustab tarbimise mahtu võrgu iga meetri kohta. Suuremates linnades, kus tarbijateks on mitmekorruselised majad, on tarbimistihedus oluliselt suurem.

Võrgu kaalutud keskmine läbimõõt:

$$d_a = \frac{\sum d \cdot L}{\sum L}, \quad (5.1)$$

Kus

d – võrgu lõigu läbimõõt, m;

L – võrgu lõigu pikkus, m.

Võrgu keskmine temperatuur:

$$T_a = ((T_1 + T_2)/2 - T_k) \cdot aeg, \quad (5.2)$$

kus

T_a – võrgu keskmine temperatuur kraadtundides, °C·h;

T_1 – võrgu pealevoolu keskmine temperatuur, °C;

T_2 – võrgu tagasivoolu keskmine temperatuur, °C

T_k – torude ümbritseva keskkonna (pind või välisõhk) keskmine temperatuur, °C;

aeg – võrgu tööaeg aastas (tavaliselt 8760), h.

Võrgu soojuskaod ja isolatsiooni soojusläbikanne (Wh ja W/m^2) iseloomustavad, kui palju energiat kaob enne tarbijani jõudmist. Soojusläbikanne annab parema võimaluse võrrelda erinevaid võrke või nende lõike ja aitab teha otsuseid torude isolatsiooni kvaliteedi ja nende renoveerimisvajaduse kohta.

Kaugküttevõrgu isolatsiooni soojusläbikanne:

$$K = 2 \cdot \lambda / \ln\left(\frac{D}{d}\right) / d, \quad (5.3)$$

kus

K – võrgu soojusläbikanne, W/m^2K ;

λ – isolatsiooni soojusjuhtivus, $W/m \cdot K$;

D – toru läbimõõt koos isolatsiooniga, m;

d – toru väline läbimõõt isolatsioonita, m;

Soojuskadude käsitlemisel esineb tihti ekslikke arusaamu. Peab eristama absoluutset ja suhtelist soojuskadu – esimene näitab soojuskadu reaaluühikutes (Wh või J), teine näitab, kui palju soojust on

kadunud transportimise ajal ning näitab ära ka võrgu kasuteguri. Suhtelisest kaost rääkides peab olema eriti ettevaatlik, selle tõlgendamine on tihti vale, sest kadu sõltub paljudest parameetritest ja suur suhteline kadu ei pruugi tähendada, et võrgu efektiivsus on madal. Kaod sõltuvad järgmistest teguritest: soojuskandja temperatuur, isolatsiooni materjal, kvaliteet ja paksus, ümbritseva keskkonna temperatuur ja niiskus, torude läbimõõt ja tarbimistihedus. Erinevate võrkude võrdlemisel tasub tähelepanu pöörata just tarbimistihedusele. Näiteks võib nende parameetrite koosmõju olla selline, et suures linnas, kus isolatsioon on kehv, on suhteline kadu 10–15%, aga väikeses linnas, kus võrk on äsja ehitatud, on suhteline kadu 25%. Suhteline soojuskadu samas võrgus on aasta jooksul erinev: suvel, kui soojuskandja temperatuur on madal ja tarbimine väike, võib suhteline soojuskadu olla 50%, samas kui absoluutne kadu on oluliselt väiksem kui talvel; talvisel ajal võib aga suhteline kadu langeda kuni 5–10 protsendini vaatamata sellele, et absoluutsed kaod suurenevad.

Järgmisest valemist on näha, et soojuskaod sõltuvad võrgu füüsilistest parameetritest ja tarbimise mahust, mitte toodetud soojuse kogusest.

Võrgu soojuskaod:

$$q_{hl} = Q_{hl}/Q; Q_{hl} = K \cdot 2\pi d_a L \cdot G, \text{ millest:} \quad (5.4)$$

$$q_{hl} = K \cdot 2\pi d_a \cdot G / (Q/L) = 1 / ((1 + (Q_s/L) / (K \cdot 2\pi d_a \cdot G))), \quad (5.5)$$

kus

Q_{hl} – võrgu soojuskaod, Wh;

Q – soojuse toodang võrku, Wh;

q_{hl} – võrgu suhtelised soojuskaod, %;

K – võrgu isolatsiooni soojusülekanne, W/m²K;

d_a – võrgu kaalutud keskmine läbimõõt, m;

L – võrgu pikkus (trassi pikkus, tavaliselt pool torude kogupikkusest), m;

G – võrgu kraadtunnid, °Ch, $(T_1+T_2)/2 \cdot \text{aeg}$;

Q_s – tarbijatele müüdud soojus, Wh.

5.2 Soojuskandja reguleerimine

Võrgu olulisim eesmärk on soojusenergia ülekandmine tootmisüksusest tarbijani. Kuna energia tarbimine ajas ei ole konstantne, on vaja ülekantavat energiahulka reguleerida. Selleks on kaks

võimalust: reguleerida soojuskandja kogust või temperatuuri, ehk kvantitatiivne või kvalitatiivne reguleerimine.

Soojuslik energia maht:

$$Q = mc\Delta T, \quad (5.6)$$

kus

Q – energia, W;

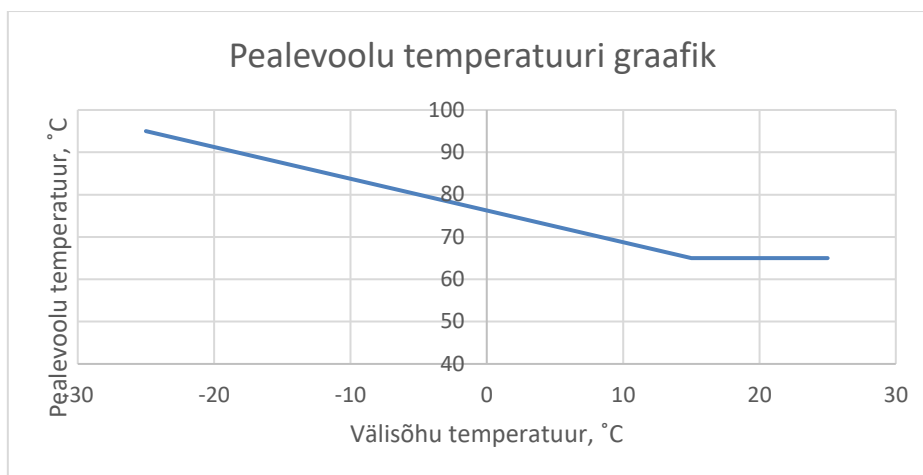
m – mass, kg;

c – soojusmahtuvus, Wh/kg; *

ΔT – alg- ja lõpp temperatuuride vahe, K.

*enamasti kasutatakse kJ/kg, 1 Wh = 3600 J.

Soojuskandja temperatuuri muutmise on lihtsaim viis ülekantava energiakoguse reguleerimiseks: mida kõrgem temperatuur, seda rohkem energiat on soojuskandja massi- või mahuühikus. Tarbijate radiaatorite või põrandakütte temperatuur on samuti muutuv ja sõltub välisõhu temperatuurist: mida madalam on temperatuur väljas, seda suuremad on maja konstruktsioonide soojuskaod ja seda rohkem energiat peavad andma kütteseadmed. Kuna soojusvoog läbi hoone seinte (ehk hoone soojuskaod) on lineaarses sõltuvuses välisõhu temperatuurist, siis on pealevoolu temperatuuri reguleerimine samuti lineaarne (joonis 5.1). Ükski soojusvaheti ei ole ideaalne, soojendatava keskkonna temperatuur on alati mõnevõrra madalam kui soojuskandja temperatuur, seega tarbija vajaduste katmiseks peab kaugküttevõrgu soojuskandja temperatuurigraafik olema kõrgem kui tarbija kütteseadmetel olev graafik. Kuna paljud tarbijad saavad oma sooja tarbevee kaugkütte soojusest ning sooja tarbevee temperatuur peab olema vähemalt 55 °C Legionella vältimiseks, siis minimaalne kaugküttevõrgu temperatuur peab olema 60 kraadi või rohkem. Kaugküttevõrgu kõrgeim temperatuur või ulatuda kuni 120–140 °C, kuid enamasti on temperatuur alla 100 °C ning tänapäeval võrgud projekteeritakse arvestusega, et ka pealevoolu temperatuur ei ole üle 80 °C. Temperatuuri võrgus võib veelgi alandada, näiteks põrandaküttega maja ei vaja soojuskandjat temperatuuriga üle 40 °C, tarbevee valmistamisel võib appi võtta soojuspumbad.



Joonis 5.1. Pealevoolu temperatuuri sõltuvus välisõhu temperatuurist

Soojuskandja koguse reguleerimine on samuti suhteliselt lihtne, seda võib teha pumpade abil tootmisüksuses või erineva reguleerimisarmatuuriga tarbija juures. Tänapäeval on pumbad varustatud sagedusmuunduritega ja reguleerimisdiapasoon on suur: 20–110% pumba nimivõimsusest (tihti on mootori pöörlemiskiirust võimalik forsseerida ja sellega tõsta pumba tootlikkust). Ajamitega varustatud ventiilide abil on võimalik täpne reguleerimine vahemikus 0% kuni 100%, kuid erinevate ventiilide reguleerimistäpsus on erinev ning kogu diapsoonis reguleerimine võib olla keeruline. Võrgus veekandja kulu reguleeritakse nii tootmisel kui ka tarbija juures: tootmisel jälgitakse, et rõhkude vahe tarbija juures torustikus oleks piisav ning tarbija juures toimub kulu reguleerimine selleks, et vee temperatuur radiaatorites vastaks graafikule.

Soojuskandja kiirus torustikus on kindlalt limiteeritud. Soojuskandja liiga väike kiirus võrgus võib tähendada, et soojuskadude tõttu ei jõua soojuskandja tarbijani õige temperatuuriga; eriti on see probleemiks suurtes võrkudes ja suvisel ajal, kui tarbimine on väike. Liiga suur kiirus võrgus tähendab aga rõhukadude suurenemist ja üldise rõhu kasvu torustikus. Lisaks võib kiirusel üle 2 m/s hüdroloogi jõud põhjustada tõsiseid avariisid.

Rõhukadude arvutus lõigule:

$$\Delta p = -(\lambda L/d) \cdot \rho v^2 / 2, \quad (5.7)$$

$$\Delta p = -\left(\frac{8\lambda L}{d^5 \pi^2 \rho}\right) \cdot m^2, \quad (5.8)$$

kus

λ – hõõrdetegur;

d – toru siseläbimõõt, m;

L – toru pikkus, m;

ρ – aine tihedus, kg/m^3 ;

v – aine liikumiskiirus torus, m/s;

m – aine massi liikumiskiirus torus, kg/s.

Võrkudes toimub soojuskandja reguleerimine enamasti mõlemat lähenemist kasutades: juhul kui välisõhu temperatuur langeb pikemaks ajaks või muutus on suur, siis muutub ka temperatuuride tase võrgus, väiksemad tarbimise muutused ning õhutemperatuuri kõikumised kompenseeritakse pumpadega. Juhul kui tegemist on väikeste võrkudega, kus üks katlamaja toodab soojust ainult mõne maja jaoks, võib soojuskandja reguleerimine olla ainult kvalitatiivne või kvantitatiivne.

5.3 Torude isolatsioon ja selle tüübid

Toru isolatsioon moodustab kaugkütte torustike soojusülekanDES kõige kriitilisema soojustakistuse. Mida parem on isolatsiooni kvaliteet, seda väiksemaks muutub võrgu soojuskadu, parandades seega kaugkütte ökonoomsust ja efektiivsust. Kvaliteetne isolatsioon kaitseb toru väliskeskonna eest ja takistab metalltorude roostetamist; projekteerimisel arvestatakse isolatsiooni kui tugevuselemendiga.

Soojusülekanne isolatsioonimaterjalis hõlmab soojusjuhtivust pooride seina kaudu, isolatsioonigaasi kokkupõrkest tulenevat soojusjuhtivust ja pooride seinte vahelist soojusülekanDET pikalainelise kiirguse tõttu. Traditsiooniliselt kasutati kaugküttetorude isolatsiooniks mineraalvilla (soojusjuhtivus $\lambda \approx 0,033\text{--}0,04 \text{ W/m}\cdot\text{K}$), kuid pärast PUR-isolatsiooni ($\lambda \approx 0,024 \text{ W/m}\cdot\text{K}$) kasutuselevõttu on villase isolatsiooni tähtsus järk-järgult vähenenud. Superisolatsioon, mille soojusjuhtivus on alla $0,02 \text{ W/m}\cdot\text{K}$, on katsetamisel ja eeldatavasti on see kaugküttevõrkude jaoks tehniliselt sobiv ning majanduslikult põhjendatud.

Selleks et parandada soojusisolatsiooni karakteristikuid, täidetakse vahtisolatsiooni tootmisel poorid gaasidega, mille soojusjuhtivus on kehvem kui õhul ($\lambda \approx 0,022 \text{ W/m}\cdot\text{K}$), näiteks CO_2 -ga ($\lambda \approx 0,017 \text{ W/m}\cdot\text{K}$). Kuna sellised gaasid aja jooksul difusiooniefekti tõttu isolatsioonist kaovad, siis kasutakse toru tootmisel täiendavat difusioontõket, milleks on alumiiniumist või muu materjalist õhuke kiht isolatsiooni ja väliskesta vahel. Torude väline kiht on tänapäeval enamasti tugevast plastikust kaitsekest, mis takistab niiskuse sattumist isolatsiooni ja kaitseb isolatsiooni

deformeerumise eest. Soojuskadude täiendavaks vähendamiseks on kasutusele võetud väiksema läbimõõduga torud, millele võib paigaldada ühise isolatsiooni: nii on tootmine odavam, soojuskadu väiksem ning võimalik vähendada ehituskulusid.

5.4 Kaugküttevõrgu soojuskaod hindamistegur võrgu geomeetria suhtes

Kaugkütte efektiivsuse hindamiseks kasutatakse harilikult suhtelist soojuskadu ehk võrgu soojuskadude ja soojusallikast kaugküttevõrku antud kogusoojuse suhet. Sellisel viisil võrgu efektiivsuse määramine võib aga viia ekslike järeldusteni. Võrgu efektiivsuse mõistmiseks on vaja võrgu toimimist põhjalikumalt analüüsida. Näiteks võib kahel sarnasel võrgul olla suhteline soojuskadu sama, kuid temperatuurid esimeses võrgus on 85/50 °C ja teises 75/45 °C. Sel juhul on esimesel võrgul parem isolatsioon ja suurem efektiivsus, teisel aga suurem renoveerimispotentsiaal. Lisaks mõjutab soojuskadu võrgu pikkus ning soojuse tarbimistihedus.

Lähtudes soojus- ja massilevi teooriast, on tehnilise hindamisteguri väljatöötamisel esmajoones leitud võrgu peamist soojuskadu mõjutavad tegurid. Seejärel on leitud teguritest kombineeritud üks koondtegur, mille abil on võimalik kirjeldada võrgu tehnilist seisukorda. Ühe konkreetse tehnilise parameetri olemasolu annab võimaluse soojusvõrke võrrelda ja hinnata nende tehnilise parendamise potentsiaali. Hindamisteguri valideerimiseks on läbi viidud reaalsete võrkude andmete analüüs, et kontrollida tehnilise hindamisteguri (THT) korrelatsiooni võrkude tehnilise seisundiga.

Nagu eelmises osas mainitud, on võrgu soojuskadusid qhl (W) võimalik arvutada valemi (5.4) abil. Sellest valemist järeldub, et soojuskadu kaugküttevõrkudes sõltub järgmistest parameetritest:

võrgus üle kantava soojuse maht: tänapäeval kasutatavate isolatsioonimaterjalide korral on soojuskadu DN 300 ja väiksemate torude paari juhul 0,100–0,350 W/(m·K);

võrgu temperatuurigraafik: temperatuuri taseme langus kaugküttevõrgus toob kaasa soojuskadude vähenemise, mis tuleneb madalamast temperatuuri gradiendist kaugküttevõrgu ja väliskeskkonna vahel. Võrgu temperatuurigraafiku langetamine on üks lihtsamaid võimalusi võrgukadude vähendamiseks, juhul kui pole hüdraulilisi probleeme ja tarbijate sojussõlmed suudavad töötada madalamate parameetritega ning edastada vajaliku soojuse maja küttesüsteemi. Madalam võrgutemperatuur mõjutab positiivselt ka soojuse tootmist;

kaugküttevõrgu geomeetrilised dimensioonid või kaugküttevõrgu piirkonna iseärasused: soojuskadu kaugküttevõrkudes sõltub võrgu keskmisest läbimõõdust ja pikkusest, mis omakorda

sõltub võrgu asukoha poolt seatud tingimustest. Kui muud parameetrid kahes kaugküttevõrgus on samad, on väiksema keskmise läbimõõduga ja lühema pikkusega võrgul väiksem soojuskadu.

Lisaks mõjutavad soojuskadusid võrgus veel kütteevee ja toruseina vaheline soojusülekandeegur, toruseina materjal, soojusülekanne torult pinnasele, mis sõltub enamasti pinnase niiskusesisaldusest, torude omavaheline kaugus ja tuule kiirus väliskeskkonnas. Saame esitada suhtelise soojuskao järgmiselt (5.9):

$$q_{hl} = 1 / (1 + \frac{Q_s}{L} \cdot (K \cdot 2\pi \cdot d_a \cdot G)^{-1}) \quad (5.9)$$

See näitab, et suhteline soojuskadu sõltub ka soojustarbimisest võrgu pikkuse kohta. Mõni ülalmainitud parameeter mõjutab soojuskadu vähem ja selle võib tähelepanuta jätta, mõned on kõigi võrkude puhul peaaegu ühesugused, kuid enamikku neist tuleks võrgu tõhususe arvutamisel ja võrkude võrdlemisel siiski arvesse võtta.

Kõigi parameetrite koondteguriks kombineerimisel võib võrgu soojuskao kirjeldamisel õige parameetrina kasutada üldist soojusülekandeegurit K [W/(m²·K)] (efektiivne keskmine soojusülekandeegur). Valem soojusülekandeeguri arvutamiseks on üldjuhul järgmine (5.10):

$$K = Q_{hl} / (L \cdot 2\pi \cdot d_a \cdot G). \quad (5.10)$$

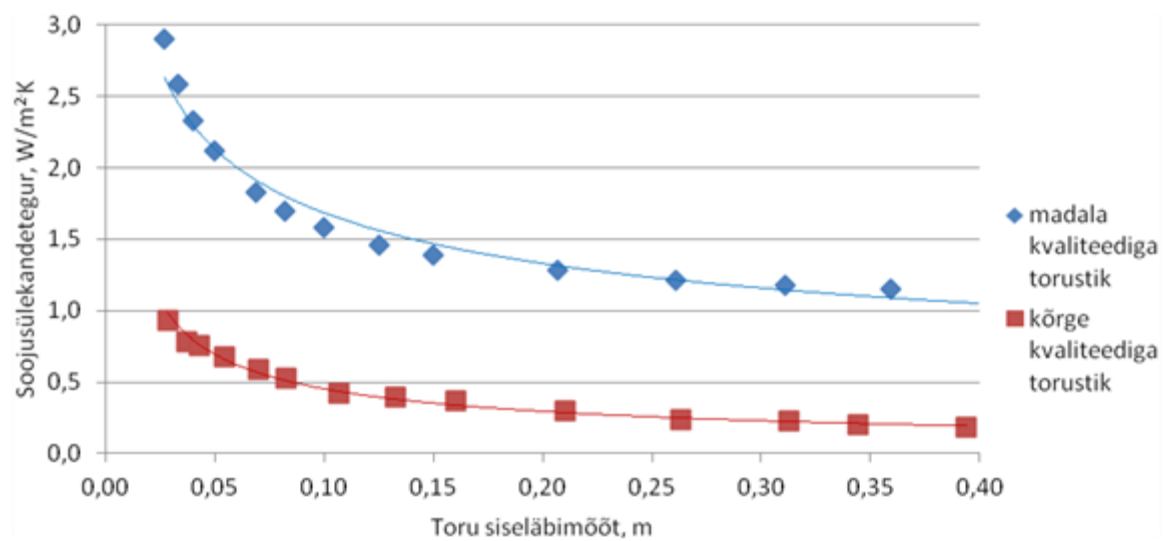
Arvutamise lihtsustamiseks ja toru isolatsioonimaterjali ning paksuse parameetrite võrrandisse mittelisamiseks kasutatakse siin torustiku efektiivset keskmist siseläbimõõtu. Üldiselt on kõik arvutamiseks vajalikud andmed saadaval iga kaugküttevõrgu kohta. Keskmise läbimõõdu asemel võib kasutada efektiivset keskmist nimiläbimõõtu (DN). Siiski tuleks arvestada veaga kuni 11% sõltuvalt toru läbimõõdust ja seina paksusest.

Kaugküttevõrkude võrdlemine ainult soojusülekandeeguri abil ei anna piisavat tulemust: suurema keskmise läbimõõduga võrkudel on väiksem soojusülekandeegur, kuna võrgu pindala ja tarnitud energia suhe on väiksem. Seetõttu tuleks koos soojusülekandeeguriga K arvestada ka võrgu keskmist läbimõõtu.

Kõrge kvaliteediga tehnilisteks tingimusteks loetakse standardi EN13941 kohaselt 2. klassi isoleeritud torusid, mis asuvad vähemalt 0,5 m sügavusel pinnases. Madala kvaliteediga tehnilised tingimused on määratletud kui 50 mm mineraalvillaga isoleeritud torud vanades betoonkünades.

Soojusülekandeeguri erinevus kvaliteetsete ja madala kvaliteediga tehniliste tingimuste korral on kujutatud joonisel 5.2. Mitmed uuringud kinnitavad, et soojusülekandeeguri erinevus uue ja vana

isolatsiooni vahel on ligikaudu kolmekordne. Geomeetriliselt erinevate võrkude võrdsetel alustel võrdlemiseks tuleks soojusülekanndetegurit võrrelda samal ajal ka võrgu keskmise läbimõõduga.



Joonis 5.2. Üldine soojusülekanndetegur kõrge kvaliteediga uutel torudel (eelisoleeritud) ja vanadel torudel (betoonkünades mineraalvillaga isoleeritud torud)

Joonise 5.2 põhjal saab tuletada valemid nii uue kui vana torustiku soojusülekanndeteguri määramiseks.

Vana, betoonkünades mineraalvillaga isoleeritud torustiku puhul kehtib soojusülekanndeteguri K_{low} [$W/(m^2 \cdot K)$] leidmiseks valem (5.11):

$$K_{low}(d_a) = 0,7676 \cdot d_a^{-0,341} \quad (5.11)$$

Uute, eelisoleeritud torude jaoks saab soojusülekanndeteguri K_{high} [$W/(m^2 \cdot K)$] leida valemi (5.12) abil:

$$K_{high}(d_a) = 0,1088 \cdot d_a^{-0,619} \quad (5.12)$$

Võrgu renoveerimispotentsiaali või tehnilise hindamise teguri (THT) paremaks väljendamiseks võib kasutada protsentuaalset skaalat:

- kui THT = 0%, tähendab see, et võrgul puudub renoveerimispotentsiaal ja võrgu soojusülekanndetegur on sama, mis sama siseläbimõõduga eelsoojustatud torude puhul;
- kui THT = 100%, tähendab see, et võrk on samas seisukorras kui madala kvaliteediga võrk;

- kui THT > 100%, vastab võrk kõrgemale soojusülekandeegurile kui madala kvaliteediga toru korral. See võib olla märk vajadusest kaaluda kaugküttevõrgu sulgemist soojuse liiga madala tarbimistiheduse tõttu.

Eespool nimetatud eelduste põhjal saab kaugküttevõrkude tehnilise hindamise tegurit väljendada järgmiselt (5.13):

$$THT = \frac{K_{network} - K_{high}(d_a)}{K_{low}(d_a) - K_{high}(d_a)} \cdot 100\% \quad (5.13)$$

Teguri valideerimisel analüüsiti 16 erineva geomeetriaga Eesti kaugküttevõrku, mille pikkused varieerusid 370 meetrist 427 kilomeetrini. Kõikidel vaadeldud juhtudel on võrgu keskmine vanus üle 15 aasta ja võrk paikneb enamasti kanalisis. Vaadeldud kaugküttevõrkude andmed on esitatud tabelis 5.1.

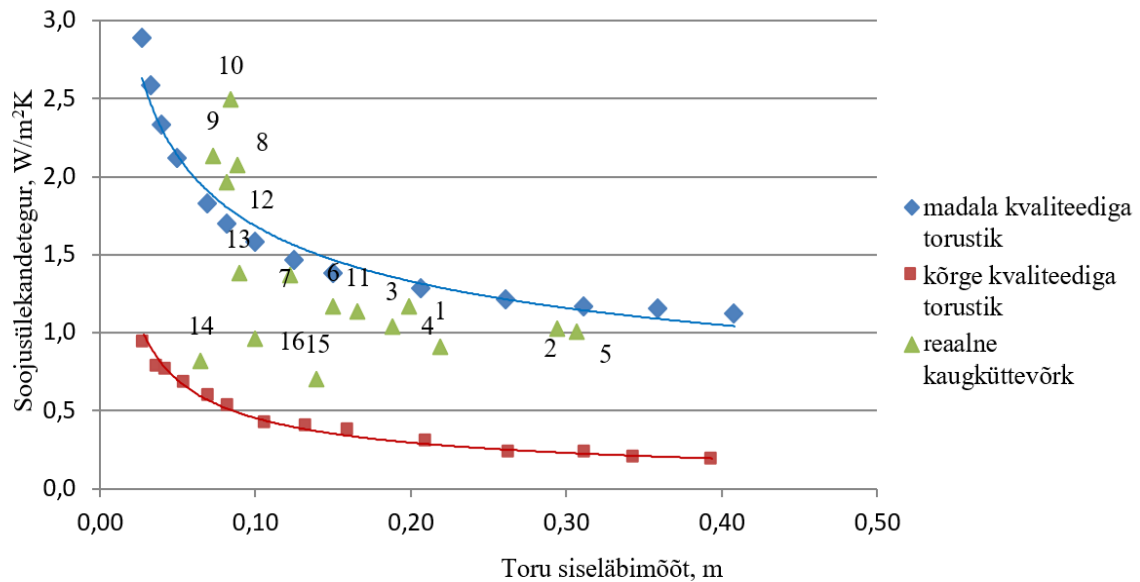
Tabel 5.1. Vaadeldud kaugküttevõrkude andmed

Nr	Keskmine läbimõõt (m)	Kraad-tunnid (K·h)	Soojuse tarbimistihedus (MWh/m)	Soojus-ülekande tegur (W/m ² K)	Suhte-line kadu (%)	THT (%)
1	0,224	498 181	3,59	1,05	17,0	77
2	0,294	512 416	4,16	1,03	19,0	85
3	0,188	470 762	3,50	1,04	14,2	70
4	0,199	498 137	3,79	1,17	16,1	84
5	0,306	510 577	1,93	1,01	33,8	85
6	0,150	455 520	2,62	1,17	16,1	73
7	0,123	451 140	2,86	1,37	14,3	83
8	0,088	397 536	2,17	2,07	17,4	125
9	0,073	401 472	1,78	2,13	18,0	119
10	0,084	432 960	1,68	2,49	25,3	155
11	0,166	472 320	2,09	1,13	21,0	74
12	0,082	445 300	2,36	1,96	16,0	113
13	0,089	615 500	1,74	1,38	21,4	70
14	0,065	476 256	3,18	0,82	4,8	17
15	0,140	520 000	2,90	0,70	10,0	30
16	0,100	471 139	3,32	0,96	7,8	41

Vaadeldud kaugküttevõrgud on võimalik jagada kolme gruppi:

- võrkudel nr 8–10 ja 12 on eelisoleeritud torude osakaal väiksem kui 10% ja kanalites paiknevate torude isolatsiooni seisukord on halb;

- võrkudes nr 1–7, 11 ja 13 on 25–35% torustikust eelisooleeritud ning ka ülejäänud isolatsioonitingimused on suhteliselt head;
- võrgud nr 14 ja 6 koosnevad 80–100% ulatuses kuni 10 aasta vanustest eelisooleeritud torudest. Võrdlusena on lisatud võrk nr 15, mis on keskmine Rootsi kaugküttevõrk.



