



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
ELEKTROENERGEETIKA INSTITUUT

www.emu.ee



Eesti Maaülikool
Estonian University of Life Sciences

Soojuse kauglugemissüsteemi juurutamine AS-s VKG Soojus ja selle võrdlus traditsioonilise mõõtesüsteemiga

Elektroenergeetika instituut

Soojusenergeetika õppetool, MSE

Hajaenergeetika õppekava

Magistritöö

Õppetooli juhataja prof. Juhan Valtin

Juhendaja teadur Ülo Kask

Konsultant Dr. Aleksandr Šablinski

Lõpetaja Andres Veske

Tallinn 2015

Töö kaitsmine

Lõputöö on kaitsstud 2015 hindele

Kaitsmiskomisjoni esimees (nimi ja allkiri)_____

Autori deklaratsioon

Deklareerin, et käesolev lõputöö, mis on minu iseseisva töö tulemus, on esitatud Tallinna Tehnikaülikooli elektroenergeetika instituudile haridusastme lõpudiplomi taotlemiseks hajaenergeetika erialal. Lõputöö alusel ei ole varem kutse- või teaduskraadi või inseneridiplomit taotletud.

Lõpetaja (allkiri ja kuupäev) _____

Lõputöö kokkuvõte

<i>Autor:</i> Andres Veske <i>Lõputöö liik:</i> Magistritöö	
<i>Töö pealkiri:</i> Soojuse kauglugemissüsteemi juurutamine AS-s VKG Soojus ja selle võrdlus traditsioonilise mõõtesüsteemiga.	
<i>Kuupäev:</i> 27.05.2015	72 lk
<i>Töö juhendaja(d):</i> Teadur Ülo Kask	
<i>Töö konsultant (konsultandid):</i> PhD Aleksandr Šablinski	
<p><i>Sisu kirjeldus:</i></p> <p>Töö eesmärgiks on analüüsida VKGS soojuse kauglugemissüsteemist saadud andmeid, võrrelda kauglugemissüsteemi seni kasutusel olnud andmete käsitsi kogumise süsteemiga, analüüsida empiirilistel analüüsidel põhinevaid investeerimisotsuseid ning võrrelda neid mõõtmistel saadud tulemustega. Töö tulemusena peab selguma kauglugemissüsteemi roll investeerimisotsuste tegemisel võrreldes empiiriliste analüüside abil tehtud investeerimisotsustega. Teiseks eesmärgiks on tööst tulenevate järelduste põhjal formuleerida soojuse kauglugemissüsteemiga seotud soovitusi.</p> <p>Töös antakse ülevaade AS VKG Soojusest ja ettevõttega seotud kaugküttevõrgust. Antakse selgitusi kaugküttevõrgu soojuskadudest ja kadude dünaamikast, samuti süsteemist, kuidas koguti analüüsiks ja arvete koostamiseks tarbimisandmeid. Lähemalt vaadatakse meetodeid, kuidas arvutada soojuskadusid ning näidete varal analüüsitakse, kas arvutustel põhinevad investeerimisotsused on olnud õiged ja kas otsused oleksid teistsugused olnud kauglugemissüsteemi olemasolul. Töö paremaks mõistmiseks on välja toodud andmed kauglugemissüsteemi tehnilistest andmetest, tarkvaralistest lahendustest ning projekti juurutamisega seotud taustast.</p> <p>Järeldustes selgub muuhulgas, et kauglugemissüsteem ei pea olema empiiriliste meetodite kõrval ainuõigeks vahendiks investeerimisotsuste tegemisel ning antakse soovitusi kauglugemissüsteemiga seotud probleemide lahendusteks.</p>	
<i>Märksõnad:</i> VKG Soojus AS, kaugküte, soojus, soojuskadu, kauglugemissüsteem, kaugküttevõrk, investeeringud kaugküttevõrkudesse, taatlemine, soojusarvesti, torustik	

Summary of the diploma work

<i>Author:</i> Andres Veske	<i>Kind of the work:</i> Master's thesis
<i>Title:</i> Implementation of Smart Heat Metering and its Comparison with Conventional Metering System in VKG Soojus AS	
<i>Date:</i> 27.05.2015	<i>72 pages</i>
<i>University</i> Tallinn University of Technology	
<i>Faculty:</i> Faculty of Power Engineering	
<i>Department:</i> Distributed Energy	
<i>Chair:</i> <u>Chair of Thermal Power Engineering</u>	
<i>Tutor(s) of the work:</i> Research Scientist Üko Kask	
<i>Consultant(s):</i> PhD Aleksandr Šablinski	
<p><i>Abstract:</i></p> <p>The aim of this master's thesis is to analyze data from smart heat metering system (SHMS) in AS VKG Soojus and to compare SHMS with conventional data collection system used in VKGS, also to examine investment decisions, based on empirical analyses with outcomes from measurements of heat losses. Obtained results must indicate the role of SHMS in making investment decisions, compared to the investment decisions made by empirical analyses. Another goal is to formulate SHMS related recommendations, from the basis of the conclusions of the work.</p> <p>In this thesis a description of AS VKG Soojus given, together with explanation of district heating network. Details about district heating network losses provided in addition to the details of the system, how consumption data for analysis and billing purposes gathered previously. Closer review of methods how to calculate the thermal losses are made. Examples of investments, based on calculations are analyzed in order to find out whether they have been correct or would decisions be different by using SHMS. Better understanding of the work are set out by the description of technical data and software solutions combined with SHMS, also by the introduction of implementation background of SHMS.</p> <p>In conclusions, it turns out, inter alia, that SHMS does not have to be the only right tool adjacent to empirical methods in making investment decisions. At the end, recommendations on issues related to SHMS are provided.</p>	
<p><i>Key words:</i> VKG Soojus AS, district heating, heat, heat losses, smart heat metering, district heating network, investments into district heating network, re-verification of heat meters, heat meter, piping</p>	