Joonis 5.3. Reaalsete kaugküttevõrkude andmed võrrelduna kõrge ja madala kvaliteediga torustike soojusülekandega

Arvutustulemused kinnitavad, et enamikul analüüsitud võrkudel on kõrge soojusülekanne, mis on lähedal madala kvaliteediga võrkude võrdlusjoonele. Mõnes väikeses võrgus on soojusülekanne isegi kõrgem kui madala kvaliteediga võrgu võrdlusjoonel; seda seletab asjaolu, et väiksemate rahaliste võimaluste tõttu on tingimused võrgu renoveerimiseks väga halvad. Need võrgud vajavad suuremat tähelepanu ja soojustuse renoveerimistööd tuleb teha niipea kui võimalik. Suuremates võrkudes moodustavad eelisooleeritud torud tavaliselt umbes 30% torustikust, kuid parendamise potentsiaal on ka seal endiselt suur. Suurema keskmise läbimõõduga võrkudel on pikad soojustrassid soojuselektrijaamadest tarbijateni ja vaatamata sellele, et mõne võrguosa suhteline soojuskadu ületab 30%, võiks seda pidada tühiseks.

Sellest saab järeldada, et keskmise soojusülekanne ja keskmise läbimõõdu abil kaugküttevõrgu isolatsiooni kvaliteedi hindamine ning THT abil võrgu soojusülekanne võrdlemine on

asjakohane. Kirjeldatud meetodika nõuab täiendavaid arvutusi kaugküttevõrkude järgmiste juhtumite jaoks:

- maapealsete kaugküttevõrkude puhul ei ole soojusülekanDES arvestatud tuule, päikese ja sademete mõju (konvektsioonsoojusülekanne), kuna võrdlusjooned ei ole nende juhtumite jaoks sobivad;
- võrgustikud, kus pinnase parameetrid mõjutavad niiskuse tõttu soojusülekanDET: märja pinnase korral peaksid võrdlusjooned olema kõrgemad, kuna toru välispinnalt on pinnasele suurem soojusülekanne;
- keerulised võrgud, kus kasutatakse rohkem kui kahte paralleelset toru või kus toru läbimõõt on peale- ja tagasivoolutorude jaoks erinev, tuleks võrgu pikkuse asemel arvestada torude summaarse pikkusega.

Eelisoleeritud torude korral on erinevus erinevate isolatsiooniklasside ja üksik- või kaksiktorude vahel liiga väike ja seda ei saa THT arvutamisel arvesse võtta. Õige tulemuse saamiseks on oluline pöörata tähelepanu keskmise läbimõõdu ja võrgu temperatuuri andmetele. Enamasti peaks olema saadaval piisavalt andmeid torude geomeetria kohta ja temperatuuri arvutamiseks tuleks analüüsida nii erinevate võrgupunktide SCADA andmeid kui ka välisõhu temperatuuri. Eriti paljude torudega võrkude korral, mis asuvad majade keldrites, näiteks transiitvõrkude puhul, tuleks võrgu temperatuuritase täpsemini arvutada.

Koostatud meetodikast võib järeldada, et kõige olulisemad tegurid on:

- võrgu temperatuuritase;
- isolatsiooni soojusülekanDETegur;
- võrgu keskmine läbimõõt ja pikkus.

Arvutuste tulemusena leiti, et võrgu isolatsiooni kvaliteedi analüüsil ja võrkude tõhususe võrdlemisel on sobivaimaks teguriks võrgu üldine soojusülekanDETegur, mis sõltub toru geomeetriast ja seetõttu tuleks seda kasutada samaaegselt võrdlusvõrgu keskmise läbimõõduga. Pealegi tuleks toru ja isolatsioonimaterjali omaduste ning paksuse välistamiseks kasutada keskmist siseläbimõõtu.

Võrkude paremaks võrdlemiseks pakub koostatud meetodika välja tehnilise hindamise teguri (THT). Eespool toodud näites arvutati THT 16 võrgu jaoks, mille isoleeritud torude osakaal oli erinev.

Kokkuvõttes võib öelda, et suhteline soojuskadu ei ole võrgu hindamisel õige tegur, sest see sõltub paljudest muudest parameetritest ja suure suhtelise kaoga võrgu isolatsioon võib hästi toimida ning

vastupidi. Võrkude korral, kus märkimisväärne kogus torusid pole maa sees, on THT arvutamiseks vaja täiendavaid parandustegureid.

5.5 Soojusvõrgu planeerimine ja arendamine

Uue võrgu ehitus või olemasoleva võrgu arendamine – mõlemad on keerulised planeerimisülesanded. Ei ole võimalik anda kindla retsepti, kuidas mitte teha vigu võrgu arendamisel, sest iga võrk on unikaalne ning arendamist mõjutavad nii tehnilised faktorid kui ka iga riigi või piirkonna seadused, määrkused, kombed, eesmärgid. Altpoolt leiab lugeja üldised juhised, millega peab arvestama võrgu planeerimisel, kuid tulenevalt teema keerulisusest ei ole nimekiri lõplik ning tuleb arvestada iga piirkonna eripäraga.

Soojusvõrgu arendamisel nullist on vaja planeerida eelduslikud magistraalid, soojusallikad, tarbijapiirkonnad. Suures võrgus mängib olulist rolli ka linna reljeef – tulenevalt sellest tuleb planeerida täiendavad võrgupumbad, lahutada võrku soojusvahetite abil või jagada kogu võrk mitmeks piirkonnaks. Suures plaanis on vaja otsustada, kas magistraalid on ringistatud ja tagatud suurem töökindlus või toimub linna soojusvarustus läbi ühe magistraali, mis tähendab väiksemat ehituskulu ja väiksemaid soojuskadusid. Pikaajaliste plaanidega tuleb alati olla ettevaatlik ning koguda võimalikult palju informatsiooni erinevatest allikatest – aga ka see ei taga, et tulevikus läheb kõik plaani järgi. Näiteks Tallinna võrgus olid Lasnamäe piirkonna magistraalid selgelt üledimensioneeritud: oli plaanitud suur areng Kadrioru piirkonnas, kuid ENSV kokkukukkumisega kogu areng peatus. Üledimensioneeritud magistraalid said piisava koormuse alles tänapäeval, aga ka seda pigem võrgu kasutamise optimeerimise tõttu.

Iga soojusvõrgu olulisim osa on tarbija, seega mida rohkem informatsiooni on tulevase tarbija kohta olemas, seda lihtsam on leida, kuidas tarbija ühendada. Tarbija liitumisel on eelkõige vaja teada, milline on tema maksimaalne tarbimiskoormus, kas tegemist on küttega ning mis tüübiga (radiaator, põrandaküte või ventilatsioon) või sooja vee tarbimise koormusega – lähtudes sellest on võimalik teada saada, milline pealevoolu temperatuur peab olema tagatud tarbija juures, kui palju koormus ajas muutub ning milline on maksimaalne koormus. Lähtudes sellest, on võimalik teha tarbija ühendamiseks toru läbimõõdu arvutus.

Kui liitumas oleva tarbija tehnilised parameetrid on olemas, siis toru valikul peab meeles pidama ka perspektiivi: toru eluiga on vähemalt 20–30 aastat ning selle ümberehitamine seoses täiendava kliendi tulekuga ei ole majanduslikult põhjendatud. Toru valiku tegemisel on vaja arvesse võtta, kas piirkonnas on veel kliente, kes tahavad liituda; kas piirkonda tulekus ehitatakse hooneid; võimalik, et

5.6 Kontrollküsimused

- 1) *Millised tingimused peavad olema täidetud, et toimuks soojuse edastamine tootjalt tarbijale?*
- 2) *Mis tingimused avaldavad mõju kaugküttevõrgu soojuskadudele?*
- 3) *Mis tegurid määravad pealevoolu temperatuuri kaugküttes?*
- 4) *Milliseid isolatsioonimaterjale kasutatakse kaugküttetorude soojuskadude vähendamiseks?*
- 5) *Kuidas hinnata kaugküttevõrgu tehnilise hindamisteguri abil kaugküttevõrgu renoveerimispotentsiaali?*

6 Projekteerimine ja ehitamine

6.1 Põhistandardid ja lühikirjeldus

Kaugkütte ja -jahutuse projekteerimise ning ehitamise jaoks on välja töötatud hulk standardeid. Standardites on kajastatud erinevad nõuded kaugküttevõrgu ja -süsteemide projekteerimiseks, ehitamiseks, materjalide valimiseks, torude, liitmike ning isolatsiooni tootmiseks jne.

Põhistandardid jagunevad:

- kaugkütte standardid;
- eelisoleeritud terastorude standardid.

EVS-EN 13 941-1	Kaugküttetorustikud. Eelisoleeritud seotud üksik- (<i>single</i>) ja kaksik- (<i>twin</i>) torustikusüsteemid maa-alustele kuumaveevõrkudele. Osa 1: projekteerimine
EVS-EN 13 941-2	Kaugküttetorustikud. Eelisoleeritud seotud üksik- (<i>single</i>) ja kaksik- (<i>twin</i>) torustikusüsteemid maa-alustele kuumaveevõrkudele. Osa 2: paigaldamine
EVS-EN 253	Kaugküttetorustikud – eelisoleeritud seotud üksik- (<i>single</i>) torustikusüsteemid maa-alustele kuumaveevõrkudele: tehases valmistatud torude ühine süsteem terastorust, polüuretaanist soojusisolatsioonist ja polüetüleenist kattest
EVS-EN 448	Kaugküttetorustikud – eelisoleeritud seotud üksik- (<i>single</i>) torustikusüsteemid maa-alustele kuumaveevõrkudele: tehases valmistatud liitmikud terasest torudest, polüuretaanist soojusisolatsioonist ja polüetüleenist kattest
EVS-EN 489-1	Kaugküttetorustikud – eelisoleeritud seotud kaksik- (<i>twin</i>) torustikusüsteemid maa-alustele kuumaveevõrkudele – osa 1: kaugküttevõrkude vuukide katted ja soojusisolatsioon vastavalt standardile EN 13941-1

Need standardid käsitlevad eelisoleeritud terastorudest tehtud süsteeme kaugkütte jaoks. Standardites on kirjeldatud, millest tuleb lähtuda süsteemide projekteerimisel ja ehitamisel – kuidas

arvutada, et süsteem oleks kindel ja nõutud tööiga tagatud. Samuti on toodud nõuded kõikidele eelisoleeritud elementidele, nende valmistamisele, transpordile ja hoiustamisele.

Lekkeavastussüsteemid (kaugkütte- ja kaugjahutustorustikule):

EVS-EN 14 419	Kaugküttetorustikud – seotud üksik- (<i>single</i>) ja kaksik- (<i>twin</i>) torustikusüsteemid maa-alustele kuumaveevõrkudele – järelevalvesüsteemid
---------------	---

Selles standardis käsitletakse eelisoleeritud torustike lekkeavastussüsteeme, nende variante ja seda, mida ning kuidas saab mõõta, samuti nõudeid tootjatele.

Eelisoleeritud kaksik- (*twin*) terastorude standardid:

EVS-EN 15 698	Kaugküttetorustikud – seotud kaksik- (<i>twin</i>) torustikusüsteemid maa-alustele kuumaveevõrkudele
---------------	--

Selles standardis on käsitletud kõiki nõudeid ja juhiseid eelisoleeritud kaksik-terastorude kohta.

Eelisoleeritud painutatavad torud (seotud ja mitteseotud):

EVS-EN 15 632	Kaugküttetorud – eelisoleeritud painuvad torusüsteemid
---------------	--

Üldine standard, mis käsitleb tööstustorustikku (saab kasutada maapealse kaugküttetorustiku korral):

EVS-EN 13 480-3	Metallist tööstustorustik. Osa 3: kavandamine ja arvutamine
-----------------	---

Kaugjahutuse standardid:

EVS-EN 17 414	Kaugjahutustorustikud – tehases valmistatud painuvad torusüsteemid
---------------	--

EVS-EN 17 415	Kaugjahutustorustikud – seotud üksik- (<i>single</i>) torustikusüsteemid maa-alustele külmaveevõrkudele
---------------	---

Need on kõige rohkem kasutusel olevad standardid, kuid see ei ole täielik nimekiri. Samuti on olemas erinevad juhendid (nt tootja juhendid) ja käsiraamatud (nt Ameerika kütte-, ventilatsiooni- ja jahutusühingu poolt väljastatud), kus on toodud soovitusel ning juhised kaugkütte ja -jahutuse süsteemide projekteerimiseks, paigaldamiseks, hooldamiseks ja süsteemide osade tootmiseks.

6.2 Projekteerimine

6.2.1 Kaugküttes kasutatavad torud ja nende paigaldamine

Kaugkütte ja -jahutuse torustikud saab paigaldada järgmiselt:

- maa peale;
- maa sisse;
- hoonete sisse.

Iga variandi kasutamisel tuleb lähtuda paigaldusviisi omapärast. Lisaks tuleb arvestada, kas on tegemist eelisoleeritud või eelisoleerimata torude süsteemiga.

Maapealsel paigaldamisel kasutatakse üldjuhul eelisoleerimata terastorusid, mis tuleb peale paigaldamist isoleerida ja katta kaitsematerjaliga (nt plekk). Kuid on võimalik kasutada ka eelisoleeritud torusid. Eelisoleeritud torude kasutamisel tuleb lisaks arvestada tugele paigaldamisega ja nende mõjuga eelisoleeritud torude isolatsioonile ning väliskestale. Üldjuhul on eelisoleeritud torude kasutamisel tugele vahekaugused väiksemad ja tugele pindala suurem, et tagada isolatsiooni säilivus.

Maa-alusel paigaldamisel saab kasutada nii terastorusid, mis isoleeritakse töö käigus, kui ka eelisoleeritud torusid. Eelisoleerimata torud paigaldatakse sel juhul kanali sisse (raudbetoonist küna ja kambrid). See meetod on kasutusel ainult vanade torustike korral. Kaasaegseks meetodiks on eelisoleeritud torustike paigaldamine otse maa sisse. Meetodi eeliseks on, et pole vaja ehitada täiendavat raudbetoonist küna. Samuti tagavad tehases paigaldatud eelisoleerimata ja kohapeal paigaldatavad jätkupakendid suurepärase veetiheduse. Suur eelis on ka see, et üldjuhul puudub vajadus paigaldada kinnistugesid, mis säästab nii ruumi, aega kui ka raha (kaugkütte maksumus).

Hoone sisse paigaldatakse üldjuhul terastorud, mis isoleeritakse peale paigaldamist (sarnaselt maapealse meetodiga). On võimalik kasutada ka eelisoleeritud torusid, kuid tugevate valimisel tuleb erinevalt terastorudest arvestada ka isolatsiooni ja väliskesta materjalidega. Lisaks jäikadele terastorudele on kaugküttes ja -jahutuses väga levinud painduvad torud, mis võivad olla nii terasest kui ka plastist.

Eesti suurtes linnades on kõige rohkem levinud eelisoleeritud jäigad terastorud (nt Logstor, Uponor, Isoplus). Nende eeliseks on läbimõõtude suur valik, kõrge temperatuuritaluvus (vastavalt standardile kuni 120 °C ja lühiajaliselt kuni 140 °C).

Lisaks eelisoleeritud terastorudele on kaugkütte jaoks võimalik kasutada järgmisi torusid:

- Painduvad terastorud (nt Casaflex – see on gofreeritud terasest eelisoleeritud toru). Sellise toru eelis on, et puudub vajadus kompensatsioonipõlvete ehitamiseks. See annab võimaluse paigaldada torustik keerulise trassijoone järgi, mis võib säästa ruumi. Samuti taluvad sellised torud kõrget temperatuuri. Puuduseks on kõrgem hind ja piiratud läbimõõt. Üldjuhul on maksimaalne läbimõõt DN80.
- Painduvad plasttorud, mis ei ole seotud isolatsiooniga (nt Uponor). Need on plastist eelisoleeritud torud, mille soojusisolatsioon ei ole jäigalt seotud töötoruga ja toru saab isolatsiooni suhtes liikuda. Nende torude eelis on sama, mis painduvatel terastorudel – puudub vajadus kompensatsioonipõlvete ehitamiseks, mis annab võimaluse paigaldada torustik keerulise trassijoone järgi ja võib säästa ruumi. Toru tarnitakse pikkade rullidena ja ühenduskohtade arv on suhteliselt väike, mille tõttu on ka kaeviku laius suhteliselt väike. Põhilised puudused on aga torustiku maksimaalne läbimõõt (kuni De110 või De125) ja väike temperatuuritaluvus (sõltuvalt tootjast kuni 75–80 °C pikaajaliselt ja 80–90 °C lühiajaliselt).
- Painduvad plasttorud, seotud isolatsiooniga (nt Uponor, Logstor). Need on plastist eelisoleeritud torud, mille soojusisolatsioon on jäigalt seotud töötoruga ja toru ei saa isolatsiooni suhtes liikuda. Eelised ja puudused on samad nagu ülalmainitud mitteseotud isolatsiooniga plasttorudel. Põhiline erinevus nende vahel on isolatsiooni koostises ja paigaldamise viisis. Üldjuhul kasutatakse seotud torudel PUR isolatsiooni, mis on palju efektiivsem soojustõke.

Kaugjahutuse jaoks on võimalik kasutada järgmisi torusid:

- Samad torud nagu kaugküttetorustiku puhul, v.a painduvad terastorud, mille kasutamine ei ole otstarbekas. Vaatamata sellele, et antud torud sobivad ka külmale veele, on nende maksumus liiga kõrge ja puuduvad eelised just külma vee korral kasutamiseks (nt paisumise kompenseerimine).
- Lisaks on võimalik kasutada eelisoleerimata PE (PE100) ja eelisoleeritud PE torusid, mis ei sobi kaugkütte jaoks (temperatuuritaluvus on suhteliselt väike).

6.2.2 Projektiklass ja selle määramine

Iga projekti alguses tuleb määrata projekti klass vastavalt standardile EN 13941-1. Kuna soojusvarustuse süsteemid on avarii korral (kui torustik puruneb ja kuum vesi välja pääseb) ohtlikud inimestele ja keskkonnale, siis projekti alguses tuleb hoolega hinnata projekti klassi ning määrata vajalikud ohutustegurid, mida torustiku projekteerimisel aluseks võtta.

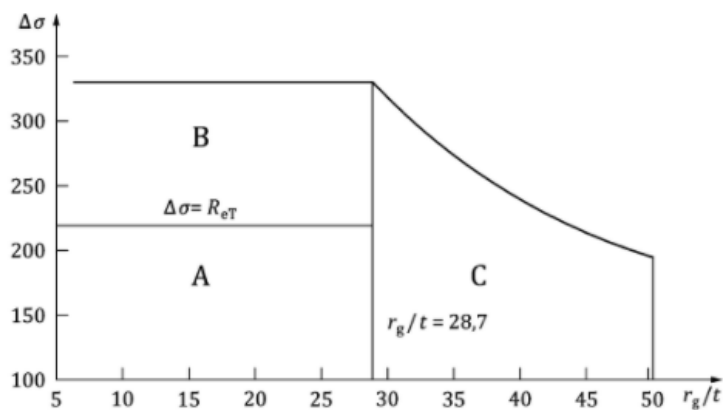
Vastavalt standardile EN 13941 on olemas kolm projektiklassi:

A – väiksemad torustikud (üldjuhul kuni DN300) – torustikus on väikesed pinged, rikke korral väike risk keskkonnale ja inimestele;

B – analoogne A-klassiga, kuid pinged torustikus on suured;

C – suured torustikud (üldjuhul üle DN300) – kõrge rõhk süsteemis, samuti keerulised süsteemid ja rikke korral suur risk keskkonnale ja inimestele.

Allpool on näidatud üldine projektiklasside graafik (joonis 6.1), kus aluseks on võetud terastoru P235GH.



Joonis 6.1. X-teljel on toru raadiuse ja toru seina paksuse suhe; Y-teljel on pinge torustikus. A- ja B-klassi piir on terase voolavuspiir maksimaalsel temperatuuril.

Vastavalt projekti klassile kehtivad ka erinevad nõuded torustiku parameetrite arvutamiseks, ehitamiseks ja paigaldamiseks. Näiteks on üheks nõudeks läbivalgustuse (keevisliidete läbivalgustamine) maht, mis on A-klassi korral 5%, B-klassi puhul 10% ja C-klassil 20%. Projekteerimisel tuleb arvestada ka metalli väsimisest tingitud ohuteguriga sõltuvalt projekti klassist. Kõik erisused on toodud standardis EN 13941.

Projekti koostav insener saab valida projekti klassi vastavalt olukorrale ja alati on võimalik vajadusel määrata kõrgem klass (näiteks kui tegemist on DN200 torustikuga, kuid see paigaldatakse sillakonstruktsioonile, saab alati tõsta projekti kategooriat kuni klassini C, et tagada suurem ohutus).

Praegusel ajal arendatakse ka nn LTDHN-i (*Low Temperature District Heating Networks* – madalatemperatuurilised kaugküttevõrgud). Kuna soojuskandja temperatuur on seal suhteliselt madal, aitab see vähendada riske, mis on seotud süsteemi võimalike riketega (temperatuur on juba vahemikus 50-65 °C).

6.2.3 Vajalikud arvutused

Kaugkütte ja -jahutuse torustiku/süsteemi projekti koostamisel tekib alati vajadus teha mitmeid arvutusi. Sõltuvalt projektist võivad nendeks olla:

- hüdrauliline arvutus;
- torustiku tugevusarvutus;
- soojuskadude arvutus.

Hüdrauliline arvutus on vajalik torustiku õige läbimõõdu määramiseks, et oleks tagatud:

- soojuskandja ringlus süsteemis;
- vajaliku energiakoguse edastamine tarbijale;
- vajalik toiteveerõhk jne.

Kui projekt sisaldab ka soojusallikat, siis arvutus aitab valida pumpade optimaalse elektrikulu, rõhu ja läbimõõdu suhte.

Tugevusarvutuse käigus võetakse arvesse kõiki mõjusid torusüsteemile, mis on tingitud torustiku soojenemisest, omakaalust, pinnasest jne. Sõltuvalt projekti klassist on olemas ka nõuded arvutuse detailsusele. Näiteks A-projektiklassi puhul on lubatud nn käsitsi-arvutused, kasutades lihtsamaid valemeid ja nomogramme, kuid C-klassi torustiku korral tuleb viia läbi detailne arvutus, kasutades

tugevusarvutuse programme. Arvutused peavad näitama ka valitud torustiku konfiguratsiooni, mis võimaldab tagada ohutu töö kogu tööea vältel ja valida optimaalse majandus-tehnilise lahenduse.

Soojuskadude arvutamise eesmärgiks on valida soojusisolatsiooni optimaalne paksus (kui tegemist on uue torustikuga), määrata soojuskadude suurus, võrrelda vana ja planeeritava süsteemi soojuskadude erinevust jne.

6.3 Ehitamine

6.3.1 Ehitustööde planeerimine

Ehitustööde töövõtja vastutab ehitustöö eduka läbiviimise eest algusest kuni lõpuni, mistõttu on planeerimine väga tähtis osa sellest tööst.

Projektdokumentatsioon võib olla osa töövõtulepingust, kui on tegemist ehitus- ja projekteerimishankega. Aga projektdokumentatsioon võib ka ise olla eraldi projekt, mis antakse tellija poolt ehitusettevõttele üle ehitustööde läbiviimiseks.

Töövõtja peab kindlaks määrama, mis töid on vaja teha, ja vajadusel vastavalt sellele hankima alltöövõtu, milleks võib olla:

- geodeetiline teenus (torustiku mahamärkimine, teostusjooniste koostamine jne);
- projekteerija teenus;
- kaevetööde teostamine;
- teekatte taastamine (nt kõvakattega teede korral, kui sellega tegeleva firmal peab olema eriluba).

Ehitustööde planeerimisel tuleb arvestada tänavate võimaliku sulgemisega ja vastavalt sellele koostada plaan – mis aastaajal, mis nädalapäevadel on võimalik ehitustöid teha (nt koolivaheajal, puhkepäevadel jne). See plaan tuleb kindlasti kooskõlastada tee omanikuga, transpordiametiga ja muude ametkondadega.

Kui on tegemist olemasoleva torustiku rekonstrueerimisega, siis tuleb kindlaks määrata, kui palju tarbijaid on rekonstrueeritava lõigul ning kas on võimalik need pikaks ajaks välja lülitada. Samuti tuleb läbi mõelda, kuidas vajadusel tagada nende soojusvarustus (kas rajada ajutised torustikud, ajutised katlamajad jne). Kõik need tegevused on töövõtja kulu, kui ei ole kokku lepitud teisiti.

Juhul kui torustiku pinge vähendamiseks on kasutatud eelpingestuse meetodit, tuleb enne ehitustööde alustamist lahendada küsimus, kuidas ja mille abil saab teostada eelpingestamist. Näiteks suvel ei ole võrguveesi alati piisavalt soe või puudub vesi üldse, kuna katlamajas on hooldustööd. Samuti tuleb arvestada, et juhul kui paigaldatakse eelsoojendusega torustik, peab ta olema avatud kogu ehitustööde aja, mis võib pikendada tänavate sulgemist ja on täiendav rahakulu.

6.3.2 Materjalide tellimine, transport, vastuvõtt

Kõik materjalid tuleb tellida vastavalt koostatud projektile. Tellimusel tuleb kindlasti tuua välja kõik standardid, millele tellitud materjalid peavad vastama. Suurt tähelepanu peab pöörama eridetailidele ja täiendavatele nõuetele materjalide osas. Need võivad olla nt kolmikute seinapaksuste seeriad, A- või B-tüüpi terasest liitmikud jne. Ehk kui projektis on toodud erinõuded liitmikele, siis tuleb kindlasti veenduda, kas tootja valmistab neid vastavalt erinõuetele. Juhul kui projekti materjalide spetsifikatsioon on koostatud mingi konkreetse tootja kataloogi alusel, kuid need tellitakse teise tootja käest, on vaja määrata, kas tooted on sarnased ja kas projekteeritud süsteem toimib, nagu on vaja.

Transpordi käigus, peale- ja mahalaadimisel on väga tähtis jälgida, mis vahenditega seda tehakse. Troppide laiused ja vahekaugused peavad tagama, et maksimaalne rõhk väliskestale ei ületaks 0,3 MPa. Vastasel juhul vigastatakse PE/PUR isolatsiooni ja eelisoleeritud toru või liitmik ei sobi enam kasutamiseks.

Materjalide ladustamisel tuleb analoogselt transportimisega valida selline ladustamisviis, mis tagab, et rõhk PE-väliskestale ei ületaks 0,2 MPa.

Platsil materjali vastu võttes peab selle eest vastutav isik kontrollima vähemalt:

- koguse ja tüübi vastavust tellimusele;
- kas esineb transpordil tekitatud vigu;
- sertifikaatide olemasolu;
- signaaltraatide terviklikkust (nii palju kui on võimalik silma järgi hinnata).

6.3.3 Kaeviku tegemine ja montaaž

6.3.3.1 Kaeviku kaevamine

Ehitustööde käigus tuleb tagada, et torustik paigaldataks projektijärgsele kohale. Selleks peab geodeet enne kaeviku kaevamist maha märkima projekteeritava torustiku ja selle elementide asukoha

looduses. Samuti tuleb kaeviku kaevamisel hoolikalt jälgida torustiku sügavust. Arvesse on vaja võtta ka liivapadja paksust, mis tuleb rajada enne torustiku kaevisesse paigaldamist.

Tingimata peab olema kindlaks määratud ka kõigi teiste ehitustööde alal asuvate kommunikatsioonide täpne asukoht. Kaeviku kaevamisel peab olema tagatud teiste kommunikatsioonide ohutus ja terviklikkus. Samuti peab ehitustööde töövõtja arvestama pinnaseveega, ja kui see kujutab ohtu, siis kasutama abinõusid (nt pumpamine), et vältida vee kogunemist kaevikusse.

Kaeviku kaevamisel tuleb kaeviku ristlõike mõõdud valida selliselt, et oleks tagatud ohutu töö kaevikus. Igas projektis peab sisalduma joonis, mis määrab kaeviku minimaalsed mõõdud. Torustiku keevitus- ja jätkupakendite paigaldamiskohtades peab olema tagatud suurem vahe toru ja kaeviku seinaga vahel. Juhul kui pinnase koostis erineb projektis toodust, peab töövõtja kaaluma kaeviku suurendamist.

Kaeviku mõõtmete valimisel tuleb lähtuda standardist, määrustest ja seadustest.

6.3.3.2 Torustiku montaaž

Juhul kui tegemist on klassikalise eelisoleeritud terastoruga, mida käsitleb standard EVS-EN 13941, koosneb torustiku montaaž terastorude ja liitmike keevitamisest ning jätkupakendite paigaldamisest. Torustikku on lubatud monteerida nii kaeviku kaldal kui ka kaevikus. Valik tuleb langetada enne ehitustööde alustamist (või ehitustööde jooksul) sõltuvalt ruumi olemasolust, torustiku konfiguratsioonist ja muudest asjaoludest.

Montaaži jooksul tuleb lühendada torud vajaliku pikkuseni. Seejuures peab arvestama, et torude lühendamisel tuleb toru ka osaliselt isolatsioonist puhastada, et tekiks terastoru isolatsioonist vaba ots, mida on võimalik keevitada isolatsiooni vigastamata ja tagades keevituse kõrge kvaliteedi. Samuti tuleb meeles pidada, et kõik keevituskohad ja paljad terastorud oleks võimalik sulgeda jätkupakenditega ning paigaldada soojusisolatsioon.

Liitmike ja sulgeseadmete löikamine on üldjuhul keelatud ilma tootjatehase nõusolekuta.

6.3.3.3 Tagasitäide

Kaevik täidetakse uuesti kihtide kaupa, kusjuures enne ühe kihi täielikku tihendamist ei ole lubatud panna järgmist kihti. Kihtide paksus on üldjuhul kuni 150 mm käsitsi tihendamisel ja kuni 300 mm mehaanilisel tihendamisel.

Erilist tähelepanu tuleb pöörata torude all, kõrval ja peal asuvale tagasitäitele. Seda tagasitäidet nimetatakse hõõrdekihiks. Standardis EVS-EN 13941 on toodud erilised nõuded hõõrdekihile. Selle koostis on väga tähtis, kuna tagab torustiku vajaliku hõõrdumise, millest sõltub ka torustiku pikenemine ja pinge.

Tagasitäitel tuleb võtta tarvitusele abinõud, et vältida paigaldatud paisupatjade nihkumist ning liivakihi sattumist toru ja paisupatjade vahel. Selleks võib kasutada kinnituslinte või geotekstiili.

6.3.4 Torustiku katsetused

Peale torustiku ehitamist (või torustiku osa väljaehitamist) tuleb teostada torustiku katsetused. Nõuded vajalikele katsetustele on toodud standardis EVS-EN 13941.

6.3.4.1 Tihedusproov

Tihedusproov on kohustuslik iga kaugküttetorustiku puhul. Tihedusproovi saab teha suruõhuga või veega, suruõhu kasutamisel nii ülerõhuga kui ka vaakumiga. Peale vajaliku ülerõhu (või vaakumi) saavutamist tuleb visuaalselt kontrollida kõiki keevisliiteid.

6.3.4.2 Surveproov

Surveproov on valikuline ja selle vajaduse määrab ehitustööde tellija, võrgu omanik või Eesti Vabariigi seadused ja määrused. C-klassi puhul on surveproovi läbiviimine rangelt soovituslik.

Surveproovi saab kombineerida tihedusprooviga.

Kui kaugküttetorule rakendub ELi direktiiv 2014/68/EL (PED), siis tuleb lähtuda ka sellest ja sel juhul on surveproovi tegemine kohustuslik.

6.3.4.3 Tihendusproov

Juhul kui nõutakse tihedusproovi, kuid selle teostamine on raskendatud, saab tihedusproovi asendada mittepurustava kontrolliga (NDT).

Lisaks tihedus- ja surveproovidele on ette nähtud kontrollida torustiku keevisliiteid mittepurustava kontrolliga. Üldjuhul kasutatakse selleks radiograafilist kontrolli. Kokkuleppel tellija ning võrgu valdajaga saab seda teha ka ultraheli-meetodiga, kuid tuleb pidada silmas, et antud meetodit saab rakendada juhul, kui seinapaksus on kuni 8 mm.

NDT maht sõltub projekti klassist. Vajalik maht on toodud standardis EVS-EN 13941 ja see on:

- A-klassi puhul 5%;
- B-klassi puhul 10%;
- C-klassi puhul 20%.

Peale katsetamisi tuleb vormistada nõuetekohased protokollid, kus on selgelt öeldud, mida ja mis mahus kontrolliti, kes kontrollis ja kes selle vastu võttis.

6.4 Kontrollküsimused

- 1) *Kuidas jagunevad kaugküttes kasutatavad põhistaandardid ja mida need reguleerivad?*
- 2) *Milliseid torusid kasutatakse kaugküttes?*
- 3) *Millised arvutused on vaja teha kaugkütte projekti koostamisel?*
- 4) *Millistest etappidest koosneb kaugküttetorustiku ehitamine?*
- 5) *Kuidas testitakse kaugküttetorustiku töökindlust?*

7 Seadusandlus ja majandus

Soojusmajanduse korraldamise ülesanne lasub kohalikel omavalitsustel, kes kehtestavad kaugküttepiirkonnad ja teenuse pakkumise korra.

Kaugküttesektorit reguleeriva seaduse (Kaugkütteseadus) järgi on soojusettevõtja kohustus tagada võimalikult efektiivne, kindel, usaldusväärne, põhjendatud hinnaga ja keskkonnanõuetele ning tarbijate vajadustele vastav soojusvarustus.

Kaugkütteseaduse §9 kohaselt on soojusettevõtja kohustatud kooskõlastama tarbijale müüdava soojusenergia piirhinna Konkurentsiametiga.

Hinna kooskõlastamisel lähtub Konkurentsiamet eelkõige põhimõttest, et soojusenergia piirhind oleks kulupõhine ning soojuse tootmiseks ja edastamiseks tehtud kulutused oleksid põhjendatud.

Eestis on kokku umbes 230 kaugkütte võrgupiirkonda. Soojusenergia käibemaksuta piirhinnad lõpptarbijatele olid 2020. aasta juuni seisuga vahemikus 35,33–86,96 €/MWh. Üldjuhul on keskmisest kõrgema soojusenergia hinna põhjuseks kallite kütuste (põlevkiviõli ja maagaas) kasutamine ning kaugküttevõrgu halb tehniline olukord.

Piirkondades, kus on kasutusel koostootmine taastuvkütuste baasil, jäävad soojuse käibemaksuta piirhinnad lõpptarbijatele vahemikku 45–55 EUR/MWh.

Soojuse keskmine indikatiivne käibemaksuta hind lõpptarbijale kaugküttevõrkudes, kus põhikütuseks on maagaas, on 50–65 EUR/MWh, ja kui põhikütuseks on kütteõli, siis 70–85 EUR/MWh.

7.1 Kaugküttepiirkond ja võrgupiirkond

7.1.1 Kaugküttepiirkond

Kaugküttepiirkond on üldplaneeringus kindlaks määratud maa-ala, millel asuvate tarbijapaigaldiste soojusega varustamiseks kasutatakse kaugkütet, et tagada kindel, usaldusväärne, efektiivne, põhjendatud hinnaga ning keskkonnanõuetele ja tarbijate vajadustele vastav soojusvarustus.

Õigus määrata kaugküttepiirkond oma haldusterritooriumi piires on kohaliku omavalitsuse volikogul. Kaugküttepiirkonna kehtestamine on võimalik lahendus (volikogu ei ole kohustatud seda tegema), mille vajadus peab olema analüüsitud ja põhjendatud.

Kaugküttepiirkond sätestab teenusele monopoolse seisundi – tarbija on kohustatud kasutama kaugkütet. Kaugküttepiirkonna määramisel tiheasustusega uusehitisteks planeeritaval maa-alal on võrguga liitumine kohustuslik kõigile kaugküttepiirkonnas asuvatele isikutele, kui kohaliku omavalitsuse volikogu ei näe ette teisiti.

Isikud, kes kaugküttepiirkonna määramise ajal ei kasuta kaugkütet, ei ole kohustatud võrguga liituma.

Kaugküttepiirkonnas tohib võrguga ühendatud tarbijapaigaldise võrgust eraldada ja ehitatava või rekonstrueeritava ehitise soojusega varustamisel kasutada muud viisi kui kaugküte, ainult kohaliku omavalitsuse volikogu määratud tingimustel ja korras.

Kaugküttepiirkonnas võivad tarbijad lisaks kaugküttevõrgust saadavale soojusele toota soojust ise või osta kütusevabadest ja taastuvatest allikatest muundatud soojusenergiat (näiteks päikese-, tuule- ja hüdroenergia) selle tootjatelt.

Oluline on märkida, et kui kohaliku omavalitsuse poolt on määratud kaugküttepiirkond, siis peavad olema määratud ka selle piirid, võrguga liitumise ja võrgust eraldumise tingimused ning kord, kaugkütte üldised kvaliteedinõuded, soojusettevõtja arenduskohustus ja tingimuste, nõuete ning korra kehtima hakkamise aeg.

Tingimused, nõuded ja kord tuleb enne nende kehtestamist kooskõlastada kaugküttepiirkonnas tegutsevate soojusettevõtjatega.

7.1.2 Võrgupiirkond

Võrgupiirkond on maa-ala, kus asub ja kus arendatakse ühe võrguettevõtja omandis või valduses olevat võrku. Võrgupiirkondi võib olla kaugküttepiirkonnas kas üks või mitu. Näiteks Tallinna kaugküttepiirkonnas tegelevad mitmed võrguettevõtjad (Utilitas Tallinn AS, Adven Eesti AS, Silikaat AS, TTP AS ja teised).

Võrguettevõtja peab kindlaks määrama oma võrgupiirkonna ja tagama võrkude asendiplaani ning kirjelduse kättesaadavuse kõigile huvitatud isikutele.

Võrguettevõtjal võib olla mitu võrgupiirkonda, mis koos moodustavad võrguettevõtja tegevuspiirkonna. Ühes tegevuspiirkonnas kehtib üks kaugküttega seotud hinnakiri – kui ei ole kasutusel mitmekomponendiline soojuse hinnakujundus, siis ühtne soojuse hind tarbitud soojuse koguse eest.

7.2 Soojuse müük ja hinnakujundus

Riigiti on soojuse hinnakujundus reguleeritud ja korraldatud erinevalt. Kulud soojusvarustusele võivad koosneda nii ühest komponendist (sõltudes üldjuhul tarbitud soojuse kogusest) kui ka mitmetest komponentidest (mitmekomponendiline hind).

Mitmekomponendiline hind tähendab, et soojuse tarbija maksab sõltuvalt soojussõlme võimsusele või maksimaalsele veevooluhulgale püsitasu (hinna kujunemise peamised näitajad), arve teine komponent moodustub tarbitud soojusest (kahetariifne hind) ja vajadusel on kasutusel ka kolmas komponent, mis arvestab vooluhulka ja temperatuuride vahet (kolmetariifne hind).

Mitmekomponendilise hinna rakendamisel tarbijale jaotub soojuse kulu aasta lõikes ühtlasemalt. Lisaks kasutatakse maailmas suvise soojuse ülejäägi korral hinna alandamist, et kajastada soojuse pakkumise ja nõudluse tegelikku vahekorda erinevatel aastaaegadel.

Mitmekomponendilise hinna rakendamisel tekib hoonete ehitamisel ja rekonstrueerimisel motivatsioon vähendada soojussõlme võimsust ja soojusvõrku tagastuva vee temperatuuri – tulemuseks on võrguvee väiksem vooluhulk.

Selleks tuleb kasutada lahendusi, mis toimivad aasta ringi, näiteks:

- madala soojusjuhtivusega välispiirded;
- soojustagastusega sissepuhke- ja väljatõmbeventilatsioon;
- mahutite kasutamine sooja tarbevee soojusvaheti võimsuse vähendamiseks.

Kui vaadelda meie põhjamaiseid lähiriike, siis Soome seadused kaugkütet eraldi ei reguleeri ja soojuse hinnataseme ning tariifstruktuuri üle otsustavad kaugkütteettevõtjad ise. Siiski teeb konkurentsiamet vajadusel riiklikku järelevalvet, lähtudes üldisest konkurentsiseadusest. Ka Rootsis ei reguleerita kaugküttesoojuse hinda. Taanis on hinnaregulatsioon tugev, sest kaugkütteettevõtted loetakse loomulikus monopoolses seisus olevaks ja nad ei tohi oma tegevuses kasumit taotleda. Norras, kus kaugkütte osa soojuse turust on vaid 3–4%, sätestab energiaseadus kaugküttesoojuse piirhinnaks vastavas piirkonnas müüdava elektri hinna (sh võrgutasud ja maksud).

7.2.1 Kaugkütte regulatsioon ja hinnakujundus ELi liikmesriikides

Järgnevalt anname lühiülevaate kaugkütte regulatsioonist ja hinnakujundusest Eestis ning mõnedes ELi liikmesriikides.

7.2.1.1 Eesti

Tarbija ostab soojust võrguettevõtjalt, kelle võrguga tema valduses olev tarbijapaigaldis on ühendatud.

Võrguettevõtja on kohustatud oma võrgupiirkonnas müüma kõigile võrguühendust omavatele tarbijatele soojust vastavalt võrgu tehnilistele võimalustele.

Soojuse piirhind kujuneb selliselt, et oleks tagatud:

- 1) vajalike tegevuskulude, sealhulgas soojuse tootmiseks, jaotamiseks ja müügiks tehtavate kulutuste katmine;
- 2) investeeringud tegevus- ja arenduskohustuse täitmiseks;
- 3) keskkonnanõuete täitmine;
- 4) kvaliteedi- ja ohutusnõuete täitmine;
- 5) põhjendatud tulukus.

Soojusettevõtja peab avalikustama oma võrgupiirkonnas soojuse piirhinna vähemalt üks kuu enne selle kehtima hakkamist.

Soojusettevõtja peab oma raamatupidamises pidama eraldi arvestust soojuse tootmise, jaotamise, müügi ja nende tegevustega mitteseotud tegevusalade kohta (Kaugkütteseadus).

Teadadolevalt kehtib Eesti kaugküttevõrkudes ühekomponendiline tariif. On oodata, et lähiajal muutuvad kaugkütte hinnamudelid mitmekomponendiliseks. Üleminekut mitmekomponendilisele hinnastamisele iseloomustab Eesti Jõujaamade ja Kaugkütte Ühingu (EJKÜ) poolt koostatud juhendmaterjal¹, mis annab kaugküttesettevõtetele juhiseid, kuidas leida just endale sobiv lahendus hinnakujunduseks.

7.2.1.2 Soome

Soomes on kaugküte laialt levinud – elamute ja kolmanda sektori hoonete soojusvarustusest tuleb umbes 46% kaugküttest. Kaugküttesoojuse hinna riiklik regulatsioon Soomes puudub ja tarbijatel on

¹ Mitmekomponendilise hinnastamise meetoodika kaugküttesettevõtetele. Eesti Jõujaamade ja Kaugkütte Ühing. 2019

lubatud kaasata alternatiivseid soojusallikaid, milleks viimastel aastatel on olnud põhiliselt soojuspumbad.

Kaugküttesoojuse müümisel on sageli kasutusel hinnasüsteem, mille põhilised komponendid on:

- liitumistasu;
- võimsustasu;
- energiatasu.

Liitumistasu maksab tarbija ühel korral – kaugküttevõrguga ühendamisel. Selle suurus sõltub hoone asukohast (kliimavöönd) ja lepingulisest võimsustarbest või vooluhulgast. Liitumise hetkel kasutatakse lepingulise võimsusena tavaliselt hoonele vajalikku tunnikeskmist võimsustarvet välisõhu võrdlustemperatuuridel. Lepinguline vooluhulk arvutatakse kaugkütteevee sisend- ja väljundtemperatuuri vahe järgi lepingulisele võimsusele vastaval perioodil.

Kaheosalise tariifi korral on selle komponentideks tavaliselt võimsustasu (nn püsitasu) ja energiatasu (nn muutuvtasu). Vajalikust võimsusest või vooluhulgast oleneva võimsustasuga kaetakse peamiselt soojuse tootmise ja ülekande püsikulud. Soomes võib võimsustasu moodustada 10–50% kliendi keskmistest kaugküttekuludest aasta jooksul. Soojusenergia tasu põhineb energiaühiku hinnal, mis oleneb kütusest, mida kaugküttele tootmiseks kasutatakse, ja kaugküttele muutuvkuludest.

Energiateollisus ry² koostab ja annab välja mitmesuguseid juhendmaterjale ka kaugküttesektorile. Kaugkütletariifide kohta on ilmunud soovituslik juhend K15 tariifide määramiseks võimsuse ja vooluhulga alusel (algselt 1998, praegune variant 2014). Nimetatud soovitusel kirjeldatakse soojusvõimsusel või vooluhulgal põhinevaid kaugkütletariifide määramise meetodeid. Kaugküttefirmad võivad fikseeritud tasu määramiseks kasutada ka muid kriteeriume, kuid neid nimetatud soovitusel ei käsitleta. Soovitus kirjeldab meetodeid ja nendega seotud määramiskriteeriume, mis võimaldavad määratleda kliendi tegelikule vajadusele vastavaid väärtusi. Soovituse eesmärk on pakkuda kaugküttefirmadele võimalust kasutada avatud ja läbipaistvat hinnakujundamise metoodikat.

Kuna kaugküttele hinnakujundus ei ole riiklikult ühtselt reguleeritud ja vastav juhendmaterjal on ainult soovituslik, siis on Soomes kasutusel mitmeid tariifisüsteeme, mis varieeruvad nii kaugkütteletoetuste kui tarbijagruppide lõikes.

² Energiateollisus ry on tööstusharuliit, mis ühendab energiasektoris tegutsevaid ettevõtteid (praegusel ajal üle 260 firma).

7.2.1.3 Rootsi

Rootsis on kaugküte laialt levinud, eriti elamu- (korterimajad) ja äri sektoris, kus üle 60% soojusest tuleb kaugküttest. Kokku on Rootsis umbes 500 kaugküttevõrku kogupikkusega ligi 25 tuhat km. Tarbijatele soojust müües konkureerivad kaugküttevõtted teiste soojuse tootmise võimalustega, sest kohustuslikku kaugküttega liitumist riiklikud õigusaktid ei sätesta.

Kuna kaugküttevõtted on enamasti munitsipaalomanduses, siis kehtis soojuse hinnakujunduses algselt kasumita töö põhimõte, mis oli fikseeritud kohaliku omavalitsust käsitlevas seaduses. Seoses 1996. aastal toimunud elektriturgude dereguleerimisega otsustati ka kaugkütte hinnakujundus vabastada otsesest regulatsioonist. Kuna järgnesid mitmed suured hinnatõusud munitsipaalomanduses mitteolevate firmade (nt Vattenfall ja Fortum) poolt, siis kutsus valitsus kokku spetsiaalse kaugküttekomisjoni, mis töötas aastatel 2002–2005 ja avaldas neli põhjalikku analüüsi. 2008. aastal võeti vastu kaugkütteseadus, mis samuti ei kehtestanud hinnaregulatsiooni, kuid kohustas kaugküttevõtteid avalikustama oma iga-aastase majandusbilansi koos kasumikahjumiaruandega. Kokkuleppe mittesaavutamise korral on võimalik kaasata vahendajana Rootsi energiaturu inspeksioon või Rootsi konkurentsiamet. Seega kujuneb soojuse hind müüja ja ostja vaheliste läbirääkimiste tulemusena ning tariifide kujundamise osas riiklikul tasandil ettekirjutusi ei tehta.

7.2.1.4 Taani

Taani on üks kaugküte laiemal levikuga riike Euroopas. Elamusektorist ligi 65% tarbib kaugkütet – soojusega varustatakse 1,7 mln eluaset (umbes 3,5 mln inimest). Kaugküttevõrkude kogupikkus on umbes 66 tuhat km. Kaugküttesoojust toodetakse väga paljudest energiaallikatest: puiduhakkest, õlgedest, jäätmetest, geotermalaenergiast, tuulest, päikesesoojusest, maagaasist, kütteõlist, söest ja tööstuse heitsoojusest. Seejuures toodetakse 51% soojusest taastuvallikatest.

Kaugkütteseadus võeti Taanis vastu juba 1979. aastal. Seadus tähtsustas kaugkütte osa sel määral, et viidi sisse kaugküttepiirkonnad, muutes kaugküttega liitumise kohustuslikuks uutele (alates 1982) ja olemasolevatele hoonetele (üleminek üheksa aasta jooksul) kaugküttevõrkude läheduses. Kuna soojuse tootja ja tarbija vastastikust lähedust tähtsustatakse väga, siis on paljud võrgud küllaltki väikesed ja seega on nendes sageli üks soojuse tootja.

Selle tõttu käsitletakse Taanis kaugkütet kui loomulikku monopoli, seda reguleeritakse kasumit mitte tootva ettevõtmisena ning kaugküttesoojuse müügihind ei tohi ületada soojuse tootmishinda. Seejuures on täpselt määratletud, milliseid kuluelemente on lubatud tootmishinda lülitada. Küllaltki

sageli on kaugkütteettevõtte munitsipaalomandis, lisaks on levinud kooperatiivne omand, st ettevõtte omanikeks on soojuse tarbijad ise ja vastuvõetavat soojuse hinda peetakse olulisemaks kasumi teenimisest.

Tavaliselt töötab hinnakujunduse juhendi välja Taani Kaugkütte Assotsiatsioon, mis ühendab peaaegu kõiki kaugkütteettevõtteid. Juhend kooskõlastatakse energiasektori regulaatoriga, kes reguleerib nii elektri-, maagaasi- kui ka kaugkütteturgu. Kaugküttes loetakse nii soojuse tootmist kui ka võrgutegevust monopoolses seisundis olevaks ja reguleeritakse kui kasumit mittetaotlevat. Samas ollakse seisukohal, et selline tegevusmudel ei soodusta energiasäästumeetmete kasutuselevõttu ei tootjate, edastajate ega tarbijate poolt, kuna põhieesmärk on tarbijaid rahuldav soojusvarustus madalaima võimaliku hinnaga. Tariifid koosnevad kahest tegelikele kuludele vastavast komponendist:

- püsivaks kütava pinnaühiku (m^2) kohta – 25–30% summaarsest soojuse hinnast;
- muutuv komponent (kütuse- ja muud käidukulud) – 70–75% summaarsest hinnast.

7.2.1.5 Holland

Hollandis ei ole kaugküte domineeriv soojusvarustuse variant – töötab küll umbes 400 kaugküttesüsteemi ligi 4000 km pikkuse torustikuga, kuid elamutes on kaugküte tarbijaid ainult umbes 5%. Siiski on tekkinud huvi kaugküte laialdasema kasutamise vastu. Tähelepanu väärivad kaugküte arendamisega seotud õigusliku tausta loomine. Eelnõu soojusvarustuse seaduse kehtestamiseks anti parlamenti 2003. aastal, seadus võeti vastu 2009. Diskussioonid, sh eriti kaugküte hinnaregulatsiooni osas, jätkusid ja seadus jõustus alles 1. jaanuaril 2014.

Seadusega kehtestati soojuse tootjale kohustus omada vastavat litsentsi ja viidi sisse hindade reguleerimine. Kaugküte osas keskendub seadus väiketarbijate (kuni 100 kW) kaitsmisele. Sellistele tarbijatele soojuse müümisel kehtestatakse maksimaalhind, mis võrdub samas piirkonnas maagaasist lokaalselt toodetud soojuse hinnaga. Lisaks kehtestati tasu energia mõõtmise eest – 24,54 eurot aastas. Samuti määrati liitumistasu – 911,78 eurot kõigile uutele tarbijatele, kes asuvad kaugküttevõrgust kuni 25 m kaugusel. Kui liituv objekt asub kaugemal, siis lisandub iga meetri torustiku eest 31,31 eurot. Kõik nimetatud hinnad on piirhinnad, millest madalam hinnatase on lubatud.