SISUKORD

AUTORI DEKLARATSIOON	3
LÕPUTÖÖ KOKKUVÕTE	4
SUMMMARY OF THE DIPLOMA WORK	5
SISUKORD	6
LÕPUTÖÖ LAIENDATUD ÜLESANNE	8
EESSÕNA	11
1. SISSEJUHATUS	12
MÕISTED	17
2. ETTEVÕTTE TUTVUSTUS	18
2.1. ÜLEVAADE KAUGKÜTTE MÜÜGIST JA KAUGKÜTTEVÕRKUDE SOOJUSKADUDEST AASTATEL 2001 KUNI 2014	20
3. TRADITSIOONILINE MÕÕTESÜSTEEM	24
3.1. MÕÕTEANDMETE EDASTAMINE, TAVAPÄRANE SÜSTEEM	24
3.2. SOOJUSKADUDE ARVUTAMINE INVESTEERIMISOTSUSTE TEGEMISEKS EMPIIRILISE ANALÜÜSIGA	25
3.3. NÄITED EMPIIRILISTE ANALÜÜSIDE ABIL TEHTUD INVESTEERIMISOTSUSTEST	35
3.4. NÄIDE ARVESTUSLIKU SOOJUSKAO KONTROLLIMISEST	39
4. SOOJUSE KAUGLUGEMISSÜSTEEM	42
4.1. KAUGLUGEMISSÜSTEEMI JUURUTAMISE PROJEKTI TAUST	44
4.2. SOOJUSARVESTITE TEHNILISED TINGIMUSED KAUGLUGEMISSÜSTEEMIS	46
4.3. SQL ANDMEBAASI KASUTAMINE	52
4.4. NÄIDE KAUGLUGEMISSÜSTEEMIST SAADUD INFO RAKENDAMISEST K-J, JÄRVE LINNAOSAS	53
4.5. TASUVUSARVUTUS MAGISTRAALSOOJUSARVESTITELE	55
4.6. KAUGLUGEMISSÜSTEEMI EELISED	57
4.7. KAUGLUGEMISSÜSTEEMI NÕRKUSED	62

5. SOOJUSARVESTITE TAATLEMINE	64
6. KOKKUVÕTE	66
7. LISAD	69
8. KASUTATUD KIRJANDUS	70

Lõputöö laiendatud ülesanne

Lõputöö teema: Soojuse kauglugemissüsteemi juurutamine AS-s VKG Soojus ja selle võrdlus traditsioonilise mõõtesüsteemiga.

Üliõpilane, üliõpilaskood: Andres Veske, 131677AAHMM

Lõputöö liik: Magistritöö

Lõputöö juhendaja, õppetool: Teadur Ülo Kask, Soojusenergeetika õppetool

Õppetooli juhataja (õppekavajuht): Juhan Valtin

Lõputöö ülesande kehtivusaeg: *kehtivusaja annab juhendaja*

Lõputöö esitamise tähtaeg: 27. mai 2015

Üliõpilane (allkiri)

Juhendaja (allkiri)

Õppetooli juhataja (allkiri)

1. Teema põhjendus

Paljud kaugküttevõrgud kasutavad võrgu rekonstrueerimiseks ja remondiks empiirilisi analüüse ja soojuskadude arvutamiseks vastavaid valemeid. Kogemuslikult teatakse millised kaugküttevõrgu osad tuleb soojus- ja veekadude vähendamiseks rekonstrueerida või remontida kuid täpne ülevaade rekonstrueerimise vajadusest puudub. Täpsed sisendid võrgu optimeerimiseks annab täpne mõõtmine ning kaugküttevõrgus on ainukeseks selliseks võimaluseks kauglugemissüsteemi kasutamine. Parem planeerimine aitab täpsemaid otsuseid teha ning tarbijate- ja Euroopa Liidu struktuurifondide raha eesmärgipärasemalt kasutada. AS VKG Soojus kasutab Kohtla – Järvel alates eelmise aasta lõpust soojuse mõõtmisel kauglugemissüsteemi. Süsteemi abil saadud andmed annavad väga hea ülevaate soojuskadudest võrgus aga ka tarbija käitumisest. Lõputöö autor on süsteemi juurutamise idee üks algatajatest ning lõputöö valmimise hetkeks on kogutud piisav kogus andmeid, et teha järeldusi kauglugemissüsteemi vajadusest ja tasuvusest, samuti anda soovitusi teistele kaugküttevõrkude operaatoritele ja omanikele.