Kokkuvõttes saab kaugküttesoojuse tariifide võimalikest komponentidest rääkides välja tuua, et üldjuhul koosnevad tariifid vähemalt kahest osast:

- püsitasu (põhitasu), mis määratakse kas lepingulise vooluhulga või ühendusvõimsuse alusel;

- energiatasu, mida makstakse vastavalt tarbitud energiale.

Üleriigilise regulatsiooni puudumisel võivad sõltuvalt kaugkütteettevõtte hinnakujundusest lisanduda mitmesugused komponendid, näiteks:

- tasu tipuvõimsuse eest (juhul kui püsitasu arvutamise aluseks ei ole ühendusvõimsus);
- tasu (või hüvitis) sõltuvalt tagastuva vee temperatuurist.

7.2.2 Soojuse ostu korraldus Eestis

Soojuse tootja teeb soojuse tootmiseks investeeringuid ja võrguettevõtja sõlmib vastavalt vajadusele investeeringukindluse tagamiseks lepingud tähtajaga kuni 12 aastat, alates tootmiseseadmega tootmise alustamisest.

Võimaluse korral eelistatakse peamiselt taastuvatest energiaallikatest toodetud soojust või valdavalt tõhusa koostootmise režiimis taastuvatest energiaallikatest, jäätmetest (Jäätmeseaduse tähenduses), turbast või põlevkivitöötlemise uttegaasist toodetud soojust ning parimat olemasolevat keskkonnasäästlikku tehnoloogiat.

Kui tekib vajadus uute tootmisvõimsuste järele ja/või lepingute sõlmimiseks on kirjalikult soovi avaldanud mitu ettevõtjat, korraldab võrguettevõtja lepingu sõlmimiseks konkursi.

Võrguettevõtja kohustub Konkurentsiametiga eelnevalt kooskõlastama soojuse ostmise lepingute sõlmimise või uutesse tootmisvõimsustesse investeeringute tegemise ja konkursi korraldamise tingimused.

7.2.3 Mõõtmine ja mõõtesüsteemide paigaldamine

Võrguettevõtja peab tagama kõigi tema võrku sisenevate ja võrgust väljuvate soojuse koguste kindlaksmääramise, mõõteandmete kogumise ja töötlemise.

Võrguettevõtja paigaldab oma valduses olevas võrgus projektikohase soojusmõõtesüsteemi koos vajalike abivahenditega omal kulul, kui lepingus ei ole sätestatud teisiti.

Kui olemasolev soojusmõõtesüsteem tarbija juures ei vasta kehtivatele tehnilistele nõuetele, asendab võrguettevõtja selle omal kulul, kui lepingus ei ole sätestatud teisiti.

Kui tarbija soovib tarbijapaigaldise võimsust muuta, vahetab või seadistab võrguettevõtja soojusmõõtesüsteemi ja tarbimisvõimsust piiravad seadmed ning tarbija katab ümberseadistamisega seotud kulud.

7.2.4 Liitumise tasu

Eestis on võrguettevõtjal vastavalt kehtivale kaugkütteseadusele õigus võtta võrguga liitujalt põhjendatud liitumistasu. Liitumistasu arvutamisel lähtutakse sellest, et tagada konkreetseks liitumiseks vajalik:

- investeringute katmine;
- keskkonnanõuete täitmine;
- kvaliteedi- ja ohutusnõuete täitmine;
- põhjendatud tulukus.

Liitumistasu suuruse arvutab võrguettevõtja. Kui liitumise lepingujärgseid tehnilisi tingimusi muudetakse võrguettevõtja algatusel, tasub kulud võrguettevõtja. Võrguettevõtja võib võtta põhjendatud tasu soojuse tarbimise tehniliste tingimuste muutmise eest, kui see toimub tarbija algatusel.

Liitumistasu peab olema põhjendatud ja selle arvutamise meetodika läbipaistev. Põhiprintsiibiks on soojusettevõtte kulude katmine. Allpool on toodud mõned liitumistasu rakendamise võimalikud põhimõtted:

- Liitumistasu on üks soojuse hinna komponent. Sellisel juhul katavad teised tarbijad soojuse hinna kaudu uute liitujate ühendamise kulud. Selline olukord ei ole Eestis lubatud, kuna vastavalt konkurentsiseadusele ei tohi turgu valitsevat seisundit omav isik kehtestada või rakendada otseselt või kaudselt ebaõiglaseid ostu- või müügihindu. Lisaks sellele võetakse vastavalt Kaugkütteseadusele soojuse piirhinda lülitatava põhjendatud tulukuse ja põhivara kulumi arvutamisel arvesse vaid soojuse tootmiseks, müügiks ja jaotamiseks vajalikku põhivara. Põhivara hulka ei arvestata liitumistasude eest soetatud põhivara.
- Kulude katmine täies ulatuses vastavalt reaalsetele kuludele. Sellisel juhul maksab ühenduste eest liituja, kes ehitab ise ja/või katab soojusettevõtja kulud tarbija liitumiseks. Selle lahenduse probleemiks on liitumisega seotud kulude keeruline prognoosimine. Kuna ühendamine kaugküttega on võrgupiirkondades kohustuslik, siis liiga kõrged ühenduskulud võivad muuta arendusprojekti ebaotstarbekaks.

- Kaugküttevõrgu piirkonnas võib kehtestada võimsusel või tipuhetke veevooluhulgal põhineva liitumistasu, mille ühikmaksumus prognoositakse, lähtudes eelmiste aastate statistilistest andmetest. Kui on teada kaugküttevõrguga ühendatud kumulatiivsed võimsused ja nende ühendamiseks kulunud raha, siis saab arvutada ühendustariifi suuruse. Sarnane süsteem kehtib elektri liitumistasu puhul.

Eestis praegu mittekehtivate liitumiskulude tasustamise põhimõtetes on teatud eelised:

- Liitumistasude sidumine tarbimisvõimsusega võimaldab tarbijatel paremini prognoosida liitumisega seotud kulusid ja välistab olukorra, kus liiga kõrged ühenduskulud võivad muuta arendusprojekti ebaotstarbekaks.
- Seos tarbimisvõimsusega stimuleerib tarbijaid optimeerima tipukoormuse kasutamist (hoonesised akupaagid, vähem paralleeltarbimist) ja vähendab „küsime igaks juhuks rohkem võimsust“ praktikat. Tarbimisvõimsuse läbimõeldud ja analüüsitud taotlemine vähendab investeringuid (väiksem võimsus – peenemad torud) ja soojuskadusid (peenemad torud – väiksemad soojuskaod). Praegune praktika näitab, et hoonetesse installeeritud kütte ja ventilatsiooni soojusvahetite võimsused on üldjuhul oluliselt üledimensioneeritud (sageli umbes kaks korda, võrreldes reaalse tiputarbimisega).

Võib eeldada, et tulevikus liitumiskulude tasustamise kord ja põhimõtted uuenevad, toetades kaugküte arengut.

7.3 Hinnaregulatsioon ja soojuse piirhind

Soojusettevõtjad võivad müüa soojust hinnaga, mis ei ületa Konkurentsiametiga kooskõlastatud piirhinda. Vastavalt Kaugkütteseaduse §9 lõikele 1 peab Konkurentsiametiga kooskõlastama müüdava soojuse piirhinna igale võrgupiirkonnale eraldi soojusettevõtja, kes:

- müüb soojust tarbijatele;
- müüb soojust võrguettevõtjale edasimüügiks tarbijatele;
- toodab soojust elektri ja soojuse koostootmise protsessis.

Soojuse hind peab olema kulupõhine ning Konkurentsiametil on kohustus kontrollida, et ettevõtja poolt taotletav hind sisaldaks ettenähtud põhjendatud kulusid ja põhjendatud tulukust.

Kontrolli teostamise õigus ja kohustus ei tähenda, et kontrollimine piirdub vaid veendumisega selles, kas ettevõtja poolt teostatud arvutused on matemaatiliselt õiged. Tulenevalt hinna

kooskõlastamise eesmärgist on Konkurentsiametil õigus hinnata ka seda, kas müüdava soojuse hinda arvestatud komponendid on taotletud mahus vajalikud ja põhjendatud.

Soojuse piirhinna arvutamise aluseks on regulatsiooniperioodi lubatud müügitulu ($T_{lubatud}$). Soojuse piirhinna leidmiseks jagatakse lubatud müügitulu müügimahuga.

Soojuse piirhinda lülitatakse muutuvkulud, tegevuskulud, kapitalikulu ja põhjendatud tulukus. Ülevaade nendest elementides on toodud allpool.

7.3.1 Kulude eristamine

Soojusettevõtja peab oma raamatupidamises pidama eraldi arvestust soojuse tootmise, jaotamise, müügi ja nende tegevustega mitteseotud tegevusalade, st mittepõhitegevuse kohta. Teisisõnu soojusettevõtja, kes toodab soojust katlamajas ja/või ostab seda teistelt tootjatelt, peab tulude ja kulude arvestust järgmiste tegevuste osas:

- 1) soojuse tootmine;
- 2) soojuse jaotamine ja müük;
- 3) mittepõhitegevus.

Soojusettevõtja peab kulude osas eraldi välja tooma liitumistasude ja sihtfinantseeringute (nt Keskkonnainvesteeringute Keskuselt saadud toetus) kaasabil soetatud põhivara maksumuse.

Soojuse hinna arvutamise aluseks olevad kulud, nende analüüs ja põhjendamine

Soojuse hinna kooskõlastamisel võetakse aluseks regulatsiooniperioodiks³ prognoositud põhjendatud müügimaht.

Ettevõtja poolt esitatud müügimahu analüüsimisel kasutatakse alljärgnevat meetodeid:

- 1) müügimahu dünaamika (sh eelmiste perioodide müügimahud, majandusprognoosid, pikaajalises arengukavas prognoositav soojuse tarbimine jm näitajad);
- 2) tarbijate arvu dünaamika ja prognoos.

³ Regulatsiooniperiood – 12-kuuline periood, mille põhjendatud hinnakomponendid on aluseks soojuse piirhinna arvutamisel. Regulatsiooniperiood ei pea kattuma kalendriaasta ega ettevõtte majandusaastaga.

Konkurentsiamet analüüsib ettevõtjate poolt esitatavaid soojuse müügitahu prognoose, mis on aluseks soojuse hinna arvutamisel. Müügitahu prognoosimise aluseks võetakse üldjuhul viimasel kolmel aastal müüdud soojuse koguse aritmeetiline keskmine, mida korrigeeritakse juhul, kui on olemas tõestust leidnud andmed objektiivsetest asjaoludest, mis tingivad müügitahu olulise muutuse (nt oluline tarbijate lisandumine või lahkumine võrgust jms). Soojuse hinna kooskõlastamisel võetakse aluseks üksnes regulatsiooniperioodi põhjendatud kulud. Kulude jaotus on toodud joonisel 7.1.

KULUD SOOJUSE HINNA KOOSKÕLASTAMISEL		
MUUTUVKULUD	TEGEVUSKULUD	KAPITALIKULU
1) kütusekulu; 2) teistelt tootjatelt soojuse ostmise kulu; 3) keskkonnatasud; 4) muud muutuvkulud ^a	Tegevuskulud on kulud, mida ettevõtja saab mõjutada oma efektiivsema majandustegevuse kaudu.	Soojuse hinna lülitatav kulu, mis on seotud põhivara soetamisega.

^a - elektrienergia-, vee- ja kanalisatsiooniteenus, kemikaalid jm muutuva iseloomuga kulud.

Joonis 7.1. Kulude jaotus soojuse hinna kooskõlastamisel

Soojuse hinna ei lülitata alljärgnevat kulusid:

1) *Ebatõenäoliselt laekuvate nõuete kulu.* Konkurentsiamet ei aktsepteeri ebatõenäoliselt laekuvate nõuete lülitamist soojuse hinna hulka, kuna ükski korrektset arveid tasuv tarbija ei nõustu soojuse hinna kaudu kinni maksma soojusettevõtja võlgnike poolt tasumata arveid. Kui aktsepteerida ebatõenäoliselt laekuvate nõuete kulude lülitamist soojuse hinna, võtaks see ettevõtjalt motivatsiooni tegeleda võlgnikega ja senini korrektsetelt arveid tasunud tarbijad kaotaksid omakorda motivatsiooni edaspidi arveid maksta. Konkurentsiamet on seisukohal, et ebatõenäoliselt laekuvad arved tuleb sisse nõuda kohtu kaudu.

2) *Sponsorlus, kingitused ja annetused.* Need kulud on soojusettevõtja vabatahtlik valik ega taga osutatavate teenuste kõrgemat kvaliteeti, sest soojuse tootmiseks, jaotamiseks ja müügiks ei ole nimetatud kulud vajalikud.

3) *Soojuse vahendajatele makstavad tasud,* kuna tarbija ostab soojust võrguettevõtjalt, kelle võrguga tema valduses olev tarbijapaigaldis on ühendatud.

4) *Põhitegevusega mitteseotud kulud.* Soojusettevõtja põhitegevuseks on soojuse tootmine, jaotamine ja müük, mistõttu põhitegevusega mitteseotud kulud ei kuulu põhitegevusega seotud tegevuskulude hulka.

5) *Õigusaktide alusel ettevõtjale määratud trahvid ja viivised.* Need ei ole seotud soojuse tootmise, jaotamise ja müügiga, kuivõrd nende kulude tekkepõhjus on harilikult ettevõtjapoolne seaduste mittetäitmine või puudused nende järgimises. Soojusettevõtja on kohustatud temale õigusaktidega pandud kohustusi täitma, mistõttu ei ole põhjendatud seaduste mittetäitmisest tulenevate trahvide või viiviste lülitamine soojuse hinda.

6) *Finantskulud.*

7) *Erisoodustuse kulud* (näiteks kulud sportimisele, ametiauto kasutamise seotud kulud jms) ehk tööandja poolt töötaja jaoks tehtavad lisakulud (hüved) seoses töösuhtega, mis ületavad tööandjale õigusaktidega pandud kohustusi või sätestatud määrasid, ei ole vajalikud ega seotud soojuse tootmise, jaotamise ja müügiga ning ettevõtjal on võimalik valida, kas nimetatud kulusid teha või mitte. Nimetatud kulude tegemata jätmine ei põhjusta osutatavate teenuste madalamat kvaliteeti ja neil puudub seos põhitegevusega.

8) *Tulumaksukulud.* Tulumaksukulud erisoodustustelt, kingitustelt, annetustelt ja vastuvõtukuludelt, dividendidelt ja muudelt kasumieraldistelt, ettevõtlusega mitteseotud kuludelt ja muudelt ettevõtlusega mitteseotud väljamaksetelt ei ole vajalikud soojuse tootmiseks, jaotamiseks ja müügiks, mistõttu tuleb need kulud soojusettevõtjal kompenseerida tulukuse arvelt.

9) *Majandusanalüüsi käigus põhjendamatuks osutunud teised kulud.*

Üldjuhul moodustab kütuse hind enamiku soojuse piirhinnast. Kui tootmiseseadmes kasutatavat kütust või elektrienergiat on võimalik osta enam kui ühelt tarnijalt, esitab ettevõtja Konkurentsiametile konkureerivad hinnapakumised. Pakkumiste alusel lähtub ettevõtja kütuse või elektrienergia kulude arvutamisel tagatavast tarnekindlusest ja parimale pakkumisele vastavast kütuse või elektrienergia hinnast.

Kui kütuse või elektrienergia hinnale lisanduvad muud seadustest tulenevad maksud ja kohustused (nt aktsiis, taastuenergia tasu), lähtutakse vastavast seadusega kehtestatud tasumäärast.

7.3.2 Tehnilised ja muud nõuded soojuse hinna kooskõlastamisel

Aasta keskmised võrgukaod

Soojuse hinna kooskõlastamisel võetakse aluseks võrgukao tegelikud näitajad, kuid need ei tohi olla kõrgemad kui 15% tegelikest kadudest. Trassikao miinimumnõuete kehtestamise osas on arvestatud Eestis olemasolevate kaugküttetrasside keskmise trassikao määraga. Kaasaegse

tehnoloogia kasutuselevõtmisega on saavutatud Eesti efektiivsemates kaugkütte võrgupiirkondades trassikadu alla 10%, samas kui on olemas kaugküttevõrke, kus trassikadu on endiselt üle 26%.

Trassikadude tehniliste nõuete sätestamise eesmärk on motiveerida soojusettevõtjaid tegema investeeringuid kaugküttetrassidesse trassikao vähendamiseks ja kaitsta tarbijaid soojuse ebaefektiivse jaotusteenuse eest.

Soojuse tootmise kasutegur

Soojuse hinna kooskõlastamisel võetakse soojuse tootmise kasuteguri arvutamisel aluseks eelnevate perioodide tegelikud näitajad, kuid need ei või olla madalamad kui soojuse tootmise kasuteguri tehnilised nõuded (kütuse alumise kütteväärtuse alusel):

- 1) soojuse tootmisel gaasist mitte alla 90%, uutel seadmetel mitte alla 92%;
- 2) soojuse tootmisel vedelkütusest mitte alla 85%, uutel seadmetel mitte alla 90%;
- 3) soojuse tootmisel tahkekütusest mitte alla 80%, uutel seadmetel mitte alla 85%.

Konkurentsiameti ülaltoodud nõuded soojuse tootmise kasuteguri osas sõltuvad kasutatavast kütusest ja seadme vanusest, sest erinevate tehnoloogiate kasutuselevõtmisega ja erinevate kütuste põletamisega nendes seadmetes on võimalik saavutada erinev tootmise kasutegur. Kasuteguri määramisel arvestab Konkurentsiamet erinevate ekspertide hinnanguid ja oma andmebaasi statistilisi andmeid.

Tehniline eluiga

Kui seadme kasuliku tehnilise eluea pikendamise ja efektiivsuse säilitamise eesmärgil tehakse olulises mahus parendusi või remonttöid, mis on tingitud seadme ebaõigest kasutamisest, õigeaegse nõuetekohase hoolduse tegemata jätmisest või toimunud avariist seoses inimliku eksimuse või oskamatusena, siis eelnimetatud põhjustel ei arvata seadmeid uute hulgast välja enne vastava seadme tavapärase kasuliku tehnilise eluea möödumist.

Tulenevalt eksperthinnangust loetakse:

- 1) soojuse tootmisel gaasikateldega uuteks seadmed kasuliku elueaga 17–25 aastat;
- 2) soojuse tootmisel vedelkütustest uuteks seadmed kasuliku elueaga 14–20 aastat;
- 3) soojuse tootmisel puidust ja turbast uuteks seadmed kasuliku elueaga:

- restkoldega veekuulumutuskatel 16–21 aastat;

- keevkihtkoldega veekuulumutuskatel või aurukatel 22–25 aastat;

4) soojuse tootmisel põlevkivist keevkihtkoldega katlaga uuteks seadmed kasuliku elueaga 22–25 aastat.

7.3.3 Reguleeritav vara ja kapitalikulu

Kapitalikulu (põhivara kulum) eesmärk on põhivara soetamiseks tehtud kulutuste tagasiteenimine müüdava soojuse hinna kaudu põhivara kasuliku eluea vältel.

Kapitalikulu arvutamisel lähtutakse reguleeritavast varast. Kapitalikulu arvestatakse reguleeritava vara hulka arvestatud amortiseeruvalt põhivaralt.

Reguleeritava vara väärtuse leidmine on vajalik kapitalikulu ja põhjendatud tulukuse arvutamiseks.

Põhitegevusega seotud reguleeritava vara hulka arvestatakse üksnes tegelikult tehtud ja regulatsiooniperioodiks prognoositud põhjendatud investeeringud. Põhitegevuse investeeringud on teatud ajaperioodil tekkepõhiselt arvestatud põhivara soetamise, parendamise ja nendega seotud kulude kogusumma.

Reguleeritava vara hulka ei arvestata järgmist:

1) *Põhivara, mida põhitegevuses ei kasutata, ja mittepõhjendatud investeeringud.* Konkurentsiamet ei arvesta reguleeritava vara hulka mittepõhjendatud investeeringuid ja põhivara, mida ettevõtja tegelikult põhitegevuses ei kasuta seoses majandusliku otstarbekuse puudumisega. Kuna regulatsioon näeb ette reguleeritavatelt varadelt põhjendatud tulukuse arvestamist, kehtib seos, et mida suurem on reguleeritavate varade väärtus, seda suurem on põhjendatud tulukus. Võib juhtuda, et tulenevalt eesmärgist teenida oluliselt kõrgemat tulukust soovib soojusettevõtja põhivarad üle hinnata, ilma et tehtaks täiendavaid investeeringuid vara väärtuse ja/või eluea tõstmiseks.

2) *Pikaajalised finantsinvesteeringud.*

3) *Immateriaalne põhivara, välja arvatud arvutitarkvara ja programmide litsentsid.*

4) *Tagastamatu abi raames (sh sihtfinantseerimise teel) soetatud põhivara ja tarbija poolt makstud liitumistasudest soetatud põhivara.* Juhul kui reguleeritava vara hulka arvestada ka tagastamatu abi

raames soetatud vara ja tarbijate poolt makstud liitumistasudest soetatud vara, siis oleks ettevõtjal võimalik teenida õigustamatult tulu varalt, mille soetamiseks ta ise kulutusi tegema ei ole pidanud. Selline olukord oleks vastuolus kapitalikulu arvestamise eesmärgiga, milleks on vara soetamiseks tehtud kulutuste tagasiteenimine – kui ettevõtja konkreetsele varasse investeerinud ei ole, siis ei ole tal ka alust arvestada tarbijatele müüdava soojuse hinda vara soetamiseks mittetehtud kulutusi (kapitalikulu).

5) *Põhivara, mida ettevõtja tegelikult ei kasuta soojuse tootmisel, jaotamisel ja müügil.* Konkurentsiamet ei arvesta reguleeritava vara hulka mittepõhjendatud investeeringuid ega põhivara, mida ettevõtja tegelikult põhitegevuses ei kasuta seoses majandusliku otstarbekuse puudumisega.

Reguleeritava vara väärtuse leidmisel kasutatakse põhivara bilansilist jääkmaksumust regulatsiooniperioodi lõpus. Kapitalikulu leidmisel kasutatakse raamatupidamises kajastuvat kulumit, mis on arvestatud reguleeritavalt varalt.

Reguleeritav vara regulatsiooniperioodil leitakse alljärgnevalt:

$$RV = RV_r + KK, \quad (9.1)$$

kus RV – reguleeritav vara (eurodes),

RV_r – reguleeritava põhivara jääkmaksumus regulatsiooniperioodi lõpus (eurodes),

KK – käibekapital (eurodes).

Käibekapitali arvestuse aluseks võetakse 5% regulatsiooniperioodi soojuse lubatud müügitulust. Vajadusel tehakse detailne käibekapitali analüüs.

7.3.4 Põhjendatud tulukus

Põhjendatud tulukust arvutatakse reguleeritavale varale põhjendatud tulunormi rakendamise abil.

Monopoolsete ettevõtete tulunorm peab olema piiratud ja soojuse hind kujundatud selliselt, et oleks tagatud põhjendatud tulukus ettevõtja poolt investeeritud kapitalilt.

Ilma tulukuse piiramiseta tekiks turgu valitseval ettevõttel võimalus teenida tarbija arvelt ülikasumit ja tarbija peaks ilma regulaatori (antud juhul Konkurentsiamet) sekkumiseta maksma kinni turgu valitseva ettevõtte võimaliku ülikasumi, sest tarbijal puudub teenusepakkuja osas alternatiivne valik. Põhjendatud tulukus arvutatakse põhitegevuse reguleeritava vara (sh ka mitteamortiseeruv

põhivara, milleks on põhitegevuses kasutatav maa) ja põhjendatud tulunormi ehk kapitali kaalutud keskmise hinna alusel. Pikaajalises regulatsioonipraktikas on välja kujunenud, et kui ettevõtte põhjendatud tulukus ehk ärikasum ei ületa kapitali kaalutud keskmist hinda (edaspidi WACC – Weighted Average Cost of Capital), siis teenib ettevõtte ka mõistlikkuse piires kasumit. WACC on kogu intressikandva võlakapitali (laenukapitali) ja omakapitali hind, mis saadakse võla- ja omakapitali osakaalusid arvesse võttes.

WACC on seega regulaatori poolt lubatud tulunorm, mille alusel toimub eriseadustes (Kaugkütte-, Elektrituru-, Maagaasi-, Ühisveevärgi ja -kanalisatsiooni ning Postiseadus) nimetatud müüdavate teenuste/kaupade hinda lülitatava põhjendatud tulukuse arvutamine.

Aastast 2020 on WACCi rakendamisel tehtud oluline muudatus kaugküttesektori ettevõtjatele. Nimelt arvutatakse WACC eraldi soojuse tootjatele ja kaugkütte võrguettevõtjatele. Soojusettevõtjatele, kes tegelevad soojuse tootmise, jaotamise ja müügiga, rakendatakse eraldi WACCi soojuse tootmise reguleeritavale põhivarale ning soojuse jaotamise ja müügi reguleeritavale põhivarale.

Erinevuse peamisteks põhjusteks on see, et erinevalt kaugkütte võrguettevõtjast on soojuse tootjatel kütuse hinnarisk, millest tulenevalt on põhjendatud nende tegevusriski hindamine kõrgemalt kaugkütte võrguettevõtjate tegevusriskist, seega soojuse tootjatele rakendatav WACC on kõrgem.

Põhjendatud tulukus leitakse reguleeritava vara ja WACCi korrutisena.

WACC arvutatakse alljärgneva valemi 7.2 alusel.

$$WACC = k_e \times \frac{OK}{VK+OK} + k_d \times \frac{VK}{VK+OK}, \quad (9.2)$$

kus k_e – on omakapitali hind (%);

k_d – võlakapitali (nimetatakse ka laenu- või võõrkapitaliks) hind (%);

OK – regulaatori poolt määratud omakapitali osakaal (%);

VK – regulaatori poolt määratud võlakapitali osakaal (%);

$VK + OK$ – võla- ja omakapitali osakaalud kokku (%).

Võlakapitali ja omakapitali hinnad soojuse tootjatele ja soojuse võrguettevõtjatele ning WACCi arvutus eeldusel, et 50% on võlakapital ja 50% omakapital, on toodud tabelis 7.1.

Tabel 7.1. Võlakapitali ja omakapitali hinnad soojuse tootjatele ja soojuse võrguettevõtjatele

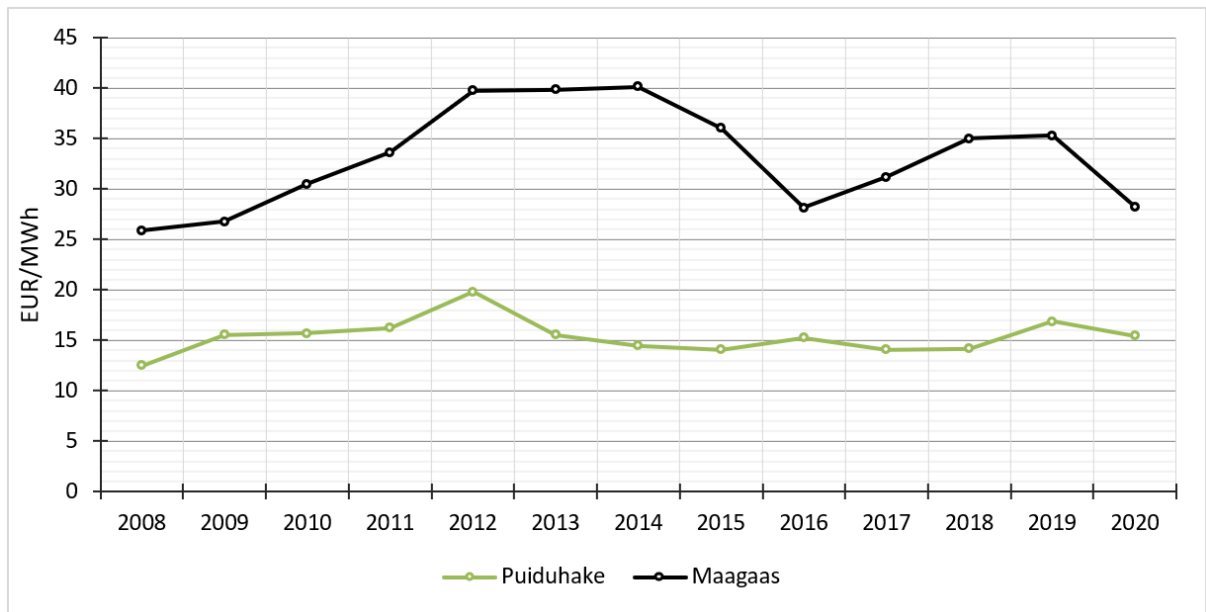
	Soojuse tootjad	Võrguettevõtjad
Võlakapitali hind (k_d)	3,65%	3,36%
Omakapitali hind (k_e)	7,86%	5,79%
WACC (eeldusel, et 50% on võlakapital ja 50% omakapital)	5,76%	4,58%

Tabelis 7.1 on esitatud näitajate väärtused, mida rakendatakse Konkurentsiameti poolt alates 01.01.2020. Võlakapitali ja omakapitali hinnad soojuse tootjatele ning soojuse võrguettevõtjatele vaadatakse üle igal aastal.

7.3.5 Soojuse hinda mõjutavad tegurid

Soojuse hinda mõjutavad mitmed tegurid ja nende kombinatsioonid. Harilikult on üks olulisematest soojuse tootmiseks kasutatava kütuse ja elektri maksumus. Kaugküttesektoris kasutatakse peamiselt hakkepuitu (baaskoormuse kateldes ja koostootmisjaamades) ning maagaasi (tavaliselt tipukoormuse kateldes).

Ka seadused ja muud õigusaktid võivad mõjutada soojuse hinda nii tõusu kui langemise suunas. Näiteks on alati risk, et saasteainete heitmete piirväärtuste karmistamine võib nõuda täiendavate suitsugaasipuhastusseadmete paigaldamist, mis omakorda võib vajada lisainvesteeringuid ja mõjutab seetõttu soojuse hinda.



Joonis 7.2. Ettevõtetes tarbitud maagaasi ja puiduhake hinnad

Kütusehindade dünaamikat iseloomustavad statistilised andmed, mis on näha joonisel 7.2. Joonise koostamise aluseks on Statistikaameti andmed ettevõtetes tarbitud kütuste maksumuste kohta.

7.4 Kordamisküsimused

- 1) Mille poolest erinevad kaugküttepiirkond ja võrgupiirkond?
- 2) Mis peab Eesti seaduse järgi olema tagatud soojuse piirhinna kujunemisel?
- 3) Millised on mitmekomponendilise soojustariifi eelised?
- 4) Kuidas jaotuvad kulud soojuse piirhinna kooskõlastamisel?
- 5) Milliseid kulusid ei võeta arvesse soojuse piirhinna kujundamisel?

Lisad

A. Praktiline info

A.1 Rahvusvahelised projektid

REWARDHeat – Renewable and Waste Heat Recovery for Competitive District Heating and Cooling Networks



Oktoober 2019 – september 2023

REWARDHeati eesmärk on edendada uue põlvkonna madalatemperatuurilisi kaugkütte- ja jahutusvõrke, mis suudavad kasutada madalatemperatuurilisi taastuenergiaallikaid ja heitsoojust.

Projekt keskendub täpsele mõõtmisele, soojuse salvestamise haldamisele, võrgu nutikale juhtimisele kui vahendile, mis võimaldab taastuenergia ja heitsoojuse kasutamist kaugkütte- ja jahutusvõrkudes. See lähenemisviis muudab väljatöötatud ärimudeleid – soojusenergiat hakatakse müüma klientidele teenusena, selle asemel et käsitleda seda kui kaupa. Lahendused töötatakse välja kaheksas näidiskohas seitsmes Euroopa riigis.

Celsius Initiative



Oktoober 2019 – september 2022

Euroopa projekt CELSIUS ühendab 72 linnast ja 68 toetusliikmest koosnevat võrgustikku eesmärgiga aidata linnadel kavandada ja arendada oma kaugkütte- ning jahutusvõrke.

See on nõudlusepõhine koostöökeskus tõhusate integreeritud kütte- ja jahutuslahenduste jaoks, mis toetab linnu nende üleminekul energiasäästlikele süsteemidele. Keskendudes linnade vajadustele, ühendab see projekti liikmeid kliima- ja keskkonnapoliitikaalase teabe vahetamiseks, innovatsiooni edendamiseks, pakkudes lahendusi, mis kiirendavad säästvat arengut Euroopas ja kogu maailmas.

Algatus jagab ka teadmisi igakuise infolehe, veebiseminaride, osalustöötubade ja Celsiuse tööriistakasti kaudu.

SecRHC-ETIP – Secretariat of the European Technology and Innovation Platform on Renewable Heating and Cooling



Detsember 2018 – november 2021

Selle projekti eesmärk oli toetada Euroopa tehnoloogia- ja innovatsiooniplatvormi sekretariaadi tööd taastuenergiat kasutava kütte ja jahutuse valdkonnas.

Sekretariaadi ülesanne on aidata RHC-ETIPi sidusrühmi innovatsioonistrateegia määratlemise ja rakendamisega seotud tegevuste koordineerimisel, et suurendada taastuvate energiaallikate kasutamist küttes ja jahutuses. Sekretariaat toetab RHC-ETIPi struktuuri, korraldades koosolekuid, üritusi ja konsultatsioone ning abistades asjakohaste dokumentide ettevalmistamisel, et tõsta taastuenergiat põhineva kütte- ja jahutussektori ning sellega seotud tehnoloogiate nähtavust ja tähtsust.

UpgradeDH



Mai 2018 – aprill 2021

Projekti UpgradeDH eesmärk oloparandada ebaefektiivsete kaugküttevõrkude toimimist Euroopas, toetades valitud näidisjuhtumite ajakohastamist ja hiljem sarnaste juhtumite kogemuste kordamist. Projekti põhitegevused hõlmasid parimate ümberehitamismeetmete ja -vahendite kogumist, valitud kaugküttevõrkude, rahastamise ja ärimudelite meetmete uuendamist ning vastavate riiklike ja piirkondlike plaanide väljatöötamist. Lisaks viidi projekti raames läbi tänapäevaste kaugküttevõrkude kohta teadlikkuse tõstmise kampaaniaid. Projekti tulemuseks oli kaugkütte uuendamisprotsessi algatamine sihtriikides ja kaugemalgi.

MAGNITUDE



Oktoober 2017 – märts 2021

Euroopa taastuvenergia, kasvuhoonegaasiheitmete ja energiatõhususe eesmärgid 2020. ja 2030. aastaks nõuavad energiasüsteemis olulisi muudatusi. Eelkõige on kasvav vajadus suurema paindlikkuse järele, et tagada elektrisüsteemi tõhus ja usaldusväärne töö.

MAGNITUDE'i eesmärk oli arendada äri- ja turumehhanisme ning toetada koordineerimisvahendeid Euroopa elektrisüsteemi paindlikkuse tagamiseks, suurendades elektri-, kütte-, jahutus- ja gaasisüsteemide sünergiaid. Projekti eesmärk oli luua ühine raamistik, tehnilised lahendused, turukujundus ja ärimudelid.

ReUseHeat



Oktoober 2017 – september 2022

ReUseHeat'i eesmärk on demonstreerida omalaadseid täiustatud, modulaarseid ja paljundatavaid süsteeme, mis võimaldavad linna piires kättesaadava heitsoojuse kasutamist. Projekti käigus viiakse

ellu, jälgitakse ja hinnatakse nelja reaalset ulatuslikku projekti, mis näitavad andmekeskuste (Brunswick), kanalisatsioonikollektorite (Nizza), haigla jahutussüsteemi (Madrid) ja metroojaama (Bukarest) heitsoojuse kasutamist. Näidete põhjal kogutavad teadmised koondatakse käsiraamatusse, mis annab tulevastele investoritele uue ülevaate linna jäätmesoojuse taaskasutamise potentsiaalset kogu Euroopa Liidus.

TEMPO



Oktoober 2017 – september 2021

Tänapäevaste kaugküttevõrkude tehnilist ja majanduslikku elujõulisust takistavad aeglane üleminek energiatõhusale hoonestusele ja ebaefektiivsed ärimudelid, mis ei too kasu kõigile sidusrühmadele.

TEMPO demonstreerib madala temperatuuriga kaugkütte rakendatavust tervikliku lahenduspaketi kaudu. See hõlmab tehnoloogilisi uuendusi võrgus ja hoonetes ning digitaalsete lahenduste ja uuendusliku ärimudeli rakendamist.

COOL DH



Oktoober 2017 – september 2021

Uudsed viisid madalatemperatuuriliste soojusallikate ja soojuse ülejäägi kasutamiseks energiatõhusate hoonete kütmisel uute kaugküttelehendustega. COOL DH keskendub tehnoloogiainnovatsioonile – madalakvaliteediliste energiaallikate ja uute energiatõhusate kaugküttevõrkude kasutamisele ning madalatemperatuurilise kaugkütte kasutajate seadmetele koos kohalike taastuvate energiaallikate integreerimisega.

Planheat



Oktoober 2016 – september 2019

Planheat lõi riigiasutustele mõeldud integreeritud tööriista säästva ja vähese süsinikusaldusega soojus- ja jahutamisarengukavade väljatöötamiseks. Need strateegiad peaksid olema kohandatud kohalikele tingimustele, et saavutada kavades seatud ambitsioonikad eesmärgid. Planheati poolt välja töötatud tööriist toetab kohalikke omavalitsusi alternatiivsete vähese süsinikdioksiidiheitmega ja majanduslikult jätkusuutlike stsenaariumide valimisel, simuleerimisel ja võrdlemisel.

Heat Roadmap Europe



Märts 2016 – veebruar 2019

Heat Roadmap Europe'i eesmärk oli luua teaduslikud tõendid, mis on vajalikud Euroopa kütte ja jahutuse dekarboniseerimise toetamiseks ja selle sektori ümberkujundamiseks, ühendades teadmised kohalikest heitsoojuse tingimustest, potentsiaalsest kokkuhoiust ja energiasüsteemi analüüsist. Heat Roadmap Europe 4 eesmärk oli nii uute poliitikate väljatöötamine kui ka pinnase ettevalmistamine uuteks investeeringuteks, luues vajalike muudatustega suurema kindluse.

Solar District Heating



Jaanuar 2016 – detsember 2018

Projekti peamine lähenemisviis oli arendada, täiustada ja rakendada üheksas osalenud ELi piirkonnas arenenud poliitikat ja tugimeetmeid SDH jaoks. Kolmes sihtpiirkonnas – Tüüring (Saksamaa), Steiermark (Austria) ja Rhone-Alpes (Prantsusmaa) – tegutsesid reguleerivad piirkondlikud ametiasutused projektipartneritena, et tagada projekti tugev rakendussuutlikkus. Kuues järgmises piirkonnas Bulgaarias, Saksamaal, Itaalias, Poolas ja Rootsis olid reguleerivad asutused kaasatud toetuskirjade kaudu. Projekti tegevuste eesmärk oli investeringute otsene suunamine Solar District Heatingi projekti ja seega märkimisväärne turu laiendamine.

STORM: Self-organising Thermal Operational Resource Management



Märts 2015 – märts 2019

Projekti STORM abil arendati välja uuenduslik kaugkütte ja jahutuse (DHC) võrgu haldussüsteem, et suurendada heitsoojuse ja taastuvate energiaallikate kasutamist ning tõsta energiatõhusust linnas. Projekti partnerid töötasid iseõppivate algoritmide baasil kontrolleri, mida katsetati *STORMi* kahel demo saidil. Väljatöötatud kontrolleri võimaldab maksimeerida heitsoojuse ja taastuvate energiaallikate kasutamist kaugküttevõrkudes.

REPLACE



November 2019 – oktoober 2022

Projekt tegeleb Euroopa kütte- ja jahutussüsteemide muutmisega tõhusaks, majanduslikult tasuvaks, puhtaks ja kliimasõbralikuks. REPLACE'i eesmärk on motiveerida ja toetada üheksas riigis elavaid inimesi oma vanade küttesüsteemide asendamisel keskkonnasõbralikumate alternatiividega. Programmi kuuluvad ka lihtsad renoveerimismeetmed, mis vähendavad üldist energiatarbimist.

W.E. DISTRICT



Oktoober 2019 – märts 2023

W.E. DISTRICTi eesmärk on demonstreerida 100% fossiilivabu kütte- ja jahutuslahendusi, integreerides erinevaid taastuenergia ja jääksoojuse allikaid uutesse ja olemasolevatesse kaugkütte- ja jahutussüsteemidesse. Selleks viiakse projekti raames ellu üheksa täiustatud taastuenergia lahendust Hispaanias, Rumeenias, Poolas ja Rootsis.

D2Grids



2018–2022

Projekti nimi tuleneb ühendist '*demand driven grids*'. Tegemist on Interregi Loode-Euroopa projektiga, mida koordineerib Mijnwater Ltd. Selle eesmärk on ehitada viienda põlvkonna kaugkütte ja -jahutuse (5GDHC) võrgud üle Euroopa. Viies proovikohas – Pariisis Saclay' piirkonnas (Prantsusmaa), Bochumis (Saksamaa), Brunssumis (Madalmaad), Glasgow's ja Nottinghamis (Suurbritannias) – töötatakse välja 5GDHC võrgud.

RELaTED



RELaTED pakub detsentraliseeritud ülimaldate temperatuuride võrgulahenduse uuenduslikku kontseptsiooni, mis võib sillutada teed olemasolevate kaugküttevõrkude laiendamisele ja ajakohastamisele ning kaugkütte rajamisele arenevatel ELi turgudel.

SmiLES



SmiLES keskendub kohalike energiasüsteemide aruka salvestamise simulatsioonidele ja optimeerimisele, et parandada uuenduslike projektide mõistmist ja läbipaistvust. Ühise andme- ja teabeplatvormi loomine ning sellega seotud tulemuste tõhus levitamine aitab kaasa pädevuse arendamisele. Uurimistegevuse täienduseks on konsortsium loonud pikaajalise raamistiku, mis ületab peaprogrammi *European Energy Resilience Alliance Joint Programm* (EERA JP) piire, et laiendada ladustamise integreerimise tehnoloogiaid, ühendades teisi EERA liikmeid, sidusrühmi, energiatarnijaid ja tööstust.

THERMOS



Soojusenergia ressursside modelleerimise ja optimeerimise süsteem. THERMOS on ELi programmi Horisont 2020 raames rahastatud teadusprojekt, mis pakub energiasüsteemi täiustatud andmeid ja mudeleid kasutajasõbralikus avatud lähtekoodiga rakenduses, et muuta soojusvõrgu planeerimine kiiremaks, tõhusamaks ja tasuvamaks.

Indigo



INDIGO peamine eesmärk on tõhusama, intelligentsema ja odavama kaugjahutussüsteemi loomine, parandades süsteemi planeerimist, juhtimist ja haldamist. See hõlmab kaugjahutussüsteemi kõiki komponente ja tasemeid.

Maestri



Energia- ja ressursihaldussüsteemid andmete tõhusamaks töötlemiseks. Projekti MAESTRI eesmärk on edendada Euroopa töötleva tööstuse jätkusuutlikkust. Selleks pakutakse paindliku platvormi kujul

juhtimissüsteemi ning suunatakse ja lihtsustatakse uuendusliku lähenemisviisi, kogutõhususe raamistiku rakendamist.

sEEnergies



Projekti sEEnergies üldeesmärk on määrata ja rakendada hoonete, transpordi ja tööstuse energiatõhususe potentsiaal ning, ühendades need alt ülespoole suunatud teadmised aja- ja ruumianalüüsiga, töötada välja uuenduslik, terviklik ja teaduspõhine modelleerimisel rajanev lähenemisviis. Kuna energiasektoris toimuvad muudatused võivad mõjutada teisi sektoreid, siis on energiapoliitika mõju igakülgne hindamine ja kvantifitseerimine võimalik ainult siis, kui vaadata energiasüsteeme tervikuna ja võtta arvesse sektoritevahelist sünergiat. Sektoripõhine alt-üles-lähenemine ja võrgu hindamine koos energiasüsteemi modelleerimise ja ruumianalüütikaga on ühendatud uudes modelleerimisel põhinevas lähenemisviisis.

Re-Invest



Uuenduslik teaduspõhine ettevõtmine Euroopa 100% taastuenergiaal põhineva süsteemi suunas. Projekti RE-INVEST eesmärk on välja töötada jõulised ja kulutõhusad investeerimisstrateegiad, mis hõlbustavad tõhusat üleminekut 100% taastuenergia süsteemile Euroopas. RE-INVEST koondab 17 partnerit ülikoolidest ja energiasektorist ainulaadse ümberkujundava lähenemisviisi abil – kogu energiasüsteemi vaadeldakse tervikuna, kasutades ära soojust, elektri ja transpordi sünergiat.

4th Generation District Heating Research Centre



4DH uurimiskeskus (4DH) on ainulaadne koostöö tööstuse, ülikoolide ja avaliku sektori vahel, mis on keskendunud 4. põlvkonna kaugkütte (4GDH) tulevikupotentsiaalile kaugküttetööstuses. 4GDH süsteemid ja tehnoloogiad mängivad suurt rolli tulevastes säästlikes energiasüsteemides, hakkavad tõenäoliselt asendama fossiilkütuseid ning looma töökohti ja majanduskasvu Euroopas. Muude tulemuste hulgas on Euroopa soojusenergia tegevuskava uuringutes välja töötatud kõige kaasaegsemad teadmised energiaplaneerimise kohta, mis on praegu saadaval Euroopa küttesektori analüüsimiseks. Tulemused on näidanud, kuidas soojuse kokkuhoiu, kaugkütte ja soojuspumpade määra samaaegne suurendamine vähendab märkimisväärselt küttesektori ökoloogilist jalajälge.

EnergyPLAN



EnergyPLAN simuleerib riiklike energiasüsteemide tööd igal tunnil, sealhulgas elektri-, kütte-, jahutus-, tööstus- ja transpordisektoris. Selle on välja töötanud Taani Aalborgi ülikooli säästva energia planeerimise uurimisrühm. Mudelit kasutavad paljud teadlased, konsultatsioonifirmad ja poliitikakujundajad kogu maailmas. Mudelil on kasutajasõbralik liides, seda levitatakse vabavarana ja saadaval on mitmesuguseid koolitusi. EnergyPLANi mudelit on kasutatud sadades juhtumianalüüsi puudutavates teaduspublikatsioonides ja aruannetes.

A.2 Eesti juhtumianalüüsid

Eesti teadlased on läbi viinud uuringuid, mis põhinevad Eesti tegelikel tingimustel, pakkudes välja neljanda põlvkonna kaugküttelahendusi Eesti kaugküttevõrkude jaoks. Erinevate takistuste tõttu ei ole neid lahendusi praeguseks veel ellu viidud, kuid neid on võimalik kasutada heade näidetena Eesti kaugküttesüsteemide arendamisel tulevikus.

A. 2. 1 Modelleerimisuuring: Lahekalda

Allikas: [Energy cascade connection of a low-temperature district heating network to the return line of a high-temperature district heating network](#)

Selle uuringu eesmärk oli välja töötada meetodika ja tõestada selle sobivus olemasoleva kõrgetemperatuurilise kaugküttevõrgu integreerimise teostatavus analüüsimiseks.

Lahekalda piirkonda arendatakse 17 ha suurusel alal, kuhu ehitatakse 37 uut hoonet. Need on peamiselt kortermajad, mille esimesel korrusel on mõned äripinnad. Arenduse üldpindala on 180 000 m². Hooned vajavad soojust ruumide kütmiseks, sooja tarbevee valmistamiseks ja ventilatsiooniks. Lahekalda linnaosa soojusenergia koguvajadus on 15 MW. Joonisel 10.1 on kujutatud hoonete paigutus. Paigutuse skaala on 1:6000 ja must värv tähistab hooneid, mida köetakse kaugküttega.



Joonis 10.1. Lahekalda piirkonda planeeritud hooned

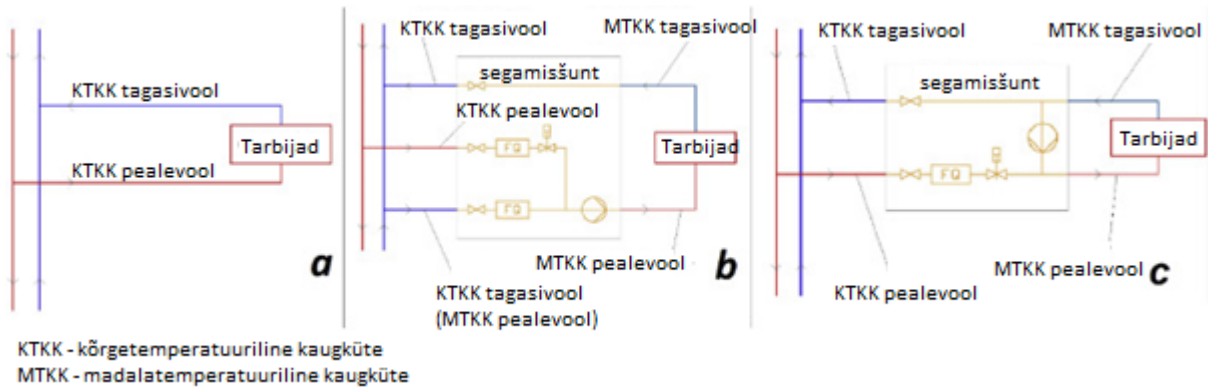
Lahekalda piirkond sobib madalatemperatuurilise kaugkütte rakendamiseks kõrgetemperatuurilise kaugküttevõrgu haru kaudu, kuna see asub olemasoleva kõrgetemperatuurilise kaugküttevõrgu piiril, samal ajal kui Lahekalda piirkonna põhjaosas asuvaid maju köetakse lokaalseid lahendusi kasutades, kuna need paiknevad väljaspool kaugküttepiirkonda.

Uue hoone ühendamiseks olemasoleva kaugküttevõrguga peab arendaja esitama liitumisavalduse kaugkütteoperaatorile. Tarbija ja kaugküttevõrgu piiriks on hoones asuv soojussõlm. Kõik hooned on ühendatud kaugküttevõrguga sõltumatu ühenduse kaudu.

Selle piirkonna jaoks on analüüsitud olemasoleva kõrgetemperatuurilise kaugküttevõrguga ühendamise kahte võimalust.

Võrdlusena on kasutatud stsenaariumi, kus Lahekalda kaugküttevõrk on ühendatud suure kaugküttevõrgu pealevoolutoruga (joonis 10.2)

- 1. stsenaarium: Lahekalda kaugküttevõrk on ühendatud suure kaugküttevõrgu tagasivoolutoruga ja kolm toru on ühendatud šundiga (joonis 10.2.b);
- 2. stsenaarium: Lahekalda kaugküttevõrk on ühendatud suure tagasivoolutoruga ja šundiga on ühendatud kaks toru (joonis 10.2.c).



Joonis 10.2. Võimalused Lahekalda piirkonna kaugküttevõrku ühendamiseks

Võrdlusstsenaarium eeldab, et madaltemperatuuriline kaugküttesüsteem on ühendatud kõrgetemperatuurilise kaugküttevõrguga soojusvaheti kaudu (joonis 10.2.a). Sellisel juhul alaneb suure kaugküttevõrgu tagasivoolu temperatuur uue piirkonna hoonete põrandakütte tõttu. Selle valiku korral on tagasivoolu temperatuur väikese kaugküttevõrgu soojusvaheti primaarringist suurde soojaveevõrku 35 °C ja pealevoolu temperatuur 65 °C.

1. stsenaarium: see valik eeldab, et suure kaugküttevõrgu tagasivoolutoru on ühendatud segamisjaamaga ja pealevoolutoru süsteemi segamisšundiga. Madaltemperatuurilise võrgu tagasivoolutoru on ühendatud suure kaugküttevõrguga (joonis 10.2.b). Väikese, madaltemperatuurilise kaugküttevõrgu temperatuurigraafik on 65 °C /35 °C.

2. stsenaariumi puhul on ühendatud segamisjaama ainult kaks suurest kaugküttevõrgust tulevat toru (joonis 10.2.c). Sellisel juhul segatakse suurest kaugküttevõrgust pärit vesi segamisjaamas madala temperatuuriga võrgu pealevooluga. Temperatuurigraafik on sama, mis eelmises stsenaariumis, 65 °C/35 °C.

Hindamise esimene samm on arvutada nende lahenduste tulemusena langenud tagasivoolutemperatuuri väärtus suures kaugküttevõrgus. Selle arvutuse jaoks saab kasutada ühe aasta kütteperioodi kohta kogutud andmeid.

Uusi piirkondi nagu Lahekalda arendatakse Tallinnas arvukalt ja seal on teoreetiliselt võimalik rakendada kaugkütte madalatemperatuurilist lahendust. Uutes piirkondades kasutatakse peamiselt põrandakütet, mis ei vaja kõrgeid temperatuure, seega võib kaugküttevõrgu pealevoolu temperatuur olla 65 °C. Madalatemperatuurilise võrgu pealevoolutemperatuur on nii esimese kui ka teise stsenaariumi korral aasta ringi 65 °C. Kui temperatuur on madalam, tekib *Legionella* bakteriga nakatumise oht. Võttes arvesse suurt hulka vanu hooneid, mis nõuavad küttesüsteemi sekundaarses vooluringis kõrgeid temperatuure (kuni 80 °C), on parim viis Tallinna kaugküttevõrgu üleminekuks neljanda põlvkonna madalatemperatuurilisele kaugküttele võtta uued lahendused kasutusele uutes ja olemasolevates piirkondades, kus saab kasutada madalatemperatuurilist kaugkütet ilma kütte- ja ventilatsioonisüsteemis erilisi muudatusi tegemata. Nii saab kogu linna viia tulevikus samm-sammult üle madalatemperatuurilisele kaugküttele.