2. Töö eesmärk

Töö eesmärgiks on analüüsida VKGS soojuse kauglugemissüsteemist saadud andmeid, võrrelda kauglugemissüsteemi seni kasutusel olnud andmete käsitsi kogumise süsteemiga, analüüsida empiirilistel analüüsidel põhinevaid investeerimisotsuseid ning võrrelda neid mõõtmistel saadud tulemustega. Töö tulemusena peab selguma kauglugemissüsteemi roll investeerimisotsuste tegemisel võrreldes empiiriliste analüüside abil tehtud investeerimisotsustega. Teiseks eesmärgiks on tööst tulenevate järelduste põhjal formuleerida soojuse kauglugemissüsteemiga seotud soovitusi

3. Lahendamisele kuuluvate küsimuste loetelu:

1. VKG Soojus AS võrgupiirkonna kaugküttesüsteemi kirjeldamine, olemasoleva olukorra kirjeldus.
2. Kaugküttevõrgu tarbijate soojuse mõõtmise ning kaugküttevõrgu parendamismeetodite võrdlus. Empiirilistel teadmistel põhinev vs kauglugemissüsteemi kasutamine.
3. AS-le VKG Soojus ning teistele Eesti kaugküttevõrkudele kauglugemissüsteemiga seotud soovitude formuleerimine

4. Lähteandmed

Uurimustöök vajalikud lähteandmed on olemas VKG Soojuses, millele on vaba ligipääs olemas.

5. Uurimismeetodid

Uurimustöök on kavas kasutada vaatlusi kaugküttevõrgu erinevates osades ja sõlmedes, samuti koguda ning võrrelda andmeid võrgu vaatlus- ja juhtimisprogrammist SCADA InTouch ja müügiprogrammist Synerall. Saadud andmeid on võimalik võrrelda enne kauglugemissüsteemi juurutamist tehtud võrgu rekonstrueerimisotsustega. Andmeid tuleb analüüsida selle põhjal saab teha järeldusi võrgu töö parendamiseks.

6. Graafiline osa

Jooniste tabelite, skeemide arv selgub töö käigus. Väiksemad loetletutest on töö põhiosas, suuremad paigaldatakse lisadesse.

7. Töö struktuur

Sisukord, lõputöö ülesanne, eessõna, sissejuhatus, VKG Soojus AS võrgupiirkonna kaugküttesüsteemi kirjeldamine, olemasoleva olukorra kirjeldus, kaugküttevõrgu parendamismeetodite võrdlus. Empiirilistel teadmistel põhinev vs kauglugemissüsteemi

kasutamine, VKG Soojuse ning teiste Eesti kaugküttevõrkude optimeerimiseks soovitude formuleerimine, tulemused, kokkuvõte, kasutatud kirjandus

8. Kasutatud kirjanduse allikad

Raamatute allikaks on põhiliselt TTÜ raamatukogu aga ka muu autori käsutuses olev teaduslik kirjandus

nt. District heating and cooling / Svend Frederiksen, Sven Werner

Eesti kaugkütte soojusvõrkude efektiivsuse analüüs ja optimeerimine / Aleksandr Hlebnikov

District Heating Handbook / Peter Randlov

Eelisoleeritud kaugküttetorustike projekteerimine ja paigaldamine : juhendmaterjalid / EJKÜ

Teadusartiklite allikaks on nt. Google Scholar, www.ceeol.com, ESTER, <http://doaj.org/>

9. Lõputöö konsultandid

PhD Aleksandr Šablinski, VKG Soojus AS, juhatuse liige.

10. Töö etapid ja ajakava

Kirjanduse läbitöötamine, lähteandmete kogumine (26.02.2015)

Teoreetilise osa kirjutamine (30.04.2015)

Arvutuste teostamine (30.04.2015).

Uuringu tulemuste kirjeldamine, järelduste kirjutamine (30.04.2015)

Kokkuvõtte koostamine, töö esimene versioon valmis, juhendajale läbilugemiseks saatmine (05.05.2015)

Paranduste sisseviimine, juhendajale teiseks läbilugemiseks saatmine, töö lõplik versioon valmis (20.05.2015)

EESSÕNA

Käesolev magistritöö teema on välja antud töö autori initsiatiivil VKG Soojus AS-s, kus autor töötas alates 2011. a märts kuni 30. aprillini 2015 juhatuse esimehena. Enne seda aitas ettevõtte tegevusega kursis olla AS Kohtla – Järve Soojus nõukogu töös osalemine alates 2006. aastast. Magistritöö teema aluseks olev kauglugemissüsteemi juurutamine algas ettevõttes 2012. aasta lõpus ning kestab praeguseni.

Suure töö süsteemi käivitamiseks on ettevõttes ära teinud terve VKG Soojus AS-i meeskond ja sisuline projektijuht, juhatuse liige Aleksandr Šablinski.