Tuleb mainida, et Lahekalda piirkonna ühendamise mõjutab ainult võrgu ühte osa, kuna see võrgusegment (Lasnamäe – Maardu) on teiste segmentidega hüdrauliliselt ühendatud ainult suvel.

Võttes arvesse asjaolu, et teise stsenaariumi korral langeb tagasivoolutemperatuur vähem kui tavapärase ühenduse korral, ei saa seda lahendust pidada kulutõhusaks. Kasu saadakse ainult siis, kui tagasivoolutemperatuur langeb. Seetõttu on võrdlusstsenaariumiga võrreldud ainult teist varianti. Kasu edasiseks arvutamiseks võeti tagasivoolu temperatuuri erinevuseks 0,24 °C.

Aastane soojuskadu väheneb suures kaugküttevõrgus 0,18%. See on umbes 207 MWh aastas, lähtudes 2018. aasta kütteperioodist, mil kogu soojuskadu oli 115 000 MWh. Tagasivoolutemperatuuri vähendatakse 0,24 °C võrra ja see temperatuurilangus toob siis kaasa elektritootmise kasvu 400 MWh aastas ja soojuse tootmise kasvu 1015 MWh aastas. Võttes arvesse nii isolatsiooni tüüpi kui ka võrgu paigutust, tehti kindlaks, et võrdlusstsenaariumi korral on soojuskadu Lahekalda võrgus 236,1 MWh ja esimese stsenaariumi puhul 205,2 MWh.

On ilmne, et vajalike liitmike investeeringud on võrdlusstsenaariumi korral suuremad. Seda saab seletada suurema hulga U-kompensaatoritega, mida on vaja kõrgetemperatuurilise võrgupoole jaoks. Sellest tulenevalt on torustiku ja paigalduse kulud (kokku) võrdlusstsenaariumi juhul suuremad. Segamisjaama paigaldamiseks vajalikud lisakulud ja laiemad soojusvahetid suurendavad kolmetorulise energiakaskaadiga seotud kulusid. Vajalikud täiendavad investeeringud on umbes 66 000 eurot ja see on 16% rohkem kui võrdlusstsenaariumi jaoks vajalikud investeeringud.

Selle juhtumi analüüs näitab, et kirjeldatud lahenduse tasuvusaeg on lühike, umbes kaks aastat.

Muidugi pole tagasivoolutemperatuuri langus nii märkimisväärne, kuid see annab siiski positiivse

majandusliku efekti. Samuti on väga oluline, et vajalike investeeringute tegelik summa oleks üsna väike.

A.2. 2. Modelleerimisuuring: Kopli liinid

Allikas: [Small low-temperature district heating network development prospects](#)

Selles uurimistöös vaadeldakse olukorda, kus piirkonna soojusvarustuse võimaluste alternatiivseid stsenaariume analüüsitakse tehnilisest vaatepunktist ja võrreldakse majanduslike ning keskkonnaalaste näitajate abil. Uue elamurajooni arendamine Koplis koosneb kahest etapist. Arendusprotsessi esimeses etapis on plaanis ehitada 21 mitmepereelamut, millel on põrandaküte ja kogu soojukoormuseks kujuneb 1,2 MW. Arendusprotsessi teises etapis on kavas ehitada nii mitmepereelamuid kui ka ühiskondlikke hooneid kogu soojuskoormusega 4,5 MW. Antud juhtumi puhul oli arendajal mitmeid raskusi seoses kasutatavate energiaallikatega. Esialgse piirkondliku arengukava kohaselt ei ole esimesel etapil võimalust paigaldada biomassikatlamaja ega soojuspumpa. Selle asemel kaaluti kolme allkirjeldatud võimalust.

Järgmist kolme stsenaariumi on analüüsitud tehnilisest, majanduslikust ja keskkonna seisukohast.

Stsenaarium A: arenduspiirkonna uus kaugküttevõrk ühendatakse Tallinna olemasoleva kaugküttevõrguga. Selle võrgu temperatuurigraafik on 95 °C/55 °C, mis on küllaltki kõrge, kuid tüüpiline Eestile ja eriti Tallinnale.

Stsenaarium B: paigaldatakse lokaalne maagaasikatlamaja ja ehitatakse väike kõrgetemperatuuriline kaugküttevõrk, mille temperatuurigraafik on 80 °C/40 °C. Hakkepuidu kasutamine kütusena ei olnud võimalik, kuna katlamaja ehitamiseks ei olnud piisavalt vaba maad (hakkepuidu ladustamine nõuab lisaruumi) ja kohaliku omavalitsuse poolt olid kehtestatud ranged eeskirjad – projekti väljatöötamise etapis olid selles piirkonnas lubatud ainult gaasiküttega katlad.

Stsenaarium C: merevee soojuspump ja gaasiküttekatla paigaldamine. Merevee soojuspump tagaks piirkonna baaskoormuse ja katla abil kaetaks keskmine koormus ning tipukoormused. Lisaks paigaldataks madalatemperatuuriline kaugküttevõrk temperatuuriskeemiga 60 °C/35 °C.

Kui stsenaarium A realiseerub, ühendatakse uus elamurajoon olemasoleva kaugküttevõrguga. Kohalik kaugkütteoperaator Adven Eesti pakkus seda lahendust. Olemasolev kaugküttevõrk koosneb peamiselt vanast torustikust (betoonkanalites), mille keskmine vanus on 25 aastat ja soojuskadu 15%. Kaugus olemasoleva võrguni on 300 m. Eestile ja Tallinnale on tüüpiline A-stsenaariumil põhinev lahendus, uued kliendid ühendatakse olemasoleva kõrgetemperatuurilise kaugküttevõrguga enamasti

vaid sellepärast, et see on tihti kõige lihtsam ja levinum lahendus. Lisaks on arendajad ise huvitatud soojusenergia tootmise ja jaotamise jaoks allhangete korraldamisest.

Stsenaariumi B puhul eeldati, et eraldi hoonesse paigaldatakse kolm gaasikatelt koos kõigi vajalike seadmetega (korsten, vee- ja kanalisatsioonivarustus, maagaasivarustus, elektrivarustus ja sidevõrk). Paigaldatakse järgmised gaasikatlad: kaks Viessmann Vitoplex 200 gaasikatelt võimsusega 1950 kW ja väiksem, 560 kW Viessmann Vitoplex 200 katel. Suurtele kateldele paigaldatakse suitsugaaside kondensaatorid (Viessmann Vitotrans 300), samuti vee ettevalmistusseadmed ja võrgupumbad. Katlamaja mõõtmed on järgmised: pikkus 13,5 m, laius 6,6 m ja kõrgus 2,95 m. Korstna kõrgus on 13,45 m.

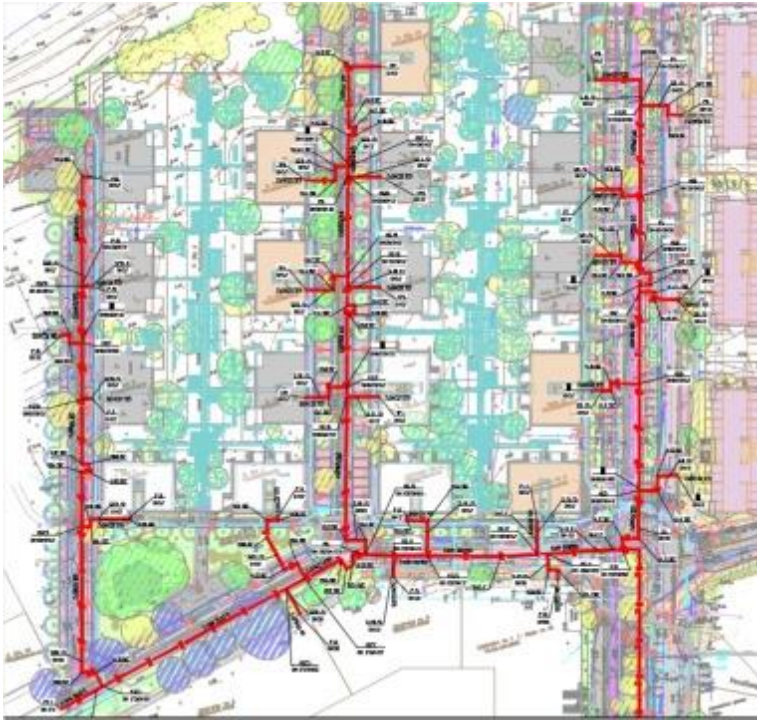
Kui realiseerub stsenaarium C, paigaldatakse nii gaasikatel kui ka suuremahuline soojuspump. Katla omadused on samad, mis stsenaariumi B puhul, kuid sel juhul paigaldatakse kaks katelt: Viessman Vitoplex võimsusega 1950 kW ja väiksem, 560 kW Viessmann Vitoplex 200 katel. Lisaks gaasiboilerile on kavas paigaldada suuremahuline kaheastmeline merevee soojuspump, mis kasutab ammoniaaki jahutusagensina avatud vahejahutiga. Soojuspump asub merest 100 m ja gaasikatlamajast 200 m kaugusel. Kaheastmeline soojuspump tagab kompressorite piisavalt madalad väljalasketemperatuurid seadmeid kahjustamata, madalama rõhu suhte ja parema jõudlusteguri (COP) kui üheastmelise tsükli korral. Ammoniaak on looduslik külmutusagens, millel puudub globaalse soojenemise ja osoonikihi kahandamise potentsiaal.

Tabel 10.1. Stsenaariumite tehnilised parameetrid

Stsenaarium	Pealevoolu/tagasivoolu temperatuur, °C	Kütus	Soojustootmise üksused	Soojuslik võimsus, MW	Kasutegur
A	95/55	Maagaas	1. etapp: vana katel	20	0,80
			2. etapp: uus lokaalne katel	2	0,86
B	80/40	Maagaas	Katel 1	2	0,89
			Katel 2	2	0,89
			Katel 3	0,6	0,90
C	60/35	Maagaas, elekter	Katel 1	2	0,91
			Katel 2	0,6	0,9
			Soojuspump	2,1	4,04

Kaugus olemasolevast kaugküttevõrgust, mille omanik on Adven Eesti, on 300 m. Kopli liinide piirkonna arendamine koosneb kahest etapist. Esimeses arendusjärgus on kavas ehitada 21 põrandaküttega mitmepereelamut. Teise arendusetapi lõpuks on plaanis püstitada 49

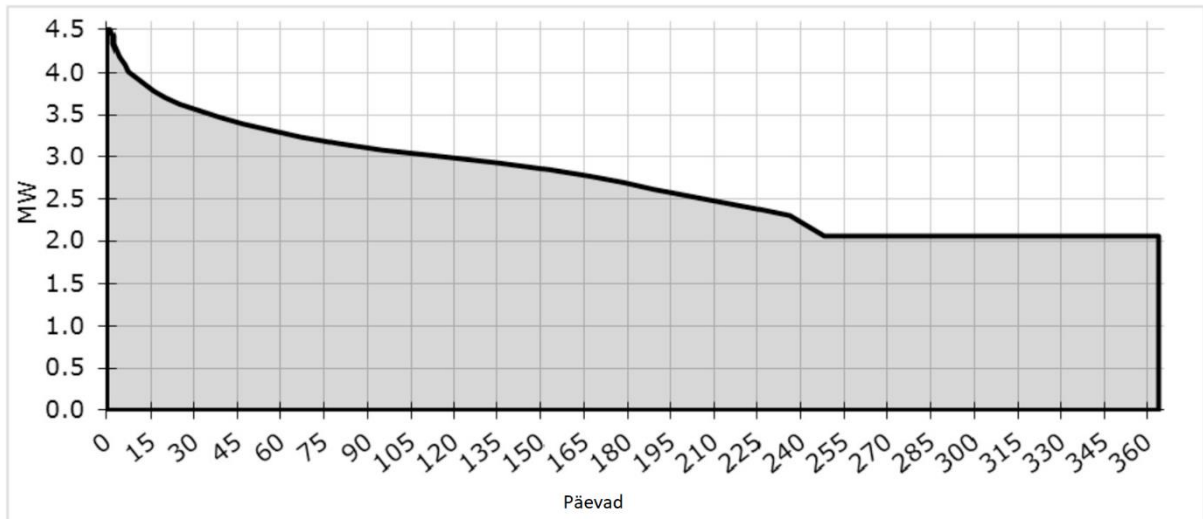
mitmepereelamut ja neli ühiskondlikku hoonet, mille soojusvajadus on kokku 4,5 MW. Piirkonna skemaatiline kaart saab näha joonisel 10.3.



Joonis 10.3. Kopli liinidel arendatava piirkonna skemaatiline kaart

Uues elamurajoonis saavad olema väga kompaktsed kahe- ja neljakorruselised korterelamud. Lisaks tulevad sinna lasteaed, kool, spordisaal ja kaubanduskeskus. Eeldati, et kõikide hoonete küttevajadus on 45 kWh/m² aastas ja sooja tarbevee vajadus 730 kWh aastas. Kõikide hoonete kütmiseks kasutatakse pörandakütet. Igasse hoonesse paigaldatakse 3000-liitrised sooja vee mahutid. Üldise soojusvajaduse arvutas välja piirkonna arendaja.

Kogu arenduspiirkonna soojusvajaduse kõver, mis põhineb normaalaasta välistemperatuuril, on toodud joonisel 10.4. Võib näha, et suvine soojuskoormus on talvisega võrreldes üsna kõrge ja moodustab peaaegu poole maksimaalsest soojuskoormusest. Selle põhjuseks on energiasäästlikud pörandaküttega hooned, mille tulemuseks on talvel väga madal ruumide küttevajadus.



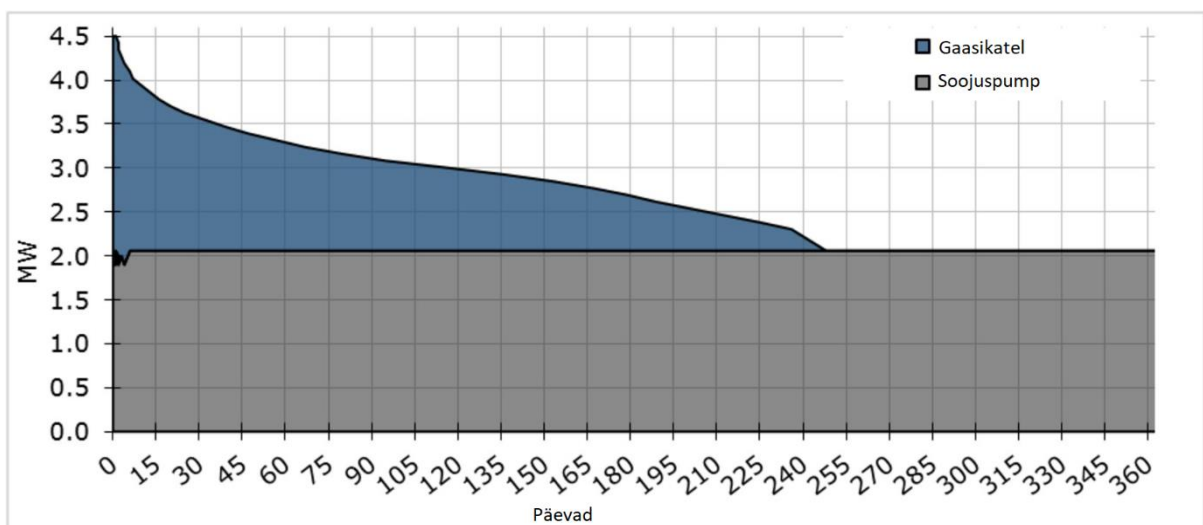
Joonis 10.4. Piirkonna soojuskoormuse graafik (stsenaarium B)

Gaasivarustuse infrastruktuur asub linnaosa lähedal (20 m olemasolevast gaasitorustikust). Soojuskadude arvutamiseks kasutatud toruparameetrid on toodud tabelis 10.2.

Tabel 10.2. Gaasitorustiku parameetrid

Sügavus	1 m
Torustiku pikkus	1. etapp: 1140 m
	2. etapp: 1166 m
Läbimõõdud	DN32/125, DN40/125, DN50/140, DN65/160, DN80/180, DN100/225, DN125/250, DN150/280, DN200/355
Isolatsioon	0,023 W/m·K – 0,025 W/m·K; 2. klass

Stsenaariumi C soojuskoormuse graafik on näidatud joonisel 10.5.



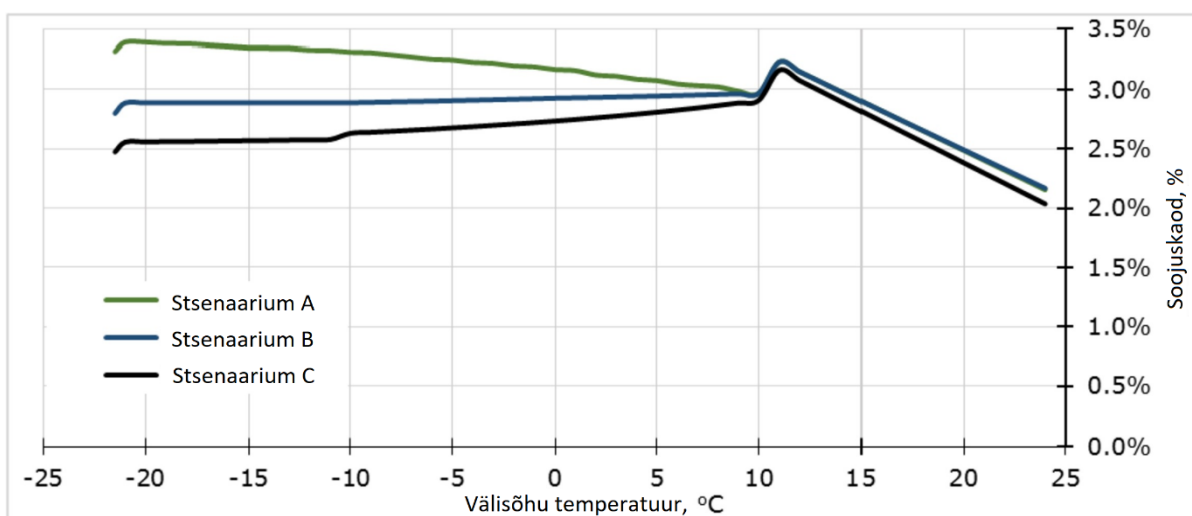
Joonis 10.5. Piirkonna soojuskoormuse graafik (stsenaarium C)

Aastane soojuskadu erinevate stsenaariumide korral on toodud tabelis 10.3. Nagu näha, on absoluutne ja suhteline soojuskadu stsenaariumi C puhul kõige väiksem ja stsenaariumi A korral kõige suurem.

Tabel 10.3. Võrgu soojuskadu kolme stsenaariumi korral

Stsenaarium	Aastane soojuskadu (MWh)	Suhteline soojuskadu
A	913	4,0%
B	762	3,5%
C	653	2,9%

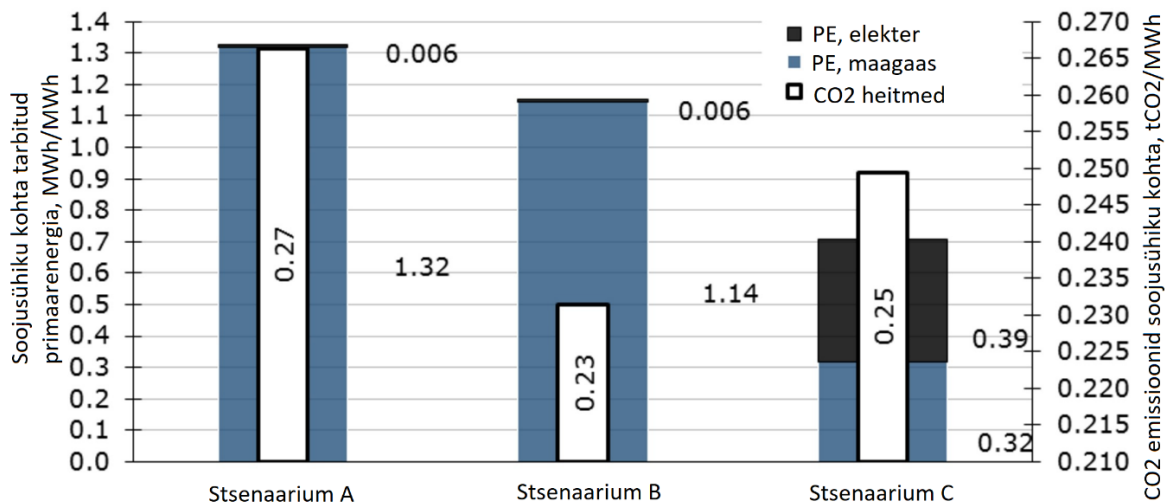
Suhtelised soojuskaod erinevate peale- ja tagasivoolutemperatuuride korral, sõltuvalt välistemperatuurist, on toodud joonisel 10.6.



Joonis 10.6. Suhtelised soojuskaod erinevate stsenaariumide korral

Suhteline soojuskadu suurenes, kui välistemperatuur oli üle 10 °C, kuna sel perioodil ei olnud vaja ruume kütta ja soojusvajadus vähenes. Kui välistemperatuur veelgi tõusis, vähenesid absoluutsed soojuskaod, kuid sooja tarbevee soojuskoormus jäi samaks.

Primaarenergia tarbimine tarbitud soojuste kohta ja CO₂ heitmed on esitatud joonisel 10.7.



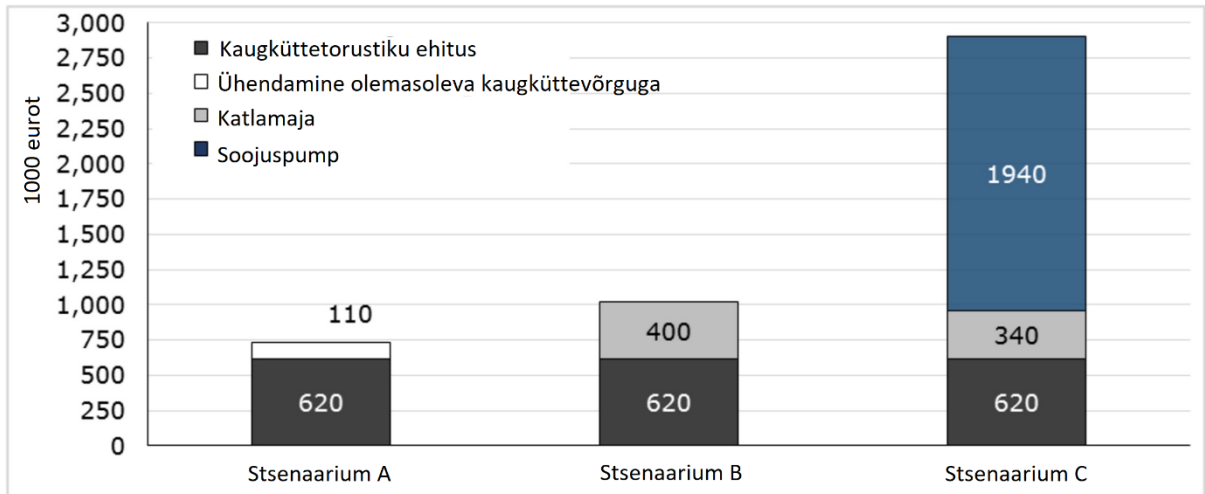
Joonis 10.7. Primaarenergia tarbimine soojuste tootmiseks ja CO₂ heitmed kolme stsenaariumi korral

Stsenaariumi A korral on kõige suurem primaarenergia tarbimine, mis on seletatav suuremate soojuskadudega väikeses kohalikus kaugküttevõrgus koos lisakadudega, kuna olemasolev katlamaja asub võrgust 2,5 km kaugusel. Lisaks on stsenaariumis A katla kasutegur madalam kui teistes stsenaariumides. Primaarenergia tarbimine soojusühiku kohta on stsenaariumi C korral palju väiksem. Maagaasist soojuste tootmiseks kulub sel juhul üle kolme korra vähem primaarenergiat. Soojuspumba elektritarbimine on täiendav primaarenergia kulu.

Suurimad süsinikdioksiidi heitkogused tarbitud soojuste ühiku kohta on stsenaariumi A korral, mis on tingitud olemasoleva kaugküttevõrgu suurest soojuskaost ja katla madalamast kasutegurist. Stsenaariumi C korral on CO₂ heitkogused samuti suured. Nagu eespool mainitud, on elektri CO₂ heitmekoeffitsient Eestis väga kõrge. Seetõttu suurendab isegi väike kogus soojuspumba jaoks kasutatavat elektrit CO₂ heidet märgatavalt. Väikseimad CO₂ heitkogused ilmnesid stsenaariumi B korral, kuna soojuskaod on väiksemad ja soojuste tootmiseks ei kasutata elektrit.

Samuti on võimalik kasutada elektritootja poolt pakutavat rohelist energia paketti, mis tähendab, et tarbitav elekter pärineks taastuvatest energiaallikatest (biomass, tuul, vesi), mitte hetkel kasutatavate allikate segust: põlevkivi, biokütused, jäätmed, tuul ja vesi. Elektritarbimise kulud oleksid sel juhul suuremad.

Investeeringukulud on näidatud joonisel 10.8.