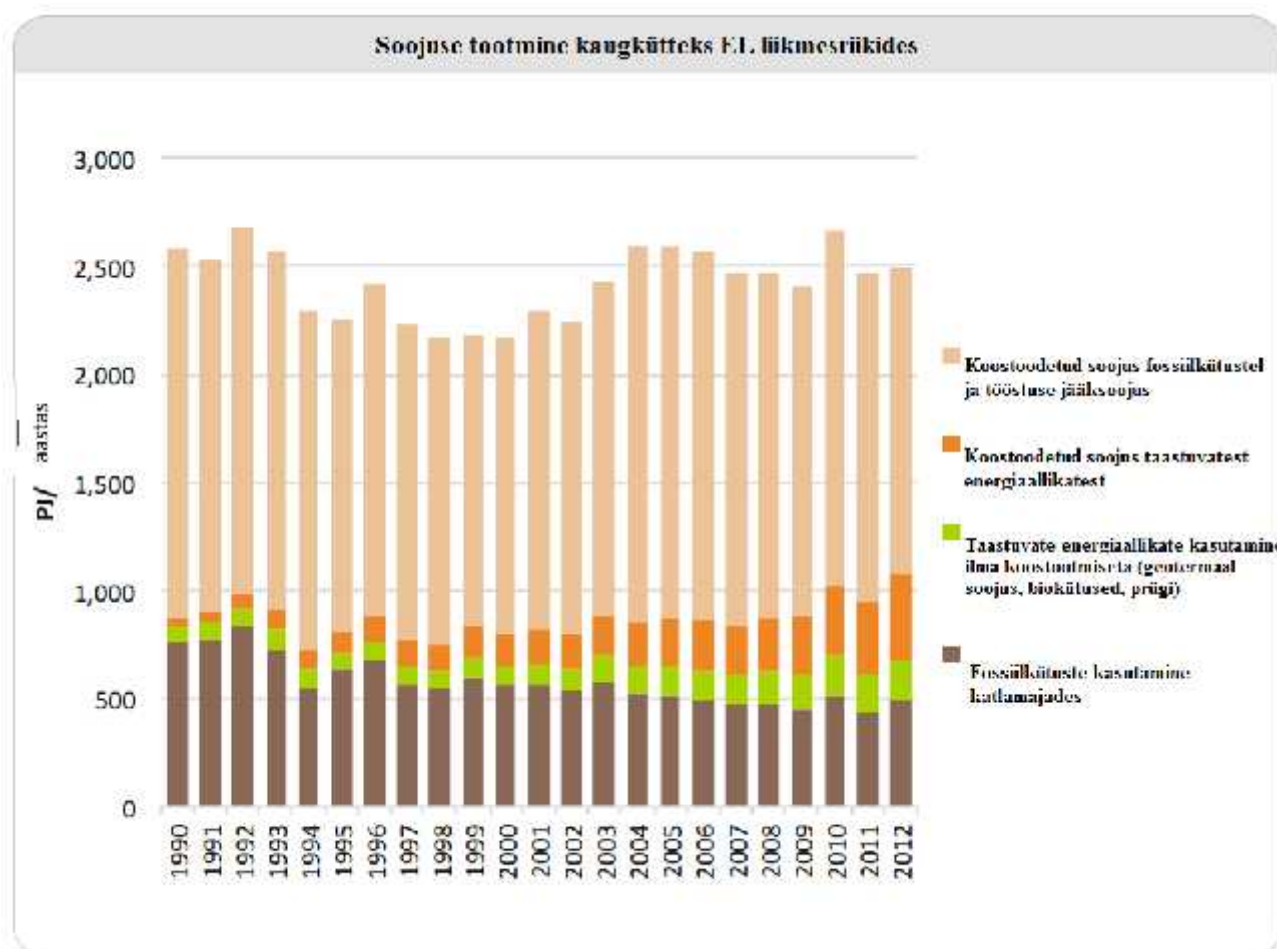
Soovin tänada oma endisi kolleege ja käesoleva töö juhendajat Ülo Kaske, kelle märkimisväärne panus töö valmimiseks aitas selle lõpule viia.

1. SISSEJUHATUS

Küte ja jahutus moodustavad Euroopa Liidu (EL) energiavajadusest kõige suurema osa ja selleks kulub enamus Euroopa importgaasist. Kaugküte ja -jahutus pakuvad olulisi võimalusi tõhususe suurendamiseks. Seda käsitletakse komisjoni strateegias.[1]

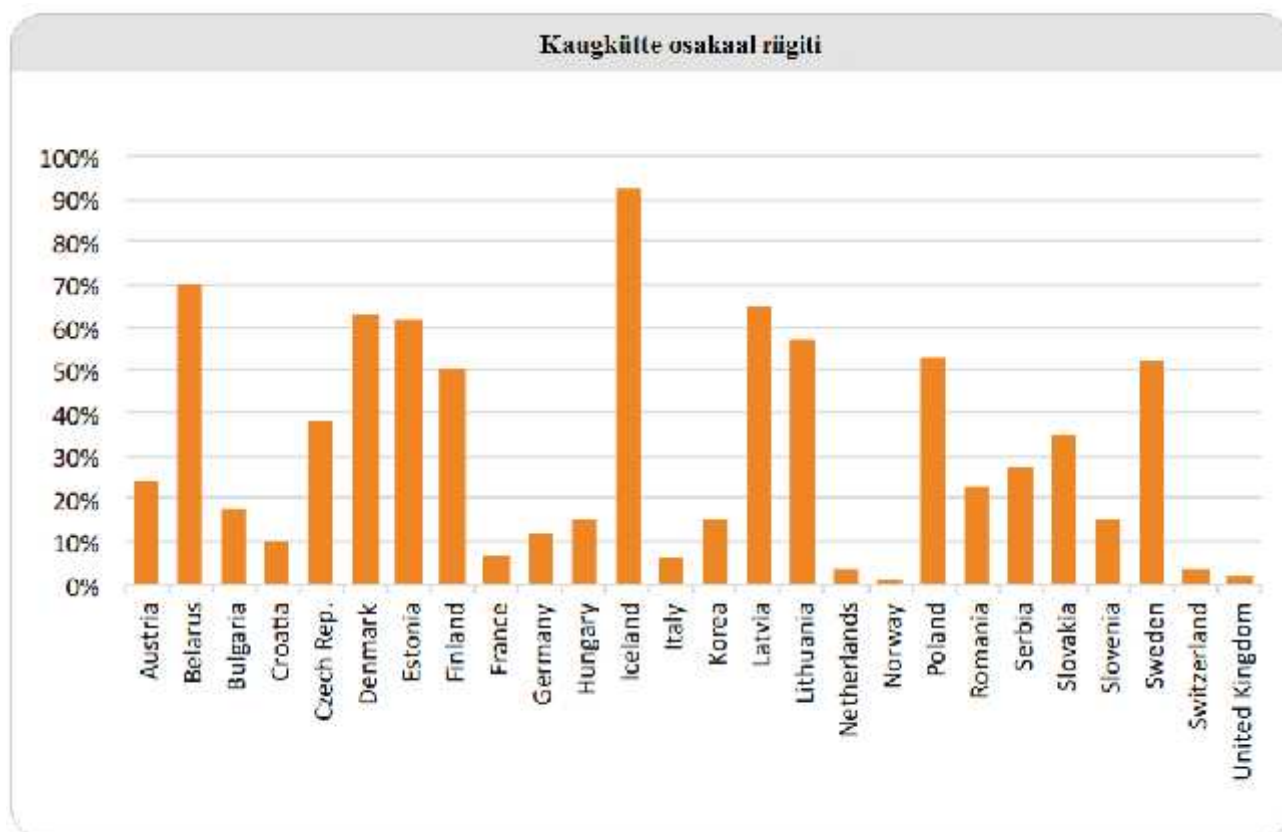
EL-is moodustab energia lõpptarbimisest 45% soojus, mida kasutatakse kütteks. 20% energiast on elekter, transpordi osakaal on 26%. Hoonete energiakasutus moodustab 40% energia lõpptarbimisest, millest omakorda 68% läheb kütteks ja 14% sooja vee valmistamiseks. Momendil on suur osakaal veel fossiilkütuste kasutamisel – gaas ja nafta moodustab 51% kaugkütte primaarenergiast, millest omakorda 25% on kasutusel OECD riikides.[2]