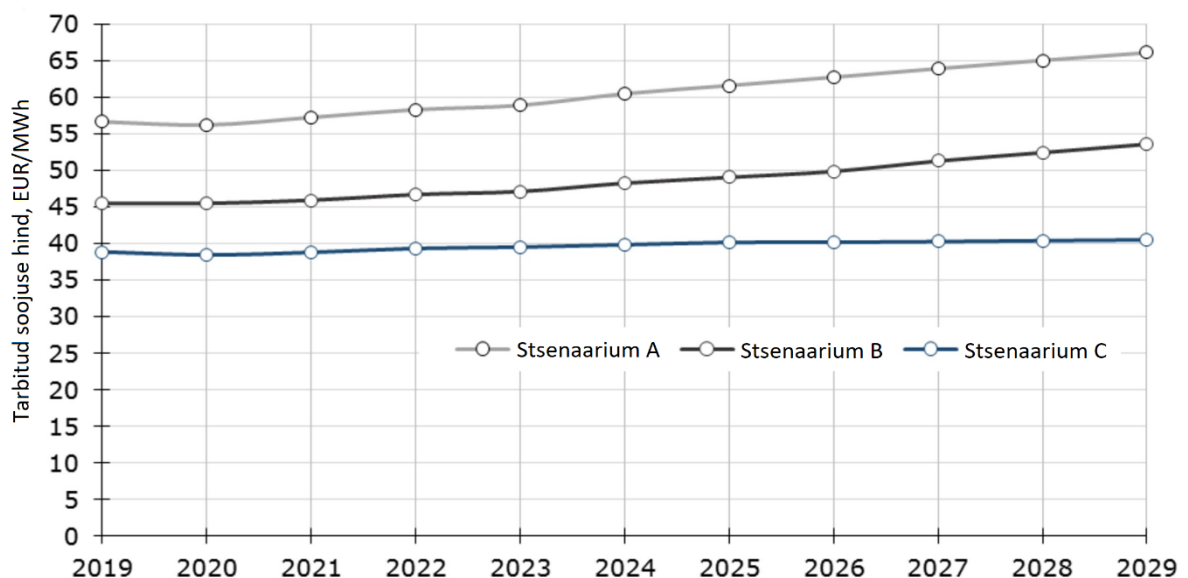


Joonis 10.8 Investeeringud erinevate stsenaariumide korral

Nagu stsenaariumist A nähtub, on suurim osa investeeringutest seotud uue kaugküttevõrgu paigaldamisega. Stsenaariumi B investeerimiskulud on suuremad, sest tuleb ehitada ka uus gaasiküttel töötav katlamaja ja ühendada see kaugküttevõrguga. Investeerimiskulud on suurimad stsenaariumi C korral, kuna soojuspumba paigaldamine nõuab palju raha.

Soojuse hinda stsenaariumi A jaoks ei arvatatud, kuna sel juhul määrab hinna Konkurentsiamet. Praegu on hind 56,65 EUR/MWh ja see suureneb tulevikus maagaasi hinnatõusu tõttu.

Stsenaariumide B ja C puhul olid 2019. aastaks arvatatud soojuse hinnad vastavalt 45,51 EUR/MWh ja 38,86 EUR/MWh. Soojuse hinda prognoosides on arvesse võetud investeerimiskulusid, nagu on esitatud joonisel 10.9. Vaatamata stsenaariumi C suurtele investeerimiskuludele on soojuse hind madalaim, kuna soojuspumbal on kõrge hooajaline efektiivsustegur ja madalad elektrikulud.



Joonis 10.9. Soojuse hinna prognoosid

Stsenaarium B pakub 100% investeeringutasuvust nelja aasta jooksul, samas kui stsenaariumi C korral kulub selleks rohkem kui viis aastat. Pikas perspektiivis toob stsenaariumi C kohaselt soojusenergia tootmine rohkem tulu, kuna üldine ressursitõhusus soojuse tootmiseks on palju suurem, samuti tõuseb gaasi hind kiiremini kui elektri hind.

Puhasväärtuseks kümne aasta pärast arvatati stsenaariumi B jaoks 1,0 miljonit eurot; stsenaariumi C korral aga 2,6 miljonit eurot. See tähendab, et stsenaarium C on kulutõhusam ja perspektiivikam kui teised stsenaariumid.

Madalatemperatuuriliste kaugküttevõrkude puudumise tõttu Eestis on uute samalaadsete projektide väljatöötamine temperatuurigraafikuga 60 °C/35 °C raskendatud järgmistel põhjustel:

- Arendajad kardavad, et sellise kogemuse puudumine Eestis toob kaasa probleeme võrgu ja tootmisüksuste töös, näiteks *Legionella pneumophila* tekkimise võimaluse. Tulevaste klientide jaoks võib jääda puudu olemasolevast võimsusest (väiksema erinevuse tõttu pealevoolu- ja tagasivoolutemperatuuri vahel).
- Olemasolevad katlamajatootjad näitavad aktiivset huvi selle vastu, et tarbijad jätkaksid kõrge temperatuuriga (80 °C või üle selle) soojust tootvate katelde kasutamist. Madalatemperatuurilised katlad on spetsiifilised ja vajavad spetsiifilisi materjale, mida pole Eesti turul üldiselt saada.
- Soojuspumpade investeerimiskulud on olemasoleva kaugküttevõrgu või kohaliku katlamajaga ühendamisega võrreldes üsna kõrged.

A.2.3. Modelleerimisuuring: suuremahuliste soojuspumpade kasutamine Tallinna kaugküttes

Allikas: [Modelling framework for integration of large-scale heat pumps in district heating using low-temperature heat sources](#)

Selle uuringu eesmärk oli välja selgitada, kuidas saab suuremahulisi soojuspumpasid tõhusalt integreerida kaugküttesse, võttes arvesse kohalikke olusid ja aastaseid erinevusi. Väljatöötatud mudelit rakendati juhtumiuuringuga, mille eesmärgiks oli leida Tallinna linnale

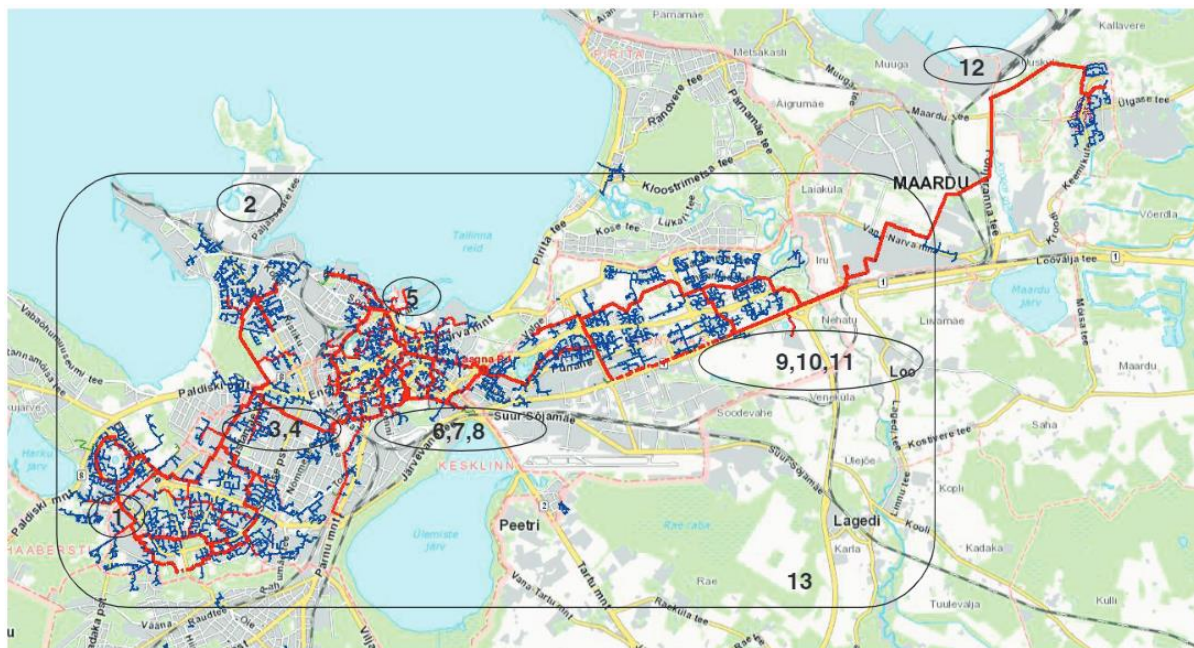
- kõige sobivamaid soojusallikaid, mida suuremahulised soojuspumbad saavad kasutada;
- soojuspumba optimaalset võimsust iga soojusallika korral;

- valitud soojuspumba optimaalset töörežiimi, et kulused minimeerida.

2017. aastal arvati Tallinnas 50% soojustarbimisest fossiilkütustevabaks, sest see põhines biomassi ja jäätmete põletamisel koostootmisjaamades. Ülejäänud soojus toodeti viie maagaasil töötava katlaga. Peale Mustamäe koostootmisjaama rajamist on mittefossiilkütuste tootmisvõimsus alates 2019. aastast 220 MW. Seetõttu võib suuremahuliste soojuspumpade rakendamine olla piiratud juba olemasolevate hiljuti paigaldatud taastuvenergia võimsuste tõttu, kuid teisest küljest võib selle tulemuseks olla odavam, tõhusam ja jätkusuutlikum soojusvarustus, võrreldes maagaasiga töötavate katelde kasutamisega. Seetõttu uuriti, kui perspektiivikas on asendada maagaasikatlad suurte soojuspumpadega. Arvutusteks kasutati 2016. aasta soojustarbimise ja tagasivoolutemperatuuri iga tunni andmeid.

Tallinna kaugküttevõrgu tipukoormus on 660 MW, kuid väga külmadel perioodidel võib see olla kuni 100 MW suurem. Baaskoormus kaeti biomassi ja jäätmeid põletavate koostootmisjaamadega. Ülejäänud soojus, mida toodeti maagaasikateldega, asendati arvutustes soojuspumpade poolt toodetud soojusega, et määrata soojuspumpade võimalik koormus. Soojuspumpade potentsiaalne soojuskoormus piirdus seega väikese võimsusega soojuspumba võimsuste korral 4500 tunniga aastas ja vähenes suurema võimsuse korral koormuse kestuse kõvera iseloomuliku kuju tõttu. Võttes arvesse soojuspumba temperatuuri piirangut, vähendati maksimaalset soojusvarustust 4000 tunnini.

Määrati erinevad asukohad, potentsiaalsed soojusallikad, läbilaskevõime piirangud ja kaugused olemasolevast kaugküttevõrgust, mida võib näha joonisel 10.10 ja tabelis 10.4 ning mida on selgitatud järgmistes punktides. Otsustati keskenduda heitsoojusele ja looduslikele soojusallikatele. Tööstuslikku jääksoojust ei arvestatud. Lisaks otsustati kasutada kommunaalettevõtte omandis olevat vara ja hooneid, et vähendada investeerimiskulusid. Veel lisati juhtum nr 13, milles käsitleti põhjavee soojuspumpa, mis asub kuni 100 m kaugusel. Eeldati, et koostootmisjaama lähedal asuvate soojuspumpade korral oleks elektri võrgutasu võimalik vältida, sest koostootmisjaam suudaks soojuspumpa elektriga otse varustada. Lisaks eeldati juhtumi nr 12 korral, et 2/3 12-kilomeetrilise ülekandetoru 30%-lisest soojuskaost on võimalik vältida, kui soojuspump paigaldada Maardu piirkonna lähedale.



Joonis 10.10. Suurte soojuspumpade võimalikud asukohad Tallinnas

Tabel 10.4. Suurte soojuspumpade võimalikud asukohad Tallinnas

Nr	Asukoht	Soojusallikas	Piirang	Kaugus olemasolevast kaugküttevõrgust (km)
1	Biomassi koostootmisjaam	Pinnavesi	2 MW	0
2	Reovee puhastusjaam	Reovesi	4000–14000 m ³ /h	2,5
3	Katlamaja	Välisõhk	10 MW	0
4	Katlamaja	Pinnavesi	1 MW	0
5	Kesklinn	Merevesi	Piiranguid pole	0,2
6	Katlamaja	Järvevesi	1200 m ³ /h	0,3
7	Katlamaja	Pinnavesi	1 MW	0
8	Katlamaja	Välisõhk	10 MW	0
9	Biomassi koostootmisjaam	Jõevesi	6000–25000 m ³ /h	0,6
10	Biomassi koostootmisjaam	Välisõhk	24 MW	0
11	Biomassi koostootmisjaam	Pinnavesi	6 MW	0
12	Maardu	Merevesi	Kohalik soojusvajadus	2,0
13	100 m olemasolevast kaugküttevõrgust	Pinnavesi	6 MW/soojuspump	0,1

Soojuspumba kavandatud temperatuurid olid pealevoolu jaoks 85 °C ja tagasivoolu jaoks 40 °C. See temperatuur vastab pealevoolutemperatuuri piirile, mis on kooskõlas kaasaegsete ammoniaagikompressorite rõhu ja temperatuuri piiridega.

Välisõhk

Välisõhu temperatuuri analüüsi, kasutades 2016. aasta tunniandmeid. Arvestades Taanis kahele suuremahulisele õhksoojuspumbale paigaldatud aurustite teadaolevaid mõõtmeid, piiras tehnoloogiat katlamajade vaba ruum (nr 3 ja nr 8). Koostootmisjaamas (nr 10) on suvel jahutuseks juba paigaldatud kuivjahutid. Eeldati, et neid saab talvel kasutada õhksoojuspumba aurustite soojusallikana, kuna need sisaldavad glükooli ja vee segu. Lisaks võeti arvesse, et 25% sellest võimsusest ei kasutata talvel jäätõrje tõttu. Olemasolevate seadmete kasutamine tooks kaasa juhtumi nr 10 investeringute kulude vähenemise, nagu on näidatud tabelis 10.6.

Põhjavesi

Eestis on põhjavee temperatuur 25–75 m sügavusel 6,5–7 °C. Uuringus on arvestatud pideva väärtusega 7 °C. Põhjavee kättesaadavuse, kasutamise ja vooluhulga kohta Tallinnas ei olnud täiendavaid üksikasju. Taani suurimate põhjavee baasil töötavate soojuspumpade võimsus on 4 MW. Selleks on vaja suurt kogust põhjavett, mida on raske ammutada ja tagastada, kahjustamata põhjavee pikaajalist stabiilsust. Sellepärast võib põhjavee soojuspumpade praktiline piir olla umbes 5–6 MW. Lisaks näitas Taanis Kopenhaagenis asuva piirkonna analüüs, et 50 m³/h vee pumpamine mõjutab põhjaveetasel ajutiselt 0,5 m võrra umbes 900 m raadiuses pubakohast. Seetõttu hinnati põhjavee soojuspumpade võimsuste piiride vahemikuks 1–6 MW, vastavalt juhtumite nr 1, 4, 7, 11 ja 13 võimalustele.

Merevesi

Merevee temperatuure mõõdab Eesti ranniku ümbruses riigi ilmteenistus. Kasutatud on 2016. aasta Pirita jaama tunniandmeid 1,5 m sügavusel. Merevee temperatuur võib olla talvel madalamatel sügavustel püsivam ja paar kraadi soojem. Tallinna lähedal on merevee sügavus aga umbes 10 m, mis tähendab, et talvel ei arvestatud suure temperatuuritõusuga. Minimaalne mõõdetud merevee temperatuur oli –0,1 °C, mis on lähedane Läänemere merevee külmumistemperatuurile, mis on hinnanguliselt –0,5 °C, kuna soolsus on 15–25‰. See piiraks kasutatava soojuse hulka, kuna aurusti sisse- ja väljalaskeava vahel peab olema soojusallika temperatuuri teatav erinevus.

Jõevesi

Pirita jõgi voolab koostootmisjaama lähedal Tallinnast ida poole (nr 9). Soojusallikat kirjeldava sisendina kasutati kuu keskmist veetemperatuuri ja minimaalset vooluhulka, mille andmed saadi riigi ilmateenistusest. Ka siin eeldati aurustist minimaalset võimalikku veetemperatuuri, mis piiraks võimaliku soojuse eraldumist väga külmadel perioodidel.

Tabel 10.5. Soojusallikate temperatuurid ja temperatuurivahed soojuspumbas

Soojusallika parameeter	Ühik	Välisõhk	Pinnavesi	Merevesi	Jõevesi	Järvevesi	Reovesi
Soojusallika temperatuur	°C	-23	7	4	4	4	7
Temperatuuride vahe	K	6	6	3	3	3	6

Järvevesi

Suurim järv Tallinna lähedal on Ülemiste järv. Ülemiste katlamaja asub 300 m kaugusel järvest. Sinna on võimalik paigaldada soojuspump, mis kasutab soojusallikana järve vett (nr 6). Järve kasutatakse Tallinna suurima joogiveehoidlana – 88% linna veevarustusest tuleb sellest järvest. Seetõttu ei ole vee temperatuuri muutused ega saastumine mingil viisil soovitav. Potentsiaalset kasutamist soojusallikana uuriti sellegipoolest, lubades järve maksimaalset jahtumist tagastatava vee mõjul 2 °K võrra. Vee maht arvutati pindala ja keskmise sügavuse põhjal ja saadi tulemuseks u 23,6 miljonit m³. Kasutati kuukeskmisi veetemperatuure, tuginedes riigi ilmateenistuse andmetest leitud sarnaste omadustega järvede andmetele, samuti võeti arvesse minimaalset veetemperatuuri. Eeldades, et soojuspumba maksimaalne töötundide arv on 2500 ja vee jahutamine 3 °K, võiks soojusallika keskmine vooluhulk olla 1200 m³/h. See piirab allika võimsust 6 MW-ni.

Reovesi

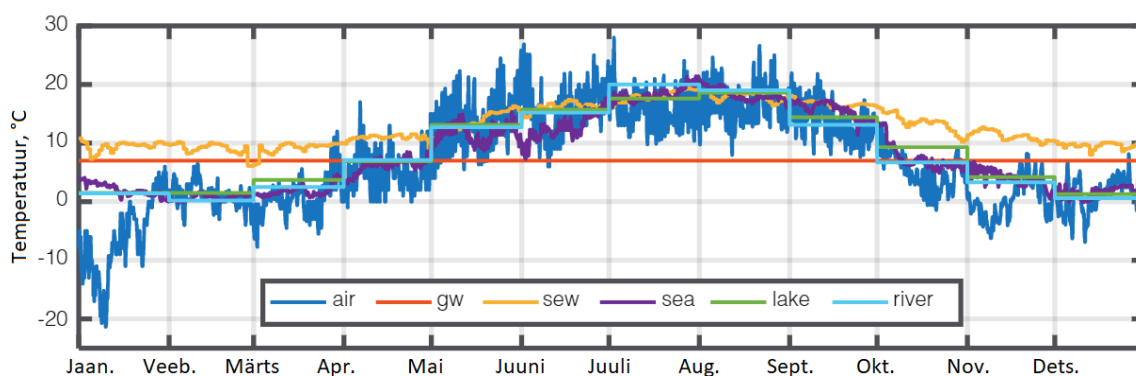
Tallinna loodeosas asub suur reoveepuhasti, mis võiks olla potentsiaalne soojusallikas soojuspumbale. Kuna reovee bioloogiline puhastusprotsess on tundlik temperatuurimuutuste suhtes, otsustati soojusallikana uurida kõigepealt puhastusprotsessi läbinud reovett enne selle merre saatmist. AS Tallinna Vesi esitas temperatuuri ja vooluhulga igapäevased andmed terve aasta kohta. Mõõdeti ainult töötlemata vee vooluhulka. Puhastatud vee puhul eeldati siiski sama vooluhulka, kuigi tegelikkuses see nii ei ole. Puhastatud vesi pumbatakse ja hoitakse eraldi puhvermahutites, seejärel pumbatakse see teise kaevu ja hiljem lastakse merre. Päevane vooluhulk jaotati tundide kaupa ühtlaselt.

Investeeringute maht iga soojusallika korral on esitatud tabelis 10.6.

Tabel 10.6. Investeeringute maht erinevate soojusallikate korral

Parameeter	Ühik	Välisõhk	Pinnavesi	Merevesi	Jõevesi	Järvevesi	Reovesi
Fikseeritud investeeringud	1000 EUR	188	505	484	484	484	484
Muutuvkulud	1000 EUR/MW	677	640	550	550	550	550
Püsivad tööshoidmise kulud	EUR/MW/a	2000	2000	2000	2000	2000	2000
Muutuvad tööshoidmise kulud	EUR/MWh	1,0	2,0	2,0	1,3	1,3	1,3

Erinevate soojusallikate temperatuurid on näidatud joonisel 10.11. Nagu võib näha, on enamiku soojusallikate, välja arvatud põhjavee, temperatuurid aasta jooksul erinevad. Talvel on kõrgeim temperatuur reoveel ja põhjaveel, järgnevad järvevesi, jõevesi ja merevesi ning kõige madalama temperatuuriga on ümbritsev õhk. Suvel on trend talvisest erinev. Olemasoleva baaskoormuse tõttu ei ole aga suvisel ajal soojuspumpadel soojuskoormust.

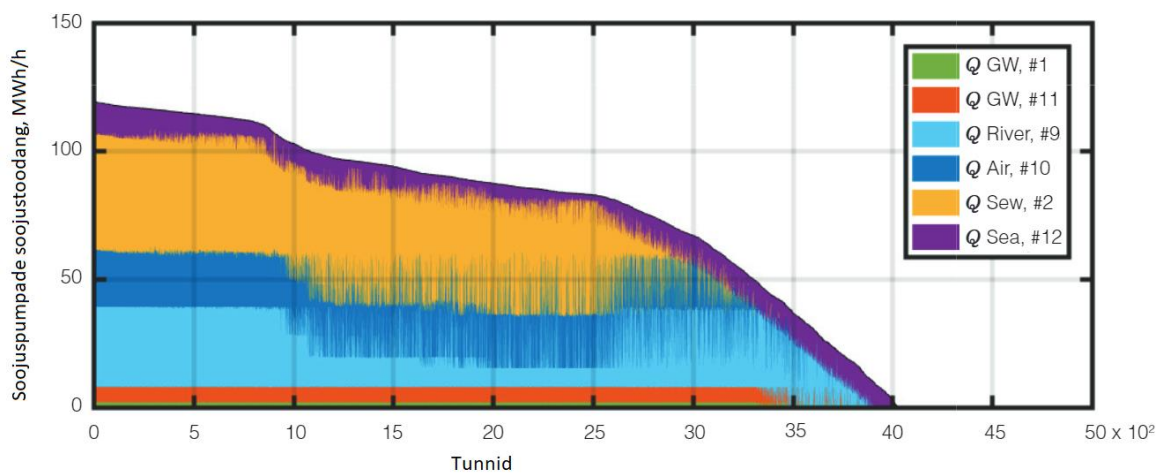


Joonis 10.11. Soojusallikate temperatuurid aasta ringi

Uuringu tulemusena selgus, et optimaalne lahendus on paigaldada Tallinna kaugküttevõrku soojuspumpad koguvõimsusega 122 MW. Paigaldatavate soojuspumpade võimsus jaguneks soojusallikate vahel järgmiselt: kanalisatsioonivesi (46 MW), jõevesi (31 MW), välisõhk (24 MW), merevesi (13 MW) ja põhjavesi (6 MW ja 2 MW).

Taani puhul on hooajaline efektiivsustegur (SCOP) 3,3, samas varieerub see vahemikus 3,0 kuni 3,4 sõltuvalt soojusallikast. Täiskoormusel töötamise aeg on keskmisel 2670 tundi, mis on väiksem kui maksimaalne potentsiaal 4000 tundi. Soojuspumpade aastane kogutoodang oleks Taani juhul 325 GWh. Võrreldes kogu Tallinna kaugkütte soojustoodanguga, oleks soojuspumpade osakaal

soojustootmises 16%, samas kui maagaasi osakaal väheneks 50%-lt 34%-le. See aga ei tähenda, et soojusvarustus muutuks jätkusuutlikumaks, mida näitab süsinikuheitme tegur. Kuna süsinikuheitme tegur on üle ühe, eraldaksid soojuspumbad maagaasikateldega võrreldes rohkem süsinikdioksiidiheitmeid. See on nii, sest Eestis oli keskmine elektrienergia CO₂ heitmekoeffitsient 2018. aastal üsna kõrge. Kui elektri CO₂ heitmekoeffitsient väheneks 0,95 tonnilt CO₂/MWh_{el} 0,7 tonnile CO₂/MWh_{el}, muutuks soojuspumpade kasutamine säästlikumaks kui maagaasikatelde kasutamine. Praegune soojuspumpade soojuskoormuse kestuse kõver on toodud joonisel 10.12. Osutub, et kaks põhjavee soojuspumpa töötasid nende madalate tegevuskulude tõttu peaaegu alati täiskoormusel. Ülejäänud 500 tunni jooksul eelistati aga soojusallikate efektiivsusteguri (COP) muutuste mõju tõttu teisi soojusallikaid. Lisaks on näha, et soojusvarustus jõeeve ja ka merevee soojuspumbaga langes märkimisväärselt 1500 tunni jooksul. Selle põhjuseks on vee madal temperatuur veebruaris ja detsembris, nagu on näidatud joonisel 10.11. Neli põhjavett (kahes asukohas), jõevett ja välisõhku kasutavat soojuspumpa on eelistatavad nende madalate eksploatatsioonikulude tõttu.



Joonis 10.12. Soojuspumpade koormuse kestuskõver

A. 3. Kaugkütet toetavad organisatsioonid

Tavaliselt on igas arenenud kaugküttega riigis keskne organisatsioon, mis esindab ja toetab kohalikke kaugkütteoperaatoreid. Tabelis on kõige aktiivsemad kaugkütteorganisatsioonid.

Riik	Logo	Organisatsiooni nimi	Organisatsiooni liikmete arv
Ühendkuningriik		The Association fo Decentralised Energy	135
Saksamaa		Arbeitsgemeinschaft für FernWärme	500
Itaalia		Associazione Italia per il Riscaldamento Urbano	61
Prantsusmaa		Amorce	950
Taani		Dansk Fjernvarme	400
Madalmaad		Energie Nederland	60
Rootsi		Energi Företagen	400
Eesti		Eesti Kaugkütte ja Jõujaamade Ühing	41
Prantsusmaa		Fédération Des Services Énergie Environment	500

Austria		Fachverband Der Gas- und Wärmeversorgungsunternehmen	400
Soome		Energiateollisuus	270
Prantsusmaa		Fédération nationale des collectivités concédantes et régies	500
Poola		Izba Gospodarcza Ciepłownictwo Polskie	22
Leedu		Lietuvos Šilumos Tiekėjų Asociacija	37
Läti		Latvijas Siltumzņēmumu Asociacija	71
Ungari		Matászsz	123
Norra		Norsk Fjernvarme	36
Sloveenia		Slovensko združenje za energetiko	100
Tšehhi		Teplárenské Sdružení České republiky	68

Tavaliselt kaitsevad need organisatsioonid kaugkütte tootjate ja operaatorite huve ametiasutuste tasandil.

Eesti kaugkütteettevõtteid esindab Eesti Jõujaamade ja Kaugkütte Ühing (EJKÜ), mis asutati 28. septembril 1995 21 ettevõtte poolt. Praegu kuulub ühingusse 41 ettevõtet.

EJKÜ eesmärk on koondada Eesti energeetikavaldkonnas tegutsevate ettevõtete kompetentse ja aktiivset osalust, et esindada ühishuve ning jagada erialast infot ja kogemusi. EJKÜ missioon on töötada energeetikavaldkonnas tegutsevate ettevõtete ühishuvide nimel.

EJKÜ on välja töötanud märgise „Tõhus kaugküte“, mis antakse tunnustuseks tõhusale ja taastuenergiat või koostoodetud soojusel põhinevale kaugküttesüsteemile. Tõhus kaugküte on ametlikult defineeritud Euroopa Parlamendi ja Nõukogu direktiivis 2012/27/EL ning definitsiooni kohaselt on tõhus selline kaugküte- või kaugjahutussüsteem, mis kasutab vähemalt 50% taastuenergiat, 50% heitsoojust, 75% koostoodetud soojust või 50% sellise energia ja soojuse kombinatsiooni. Eestis on tõhusa kaugküte märgisega tunnustatud 94 kaugküttevõrku.