Euroopas on üle 6000 kaugküttesüsteemi, mis katavad ära 12% Euroopa kogunõudlusest soojusele. Tuginedes *International Energy Agency* (IEA) 2012 energiabilansile on 28 ELi liikmesriigis 72,8% kaugküttes kasutatavatest soojusest toodetud koostootmisprotsessis (*Combined heat and power, CHP*). Vaid 19,5% kaugkütte soojusest toodeti fossiilkütuseid põletavates katlamajades. Ülejäänud 7,7% soojusest toodeti otse taastuvatest energiaallikatest mitte koostootmisrežiimil (katlamajades). Taastuvate energiaallikate kasutamine on viimase kümne aasta jooksul kaugküttes pidevalt kasvanud ja on praeguseks 23,3%, mis tähendab, et Euroopa kaugküttesüsteemides on täidetud EL taastuvate energiaallikate osakaalu nõue 20% 2020. aastaks.[2] Soojuse tootmise allikaid EL liikmesriikide hulgas on kujutatud joonisel 1.1.



Joonis 1.1. Euroopas kasutatavad kaugkütte tehnoloogiad ja kasutatavad kütused.[2]

Maailmas on kaugkütte osakaal hoonete kütmisel suurenenud, olles riigiti siiski väga erineval tasemel. Euroopas moodustas 2013. aastal kaugkütte osakaal vähemalt 50% järgmistes riikides: Island (92%), Läti (65%), Taani (63%), Leedu (57%), Eesti (62%), Poola (53%), Rootsi (52%), ja Soome (50%). Peale Euroopa kasutab märkimisväärselt kaugküttesoojust ka Korea Vabariik (Lõuna-Korea) (ca 15%).[2] Kuigi paljudes riikides maailmas arendatakse kaugkütet jõudsalt, jääb selle osakaal mujal soojusmajanduses tagasihoidlikuks. Järgnev joonis 1.2 näitab riikide elanike kaugkütte kasutust protsentuaalselt.



Joonis 1.2. Kaugkütte osakaal maailma riikide elanike hulgas.[2]

Hoonete energiatõhususe potentsiaali ärakasutamiseks on liikmesriikides vaja võtta meetmeid, eelkõige kohalikul ja piirkondlikul tasandil. Jätkuvalt on probleemiks piisaval hulgal investeeringute ligimeelitamine, eriti kohalikul tasandil, mis on peamiselt tingitud vähesest teadlikkusest ja oskusteabest väikesemahulise rahastamise valdkonnas. Euroopa Komisjon (EK) toetab olemasolevatele rahalistele vahenditele juurdepääsu lihtsustamist ning pakub Euroopa struktuuri- ja investeerimisfondide juhtimisorganitele ja huvitatud sidusrühmadele kasutamiskõlblikke rahastamisvorme, edendab riskide ja tulude jagamisel põhinevaid uusi rahastamiskavasid, toetab uute rahastamismeetodite arendamist ning tehnilise abi andmist. Rahaline toetus tuleb ühendada tehnilise abiga, et koondada väikesemahulised projektid suurteks programmideks, mis võivad vähendada tehingukulusid ja tekitada piisavat huvi erasektoris.[1]

Energiatõhususe suurendamisel ELis ja väljaspool seda on oluline roll arukate linnade ja kogukondade algatusel ja linnapeade paktil, mida viivad ellu eelkõige linnapead, kodanikuühiskonna organisatsioonid, investorid, finantseerimisasutused ja teenuseosutajad. Komisjon toetab seda tööd kindlalt. Samuti töötab komisjon G20 energiatõhususe tegevuskava raames välja tipptasemel üleilmse energiatõhususe poliitika algatuse. See aitab oluliselt kaasa ambitsioonikate energiatõhususe eesmärkide ja sihtide seadmisele selliste foorumite raames

nagu ÜRO ja Rahvusvahelise Energiaagentuuri algatus „Säästev energia kõigi jaoks”. Kuna ELil on üleilmne liidripositsioon energiatõhusa tehnoloogia valdkonnas, peaks need meetmed soodustama eksporti ja majanduskasvu ning töökohtade loomist liidus.

ELi fondid ja Euroopa Investeeringupank (EIP) rahastamine võimaldab palju korda saata. Euroopa Strateegiliste Investeeringute Fond võimaldab hoonete renoveerimisse tehtud suuri investeeringuid võimendada. Selle valdkonna investeeringud võivad anda suurt lisaväärtust majanduskasvu ja töökohtade loomise seisukohast.[1]

EL struktuurifondide meetme Efektivne soojusenergia tootmine ja ülekanne, raames on Eestil, perioodil 2014-2020 kavas kasutada 78 miljoni eurot. Nimetatud meede jaguneb veel mitmeks alameetmeks, millest osa puudutavad kaugküttevõrkude rekonstrueerimist.[3]

Paljud kaugküttevõrkude omanikud ja operaatorid kasutavad võrgu rekonstrueerimiseks ja remondiks empiirilisi analüüse ja soojuskadude määramiseks vastavaid valemeid. Kogemuslikult teatakse, millised kaugküttevõrgu osad tuleb soojus- ja veekadude vähendamiseks rekonstrueerida või remontida, kuid täpne ülevaade rekonstrueerimise vajadusest puudub. Täpsed sisendid võrgu optimeerimiseks annab täpne mõõtmine ning kaugküttevõrgus on ainukeseks selliseks võimaluseks kauglugemissüsteemi kasutamine. Parem planeerimine aitab täpsemaid otsuseid teha ning tarbijate- ja Euroopa Liidu struktuurifondide raha eesmärgipärasemalt kasutada. VKG Soojus AS (VKGS) kasutab Kohtla – Järvel alates 2014. aasta lõpust soojuse mõõtmisel kauglugemissüsteemi. Süsteemi abil saadud andmete töötlemisel saab hea ülevaate soojuskadudest võrgus aga ka tarbija käitumisest.

Elektrivõrkude puhul räägitakse juba ammu targast võrgust, kus nii elektritootjad, -võrk kui tarbijad saavad teha optimaalseid otsuseid elektri pakkumiseks ja tarbimiseks. Euroopas aruka või targa võrgu all üldiselt peetaksegi silmas elektrivõrku.

Arukat võrku võiks kirjeldada kui uuendatud elektrivõrku, mida on täiendatud kahesuunalise digitaalse kommunikatsiooniga tarnija ja tarbija vahel ning aruka arvesti- ja seiresüsteemiga. Arukad arvestid on tavaliselt aruka võrgu lahutamatu osa.[4]

Kaugküttevõrkudel on suur arendustöö alles ees, et võrkudest kujuneksid kui mitte sama „targad“ võrgud kui elektrisüsteemis, aga siiski peaksid pakkuma nii võrguoperaatoritele ja tarbijatele paremaks toimimiseks rohkem informatsiooni ja võimalusi. Enamus Eesti kaugküttevõrkudest on varustatud süsteemiga, millega mõõdetakse katlamajast väljuvat soojust ning soojust, mida tarbija kasutab. Arvestite näite võetakse ja kontrollitakse tavaliselt kord kuus, selleks, et koostada arve ning saada vajalikke andmeid statistikaks. Tunniandmeid või reaajas võrgu ja tarbija andmete kogumist ning jälgimist peaaegu ei kasutata. Üheks

põhjuseks on kindlasti vastavate mõõteseadmete suhteliselt kõrge maksumus, mis viimaste aastatega on siiski tunduvalt odavnenud. Soojuse tarnijate ja tarbijate kulude vähendamiseks on kasvanud nõudlus arukama mõõtesüsteemi järele, sellise, mis suudaks operatiivselt avastada vigu ja kõrvalekaldeid soojussõlmedes ja võrgu erinevates sõlmedes. Soojusarvestiga on võimalik ühendada võrguseadmed, mis ühendatakse sidevõrku otse võrgukaabli abil või lülitatakse läbi modemi. Kõige kiirem ja mugavam on seadmed ühendada ilma kaableid kasutamata, kasutades raadiosidet, GSM mobiilsidet, traadita interneti sidet WiFi, või muud traadita levi lahendust. Sideühenduse valikul tuleb lähtuda selle hinnast ja kasutamise võimalikkusest. Mõnes kaugküttevõrgus võib kasutusel olla kombinatsioon erinevatest lahendustest ning WiFi või GSM side korral võivad teenust pakkuda erinevad sideoperaatorid. Lõputöö autor on VKGS-s süsteemi juurutamise idee üks algatajatest ning lõputöö valmimise hetkeks on kogutud piisav kogus andmeid, et teha järeldusi kauglugemissüsteemi vajadusest ja tasuvusest.