Joonis 9.3. Tõhusa kaugküte märgis (allikas: EJKÜ)

Lisaks on olemas ka rahvusvahelisi kaugkütteorganisatsioone, näiteks Euroheat & Power, International Energy Agency District Heating and Cooling (IEA DHC) ja International District Energy Agency (IDEA).

Euroheat & Power

Euroheat & Power on rahvusvaheline kaugkütteorganisatsioonide võrgustik, mis edendab säästvat kütmist ja jahutamist Euroopas ja mujal. Liikmed tegutsevad enam kui kolmekümnes riigis üle maailma ja nende hulka kuuluvad riiklikud kaugküte ja -jahutuse ühendused, kaugküte energiasüsteemide haldajad, tööstuste ühendused ja ettevõtted, tootjad, ülikoolid, uurimisinstituudid ja selles sektoris tegutsevad konsultatsioonifirmad.

B. Ulesanded

Eesti energiabilanss: Sankey diagramm

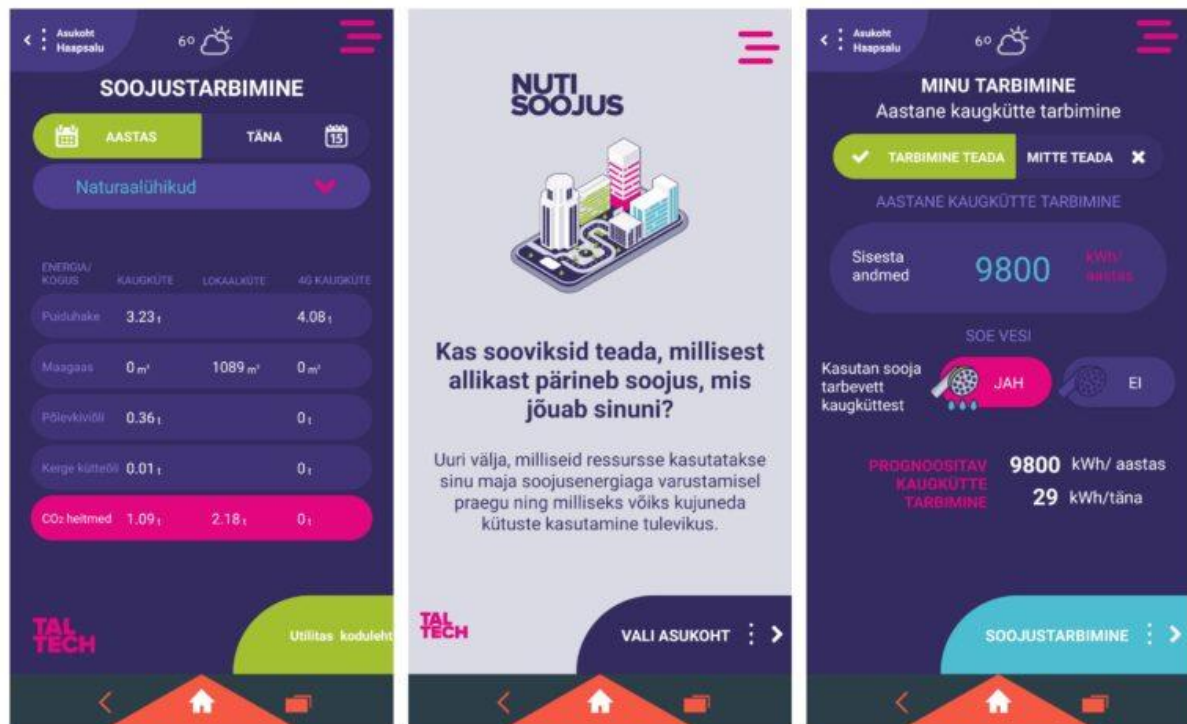
Sankey diagramm on graafiline illustratsioon voogudest. Kujutatavateks voogudeks võivad olla näiteks energia, materjalid või raha. Diagrammil saab voogusid kombineerida, jagada ja jälgida sündmuste või etappide kaupa. Iga voo laius tähistab materjali või energia hulka voos. Sankey diagrammid, mida tavaliselt kasutatakse protsessidevaheliste energiaülekannete visualiseerimiseks, on nime saanud iirlase Matthew Sankey järgi, kes kasutas seda tüüpi diagramme aurumasina efektiivsust kirjeldavates väljaannetes 1898. aastal.

Sankey diagrammid sobivad ideaalselt energiabilansside visuaalseks esitamiseks, kuna energiabilanss näitab erinevate energiatoorainete (kütused, soojus, elekter ja teised turustatavad energiakandjad) osa ja voogu majanduse erinevates sektorites (tarnimine, muundamine ja tarbimine) energiaühikutes. Sankey diagramm annab visuaalse ülevaate energiabilansist, mida enamasti esitatakse tabelina.

Palun kasutage [Sankey](#) diagrammi, et määratleda, millist tüüpi energiat kasutati kodumajapidamistes enamasti 2005. aastal ja millist 2019. aastal.

Milliseid allikaid kasutati soojuse ja elektri koostootmises aastal 2005, milliseid aastal 2019?

NutiSoojus



Tallinna Tehnikaülikooli (TalTech) Energiatehnoloogia Instituudi teadlased on välja töötanud kasutajasõbraliku mobiilirakenduse [NutiSoojus](#). Rakenduse eesmärk on teha info soojusenergia saadavuse ja kasutamise kohta kortermajade elanikele lihtsasti kättesaadavaks ning edendada jätkusuutliku kaugkütte rakendamist riiklikul tasandil.

1. Vali oma asukoht automaatselt või proovi mõnda muud asukohta.
2. Sisesta oma korteri aastane tarbimine – selle leiad arvetelt või võid valida oma hoone energiaklassi ja piirkonna järgi.
3. Milline on kütusekulu tänase päeva kohta? Milline kogu aasta kohta? Võrdle tarbimist lokaalse küttega (maagaasil põhinev). Millised on tulemused neljanda põlvkonna kaugkütte korral?
4. Vali teine linn ja võrdle tulemusi. Miks on tulemused erinevad?

GIS-kaart

[GIS kaardi](#) ja vastava andmekogumi lõi Tallinna Tehnikaülikooli (TalTech) Energiatehnoloogia Instituut. Kaardi loomiseks koguti ja analüüsiti teavet 184 Eesti, 111 Läti ja 56 Leedu kaugküttepiirkonna kohta. Lisaks koguti ja analüüsiti teavet 174 Eesti, 106 Läti ja 99 Leedu potentsiaalse kõrgetemperatuurilise soojusallika kohta, mis sobivad kasutamiseks kaugküttes suurte soojuspumpade abil (tööstuslik heitsoojus ja suitsugaaside soojus). Lisaks sellele võeti arvesse ka merevett, järvi, jõgesid ja reoveepuhastusjaamu tsentraalsete soojuspumpade madalatemperatuuriliste soojusallikatena. Ruumianalüüsi abil tuvastati olemasolevates kaugküttepiirkondades ja nende lähedal asuvad soojusallikad. Kaugküttepiirkondades asuvate tööstuslike heitsoojusallikate praktiline potentsiaal oli hinnanguliselt 2601 GWh, 394 GWh ja 436 GWh vastavalt Eestis, Lätis ja Leedus. Kuni 1 km kaugusel oli potentsiaal vastavalt 322 GWh, 110 GWh ja 1730 GWh. Katlamajade ning soojuse ja elektri koostootmisjaamade jaoks oli potentsiaal kaugküttepiirkondades Eestis 445 GWh, Lätis 901 GWh ja Leedus 413 GWh. Analüüsi raames uuriti 13 tööstussektorit Balti riikides, lisaks moodustati eraldi rühm nendele tööstustele, mis ei sobinud ühtegi eelnevalt määratud sektorisse. Kõikide tööstussektorite puhul hinnati heitsoojuse kasutamise potentsiaali eraldi.

Analüüsi Viljandi kaugküttepiirkonda. Milliseid madalatemperatuurilisi allikaid leidub Viljandis? Milliseid kõrgetemperatuurilisi soojusallikaid saab selle regiooni jaoks kasutada? Võrdle teiste Balti riikide linnade ja piirkondadega.

Hotmapsi tarkvara

[Hotmaps](#) pakub avatud lähtekoodiga veebitarkvara, mis toetab energiasektori planeerimisprotsesse kohalikul ja riiklikul tasandil läbipaistvalt. See on veebisait, mis võimaldab viie minuti jooksul saada esmase hinnangu Euroopa mistahes piirkonna kütte- ja jahutusvajaduse kohta ning ka kohaliku taastuenergia potentsiaali kohta, et seda nõudlust rahuldada. Seejärel saab üksikasjalikumaid andmeid ja Hotmapsi arvutusmoduleid kasutades töötada välja põhjalikumad kütte- ja jahutusstrateegiad. Tänu sellele tarkvarale saab teha praktilisi otsuseid oma huvipiirkonnas (küla, linn, jne). Hotmapsi rakendatavus on tõestatud seitsmes pilootpiirkonnas.

Hotmapsi tarkvara töötasid välja juhtivad teadusasutused üle Euroopa koos linnavalitsustega.

[Juhised tarkvara kasutamiseks](#)

- Kasutades NUT1 kihti, võrdle Läti, Eesti ja Leedu maksimaalset soojustihedust.
- Vali kiht LAU2.
- Võrdle Tallinna, Narva ja Haapsalu keskmist soojustihedust.
- Võrdle Eesti linnade soojustihedust maapiirkondade omaga.

LOGSTORi kalkulaator

Logstor on Taani ettevõtte, mis toodab energeetikasektorile vajalikke torusüsteemide elemente. Logstori peamine toodang on eelisoleeritud toruelemendid, mis vastavad kõikidele energiatõhususe nõuetele. Logstori kalkulaatori abil on võimalik määrata kaugküttevõrgu ja torustiku parameetritele vastavalt kaugküttevõrgu energiakadusid, vananemiskõveraaid ja arvutada hüdraulilist rõhukadu. Kõik need arvutused on kaugküttevõrgu planeerimisel ja projekteerimisel võtmetähtsusega.

Kasutades järgnevalt antud lähteandmeid, proovi [Logstori kalkulaatori](#) abil lahendada allpool olevad ülesanded.

Lähteandmed:

- Kaugküttetorustiku läbimõõt DN200, pikkus 1 km, sügavus 1 m (maapinnast torustiku pealispinnani)
- Kasutatavad isolatsiooniklassid:
 - a) I (pealevool + tagasivool)
 - b) II (pealevool + tagasivool)
 - c) III (pealevool + tagasivool)
- Temperatuurigraafik kaugküttevõrgus:
 - a) 115/70 °C (talvel, kütteperioodi ajal) + 70/40 °C (suvel, väljapool kütteperioodi)
 - b) 90/70 °C (talvel, kütteperioodi ajal) + 70/40 °C (suvel, väljapool kütteperioodi)
 - c) 60/35 °C (talvel, kütteperioodi ajal) + 60/35 °C (suvel, väljapool kütteperioodi)
- Kütteperioodi aeg: 15. september – 15. mai
- [Keskmine õhutemperatuur](#) (kütteperioodi ajal, väljapool kütteperioodi): leia iseseisvalt statistiliste andmete järgi
- Kasutatavad torustikud: eelisoleeritud terasest kaugküttetorustikud

Ülesanded:

1. Leia aastased soojuskaod erinevate isolatsiooniklasside järgi (a, b, c), kasutades a-variandi temperatuurigraafikut. Leia soojuskadude rahaline maksumus, võttes soojuse hinnaks Tallinna linnas kehtiva kaugkütte piirhinna ([Konkurentsiamet](#)).
2. Leia aastased soojuskaod erinevate temperatuurigraafikute järgi (a, b, c), kasutades b-variandi torustike isolatsiooniklassi. Leia soojuskadude rahaline maksumus, võttes soojuse hinnaks Tallinnas kehtiva kaugkütte piirhinna.

Allikad

Raamatud

1. Fredriksen, S., Werner, S. District heating and cooling. Studentlitteratur, 2013
2. Randløv, P. Kaugkütte käsiraamat. Euroopa Kaugkütte Torude Tootjate Ühing, 1997
3. Kõiv, T.-A., Rant, A. Hoonete küte. Tallinna Tehnikaülikooli Kirjastus, 2012
4. Rausberg, H. Tallinna linna elektri keskjaamast Tallinna soojusvõrguni. Valgus, 1988
5. Ingermann, K. Soojusvarustussüsteemid. Tallinna Tehnikaülikooli Kirjastus, 2003
6. Saksamaa Kaugkütte Ühing. Eelisooleeritud kaugküttetorustike projekteerimine ja paigaldamine: juhendmaterjalid. Osad 1–8. Eesti Jõujaamade ja Kaugkütte Ühing, 2014
7. Ingermann, K. Soojustehnika mõõtevahendid: õpik kõrgkoolidele. Tallinna Tehnikaülikooli Kirjastus, 2015
8. Advanced district heating and cooling (DHC) systems [Võrguteavik] / edited by Robin Wiltshire. WoodHead Publishing, 2016
9. Obstacles for Implementation of 4th Generation District Heating for Large Scale Networks. Doktoritöö. Autor: Mašatin, V. Juhendaja: Volkova, A., Siirde, A. Tallinna Tehnikaülikool, Energiatehnoloogia Instituut, 2018
10. Kask, Ü. Kaugküte: mugav, tõhus ja soodne: Teatmik kohalike omavalitsuste spetsialistidele, kinnisvara arendajatele ja haldajatele, korteriühistute juhtidele. Eesti Jõujaamade ja Kaugkütte Ühing, 2013

Artiklid

1. Lund, H., Werner, S., Wiltshire, R., Svendsen, S., Thorsen, J.E., Hvelplund, F., Mathiesen, B.V. 4th Generation District Heating (4GDH). Integrating smart thermal grids into future sustainable energy systems. (2014) Energy, 68, pp. 1-11.
<https://doi.org/10.1016/j.energy.2014.02.089>
2. Mathiesen, B.V., Lund, H., Connolly, D., Wenzel, H., Ostergaard, P.A., Möller, B., Nielsen, S., Ridjan, I., KarnOe, P., Sperling, K., Hvelplund, F.K. Smart Energy Systems for coherent 100% renewable energy and transport solutions (2015) Applied Energy, 145, pp. 139-154.
<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.01.075>
3. Connolly, D., Lund, H., Mathiesen, B.V., Werner, S., Möller, B., Persson, U., Boermans, T., Trier, D., Østergaard, P.A., Nielsen, S. Heat roadmap Europe: Combining district heating with heat savings to decarbonise the EU energy system (2014) Energy Policy, 65, pp. 475-489.
<https://doi.org/10.1016/j.enpol.2013.10.035>

4. Werner, S. International review of district heating and cooling (2017) *Energy*, 137, pp. 617-631. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.04.045>
5. Lake, A., Rezaie, B., Beyerlein, S. Review of district heating and cooling systems for a sustainable future (2017) *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 67, pp. 417-425. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.09.061>
6. Lund, H., Østergaard, P.A., Chang, M., Werner, S., Svendsen, S., Sorknæs, P., Thorsen, J.E., Hvelplund, F., Mortensen, B.O.G., Mathiesen, B.V., Bojesen, C., Duic, N., Zhang, X., Möller, B. The status of 4th generation district heating: Research and results (2018) *Energy*, 164, pp. 147-159. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.08.206>
7. David, A., Mathiesen, B. V., Averfalk, H., Werner, S., Lund, H. Heat Roadmap Europe : Large-Scale Electric Heat Pumps in District Heating Systems (2017) *Energies* 2017:1–18. <http://doi.org/10.3390/en10040578>
8. Sayegh, M. A., Jadwiszczak, P., Axcell, B. P., Niemierka, E., Bryś, K., Jouhara, H. Heat pump placement, connection and operational modes in European district heating (2018) *Energy Buildings*. 166:122–44. <http://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.02.006>
9. Schlosser, F., Jesper, M., Vogelsang, J., Walmsley, T. G., Arpagaus, C., Hesselbach, J. Large-scale heat pumps: Applications, performance, economic feasibility and industrial integration (2020) *Renewable Sustainable Energy Reviews*; 133:110219. <http://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110219>
10. Lund, H., Østergaard, P.A., Connolly, D., Mathiesen, B.V. Smart energy and smart energy systems (2017) *Energy*, 137 pp. 556-565. <http://doi.org/10.1016/j.energy.2017.05.123>
11. Ameri, M., Besharati, Z. Optimal design and operation of district heating and cooling networks with CCHP systems in a residential complex (2016) *Energy and Buildings*, 110, pp. 135-148. <http://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.10.050>
12. Powell, K. M., Sriprasad, A., Cole, W.J., Edgar, T. F. Heating, cooling, and electrical load forecasting for a large-scale district energy system (2014) *Energy*, 74 (C), pp. 877-885. <http://doi.org/10.1016/j.energy.2014.07.064>
13. Persson, U., Möller, B., Werner, S. Heat Roadmap Europe: Identifying strategic heat synergy regions (2014) *Energy Policy*, 74 (C), pp. 663-681. <http://doi.org/10.1016/j.enpol.2014.07.015>
14. Connolly, D., Mathiesen, B.V. A technical and economic analysis of one potential pathway to a 100% renewable energy system (2014) *International Journal of Sustainable Energy Planning and Management*, 1, pp. 7-28. <http://doi.org/10.5278/ijsepm.2014.1.2>

15. Werner, S. District heating and cooling in Sweden (2017) *Energy*, 126, pp. 419-429.
<http://doi.org/10.1016/j.energy.2017.03.052>
16. Sayegh, M. A., Danielewicz, J., Nannou, T., Miniewicz, M., Jadwiszczak, P., Piekarska, K., Jouhara, H. Trends of European research and development in district heating technologies (2017) *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 68, pp. 1183-1192.
<http://doi.org/10.1016/j.rser.2016.02.023>
17. Gadd, H., Werner, S. Achieving low return temperatures from district heating substations (2014) *Applied Energy*, 136, pp. 59-67. <http://doi.org/10.1016/j.apenergy.2014.09.022>
18. Sartor, K., Quoilin, S., Dewallef, P. Simulation and optimization of a CHP biomass plant and district heating network (2014) *Applied Energy*, 130, pp. 474-483.
<http://doi.org/10.1016/j.apenergy.2014.01.097>
19. Broberg Viklund, S., Johansson, M.T. Technologies for utilization of industrial excess heat: Potentials for energy recovery and CO2 emission reduction (2014) *Energy Conversion and Management*, 77, pp. 369-379. <http://doi.org/10.1016/j.enconman.2013.09.052>
20. Sameti, M., Haghighat, F. Optimization approaches in district heating and cooling thermal network (2017) *Energy and Buildings*, 140, pp. 121-130.
<http://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.01.062>
21. Lund, R., Persson, U. Mapping of potential heat sources for heat pumps for district heating in Denmark (2016) *Energy*, 110, pp. 129-138. <http://doi.org/10.1016/j.energy.2015.12.127>
22. Averfalk, H., Ingvarsson, P., Persson, U., Gong, M., Werner, S. Large heat pumps in Swedish district heating systems (2017) *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 79, pp. 1275-1284. <http://doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.135>
23. Romanchenko, D., Kensby, J., Odenberger, M., Johnsson, F. Thermal energy storage in district heating: Centralised storage vs. storage in thermal inertia of buildings (2018) *Energy Conversion and Management*, 162, pp 26-38.
<https://doi.org/10.1016/j.enconman.2018.01.068>
24. Pieper, H., Mašatin, V., Volkova, A., Ommen, T., Elmegaard, B., Markussen, W.B. Modelling framework for integration of large-scale heat pumps in district heating using low-temperature heat sources: A case study of Tallinn, Estonia (2019) *International Journal of Sustainable Energy Planning and Management*, 20, pp 67–86.
<http://doi.org/10.5278/ijsepm.2019.20.6>
25. Volkova, A., Krupenski, I., Pieper, H., Ledvanov, A., Latõšov, E., Siirde, A. Small low-temperature district heating network development prospects (2019) *Energy*, 178, pp 714–722. <http://doi.org/10.1016/j.energy.2019.04.083>

26. Lauka, D., Gusca, J., Blumberga, D. Heat Pumps Integration Trends in District Heating Networks of the Baltic States (2015) *Procedia Computer Science*, 52, pp 835–842.
<http://doi.org/10.1016/j.procs.2015.05.140>
27. Latõšov, E., Volkova, A., Siirde, A., Kurnitski, J., Thalfeldt, M. Primary energy factor for district heating networks in European Union member states (2017) *Energy Procedia*, 116, pp 69–77.
<http://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.05.056>
28. Volkova, A., Latõšov, E., Lepiksaar, K., Siirde, A. Planning of district heating regions in Estonia (2020) *International Journal of Energy Planning and Management*, 27, pp 5 – 16
<http://doi.org/10.5278/ijsepm.3490>
29. Pieper, H., Ommen, T., Buhler, F., Lava Paaske, B., Elmegaard, B., Brix Markussen, W. Allocation of investment costs for large-scale heat pumps supplying district heating (2018) *Energy Procedia*, 147, pp 358–67. <http://doi.org/10.1016/j.egypro.2018.07.104>
30. Rušeljuk, P., Volkova, A., Lukić, N., Lepiksaar, K., Nikolić, N., Nešović, A., Siirde, A. Factors Affecting the Improvement of District Heating. Case Studies of Estonia and Serbia (2021) *Environmental and Climate Technologies*, 24 (3), pp. 521-533. <http://doi.org/10.2478/rtuect-2020-0121>
31. Chicherin, S., Mašatin, V., Siirde, A., Volkova, A. Method for assessing heat loss in a district heating network with a focus on the state of insulation and actual demand for useful energy (2020) *Energies*, 13 (17), art. no. en13174505, <http://doi.org/10.3390/en13174505>
32. Volkova, A., Krupenski, I., Ledvanov, A., Hlebnikov, A., Lepiksaar, K., Latõšov, E., Mašatin, V. Energy cascade connection of a low-temperature district heating network to the return line of a high-temperature district heating network (2020) *Energy*, 198, art. no. 117304, <http://doi.org/10.1016/j.energy.2020.117304>
33. Volkova, A., Latosov, E., Siirde, A. Heat Storage Combined with Biomass CHP under the National Support Policy. A Case Study of Estonia (2020) *Environmental and Climate Technologies*, 24 (1), pp. 171-184. <http://doi.org/10.2478/rtuect-2020-0011>
34. Volkova, A., Latõšov, E., Mašatin, V., Siirde, A. Development of a user-friendly mobile app for the national level promotion of the 4th generation district heating (2019) *International Journal of Sustainable Energy Planning and Management*, 20, pp. 21-36.
<http://doi.org/10.5278/ijsepm.2019.20.3>
35. Volkova, A., Mašatin, V., Siirde, A. Methodology for evaluating the transition process dynamics towards 4th generation district heating networks (2018) *Energy*, 150, pp. 253-261.
<http://doi.org/10.1016/j.energy.2018.02.123>

36. Chicherin, S., Volkova, A., Latõšov, E. GIS-based optimisation for district heating network planning (2018) Energy Procedia, 149, pp. 635-641. <http://doi.org/10.1016/j.egypro.2018.08.228>
37. Latõšov, E., Volkova, A., Siirde, A., Kurnitski, J., Thalfeldt, M. Methodological approach to determining the effect of parallel energy consumption on district heating system (2017) Environmental and Climate Technologies, 19 (1), pp. 5-14. <http://doi.org/10.1515/rtuct-2017-0001>
38. Volkova, A., Mashatin, V., Hlebnikov, A., Siirde, A. Methodology for the improvement of large district heating networks (2012) Environmental and Climate Technologies, 10 (1), pp. 39-45. <http://doi.org/10.2478/v10145-012-0009-7>
39. Lepiksaar, K., Volkova, A., Ruseljuk, P., Siirde, A. The effect of the District Heating Return Temperature Reduction on Flue Gas Condenser Efficiency (2020) Environmental and Climate Technologies, 24 (3), pp. 23-38. <http://doi.org/10.2478/rtuct-2020-0083>

Aruanded

1. [Kütte ja jahutuse tõhususe võimalused Eestis. Eesti kütte ja jahutuspotentsiaali hindamine. Majandus- ja Kommunikatsiooniministeerium. 2016](#)
2. [Heat Roadmap Europe 4: Quantifying the Impact of Low-Carbon Heating and Cooling Roadmaps, 2018](#)
3. [Connolly, D., Mathiesen, B.V., Østergaard, P. A., Møller, B., Nielsen, S., Lund, H. Heat Roadmap Europe 2050 - Second Prestudy. Aalborg University; 2013](#)
4. [Digital Roadmap For District Heating & Cooling, v. 2. DHC+ Technology Platvorm. Euroheat and Power, 2019](#)
5. [Eesti kliimaambitsiooni tõstmise võimaluste analüüs. SEI, 2019](#)
6. [Kaugloetavate arvestite ja küttekulujaoturite paigaldamise majandusliku mõistlikkuse ja tehnilise teostatavuse analüüsi lõpparuanne. Tepsli, Energiateenus, Majandus- ja Kommunikatsiooniministeerium, 2020](#)
7. [Soojuse paralleeltarbimise mõju kaugküttesüsteemile. Tallinna Tehnikaülikool, Eesti Jõujaamade ja Kaugkütte Ühing, 2016](#)
8. [Low-temperature district heating: heating our homes at lower cost. International Energy Agency, 2021](#)
9. [How can district heating help decarbonise the heat sector by 2024. International Energy Agency, 2019](#)

10. [Heitsoojuse ja heitjahutuse kasutamise võimalused kütte- ja/või jahutussektoris ning Eesti töhusa kaugkütte ja -jahutuse potentsiaali hindamine](#)
11. [Eesti kaugküttesektori CO2 heitmed](#)

Muu

1. [Konkurentsiamet. Kooskõlastatud soojuse piirhinnad.](#)
2. [Keskonnainvesteeringute Keskus. Toetatavad tegevused](#)
3. [Energy statistics, EUROSTAT](#)
4. [Eesti Statistika Andmebaas](#)
5. [European Comission. Energy flow diagrams](#)
6. [HOTMAPS tool](#)
7. [Kaugkütteseadus](#)
8. [Elektrituruseadus](#)
9. [European Commission. 2030 climate & energy framework 2020.](#)
10. [Eesti riiklik energia- ja kliimakava aastani 2030 \(REKK 2030\)](#)
11. [Eesti Jõujaamade ja Kaugkütte Ühing. Tõhusa kaugkütte märgise statuut](#)
12. [Kaugkütte kaalumistegurid](#)
13. [Eesti Soojustehnika Inseneride Seltsi ettekanded](#)