Käesoleva magistritöö eesmärgiks on analüüsida VKGS soojuse kauglugemissüsteemist saadud andmeid, võrrelda kauglugemissüsteemi seni kasutusel olnud andmete käsitsi kogumise süsteemiga, analüüsida empiirilistel analüüsidel põhinevaid investeerimisotsuseid ning võrrelda neid mõõtmistel saadud tulemustega. Töö tulemusena peab selguma kauglugemissüsteemi roll investeerimisotsuste tegemisel võrreldes empiiriliste analüüside abil tehtud investeerimisotsustega. Teiseks eesmärgiks on tööst tulenevate järelduste põhjal formuleerida soojuse kauglugemissüsteemiga seotud soovitusi

Peale eelnenud sissejuhatust on töö teises osas tutvustus VKGS-st ja ettevõttega seotud kaugküttevõrgust. Antakse selgitusi kaugküttevõrgu soojuskadudest, soojuskadude dünaamikast ja süsteemist, kuidas koguti analüüsiks ja arvete koostamiseks tarbimisandmeid.

Kolmas osa käsitleb mõõte- ja andmete kogumissüsteemi. Lähemalt vaadatakse meetodeid, kuidas arvutada soojuskadusid ning kahe näite varal analüüsitakse, kas arvutustel põhinevad investeerimisotsused on olnud õiged ja kas otsused oleksid olnud teistsugused kauglugemissüsteemi olemasolul.

Neljandas osas on ülevaade VKGS soojuse kauglugemissüsteemist, kasutatavate mõõtevahendite tehnilistest andmetest ning tarkvaralistest lahendustest. Samuti on konteksti paremaks mõistmiseks juttu projekti juurutamisega seotud taustast ning tuuakse näiteid kauglugemissüsteemi abil saadud andmetest.

Töö viies osa on soojusmõõteseadmete taatlemisest ja puudutab kauglugemissüsteemiga seotud arvesteid ja vooluhulgamõõtjureid. Olles süsteemi osa, mõjutab taatlemise lühikese intervalli põhjendamatu nõue paratamatult süsteemi käidu kulusid tervikuna.

Kuuendas osas võetakse töö kokku, tehakse järeldused ning formuleeritakse soovitud kauglugemissüsteemi paremaks tööks.

Seitsmendas osas esitatakse tööga kaudselt seotud lisad.

MÕISTED

- pealevoolutorustik - torustik, mille kaudu juhatakse soojuskandja küttekehadesse või soojusvahetites;
- soojuskadu - temperatuuride vahest tingitud soojusvool läbi piirdetarindi, ühik 1 W/m^2 ;
- soojussõlm - tööstuslikult toodetud mõõtesõlme, tarbevee-, ventilatsiooni- ja küttesüsteemi ning paisumisseadmetega liidetud seadmete tervik, mis sisaldab endas soojusvaheteid, primaar- ja sekundaarpoole reguleerimisseadmeid, pumпасid, mõõteseadmeid, ventiile ja muud toruarmatuuri ning vajalikku torustikku. Soojussõlme abil kantakse kaugküttevõrgust saadav soojus üle kinnistu kütte- ja sooja tarbevee võrku ning reguleeritakse kütte ja sooja tarbevee temperatuuri vastavalt vajadusele;
- tagasivoolutorustik - torustik, mille kaudu juhatakse küttekehi või soojusvaheteid läbinud ja jahtunud soojuskandja tagasi soojuskeskusesse (nt katlamajja) ;
- isolatsioonimaterjal - väikese soojusjuhtivusega materjal, mida kasutatakse soovitud soojustakistuse saavutamiseks;
- soojuskandja – keskkond, mille abil toimub soojuse ülekande. (Inseneripraktikas laialt käibel olev sõna „soojuskandja” ei ole termodünaamikas kasutatava soojuse mõiste kohaselt korrektne, kuna keha ei sisalda soojust. Keha võib aga energiat soojuse kujul juurde saada või ära anda kehade temperatuurierinevuse korral (nt ühelt keskkonnalt teisele soojusvahetis))[13];
- kaugküte - soojuse tootmise, võrgu kaudu edastamise ja jaotamise viis tarbijate varustamiseks soojusega kaugküttesüsteemi vahendusel;
- kaugküttesüsteem - soojuse tootmise, edastamise, jaotamise ja tarbimise tehniline süsteem, mille moodustavad soojuse tootmise, edastamise, jaotamise ja tarbimise tehnilised vahendid ja nendega seotud ehitised (hooned, rajatised) ;
- kaugküttepiirkond - kohaliku omavalitsuse (KOV) üldplaneeringu alusel kindlaksmääratud maa-ala, millel asuvate tarbijapaigaldiste varustamiseks soojusega

kasutatakse kaugkütet, et tagada kindel, usaldusväärne, efektiivne, põhjendatud hinnaga ning keskkonnanõuetele ja tarbijate vajadustele vastav soojusvarustus;

- soojuse tootmine on tegevus, mille tulemusena saadakse tarbijapaigaldistes kasutatav soojus;
- soojuse edastamise all mõeldakse soojuse transporti magistraalorustikes;
- soojuse jaotamine on soojuse transportimine võrgu kaudu tarbijapaigaldiseni (transporti all mõeldakse soojuse juhtimist tarbijateni mööda torustikke soojuskandja vahendusel);
- soojuse müük on soojuse üleandmine tarbijale tasu eest või tasuta (müümine on raha eest teatava hinnaga millegi loovutamine (Eesti Keele Instituut, EKI);
- soojusettevõtja - ettevõtja, kes tegutseb vähemalt ühel tegevusalal, milleks on soojuse tootmine, jaotamine või müük, ning vastutab nende tegevustega seonduvate kaubanduslike, tehniliste või hooldusküsimuste lahendamise eest;
- SQL andmebaas on avatud lähtekoodiga andmebaasistandard;
- tarbijapaigaldis on kinnistul, ehitises või ühtse majandusüksuse moodustavas funktsionaalselt seotud ehitiste kompleksis ja nende teenindamiseks vajalikul maal ehitatud omavahel ühendatud soojatorustike ja abiseadmete võrguga ühendatud või ühendatav talituslik kogum tarbija varustamiseks soojusega;
- võrguettevõtja on ettevõtja, kes kasutab võrku soojuse jaotamiseks;
- WACC - *Weighted Average Cost Of Capital*, kaalutud keskmine kapitali hind, kogu intressikandva võlakapitali (laenukapitali) ja omakapitali hind, mis saadakse võla- ja omakapitali osakaalusid arvesse võttes. Konkurentsiamet kasutab WACCi ettevõtte poolt müüdivate teenuste/kaupade hinda lülitatava põhjendatud tulukuse arvutamisel.[5]

2. ETTEVÕTTE TUTVUSTUS

VKGS-le kuuluv Kohtla-Järve kaugküttevõrk on Eesti vanim, sest kaugkütte sünnilinnaks Eestis võibki pidada Kohtla-Järvet (K-J), kus sel viisil hakati elamuid kütma juba 1949. aastal.[6] Alates jaanuarist 2013 on VKGS võrguettevõtte ja tegeleb soojuse edastamise ja müügiga Ahtme-Jõhvi piirkonnas ning K-J-l.

VKGS eelkäija, AS Kohtla-Järve Soojus (AS KJS) asutati 1996. aastal RE Eesti Energia ja K-J Linnavalitsuse poolt. K-J Linnavalitsus müüs oma osaluse OÜle VKG Energia (VKGE) 2006.

aastal, peale mida kuulus 59,2% AS KJS aktsiatest Eesti Energia AS-ile ja 40,8% OÜ-le VKGE. Märtsis 2011 müüs Eesti Energia AS oma 59,2% osaluse ja ettevõtte ainuomanikuks sai VKGE. Mais 2011. võõrandas VKGE kõik aktsiad Viru Keemia Grupp AS-le (VKG). Alates juunist 2011 on ettevõtte ärinimi VKG Soojus AS. Detsembris 2011 omandas ettevõtte K-J Järve linnaosa kaugküttevõrgud. Jaanuaris 2012 lisandusid ettevõtte koosseisu Järve linnaosa kaugküttevõrkude ja müügiiosakonna töötajad, kes kuulusid varem VKGE-le. VKGS soojuse edastamise ja müügitgevus suurenes Järve linnaosa võrra.

VKGS põhiülesanded on klientide varustamine kvaliteetse kaugküttesoojusega, kaugküttevõrgu arendamine, remont ja hooldus ning operatiivjuhtimine. Samuti tegeletakse tarbitud soojuse mõõtmise ja arvestinäitude analüüsiga ning uute klientide liitumistega.

VKGS omandis on Ahtme-Jõhvi piirkonna ja K-J piirkonna kaugküttevõrgud, mis on ühendatud 17,5 km pikkuse K-J-Sompa-Tammiku-Ahtme magistraalorustiku kaudu ühiseks võrgupiirkonnaks.

Ühendatud kaugküttevõrgu torustike kogupikkus oli 2014. aasta lõpul 164,0 km (sh 143,8 km on ettevõtte omandis). Ahtme-Jõhvi piirkonna kaugküttevõrgu kogupikkus on 94,6 km (sh 77,3 km on ettevõtte omandis) ja sellest eelisoleeritud torustiku pikkus moodustab 38,6 km. Maapealsete trasside torustike lõigud on kogu ulatuses varustatud vahtpolüüretaanist isolatsiooniga.

K-J Järve piirkonna kaugküttevõrgu kogupikkus on 52,0 km (sh 49,1 km on ettevõtte omandis) ja sellest eelisoleeritud torude pikkus on 16,9 km.

VKGS kasutab oma trasside kõrval soojuse edastamiseks ka ettevõttele mittekuuluvaid trasse. Varasemalt eramajade omanike kooperatiivide poolt ehitatud trassid muutusid kooperatiivide kadumise järel peremehetuks ja nad munitsipaliseeriti ning kuuluvad KOV-dele. 2013. aastal rekonstrueeriti Jõhvi valla, Keskkonnainvesteeringute Keskuse (KIK) ja VKGS koostööprojekti raames 8,7 km Jõhvi elamurajoonide kaugküttetorustikke. Rekonstrueeritud osad andis Jõhvi vald peale rekonstrueerimistöid VKGS-le rendile.

VKGS omandis on 2011. aasta alguses valminud tipu- ja reservkatlamaja (TRK) Ahtme linnaosas, võimsusega 100 MW. Alates 2013. aastast edastatakse uue magistraalorustiku kaudu Jõhvi-Ahtme piirkonnas vajaminev soojus VKGE-st, puudujääva osa toodab tipu- ja reservkatlamaja. TRK tagab tipukoormused talvisel ajal ja on baaskoormuse reserviks.

VKGS käsitleb oma müügituruna K-J Ahtme-, Järve- ja Sompa linnaosa ning Jõhvi valda ja vallasisesest linnas. Kaugkütet tarbib Ahtme piirkonnas 492 objekti, Järve piirkonnas 452

objekti, Jõhvi piirkonnas 740 objekti. Kokku on objektide arv 1684. Kaugkütte tarbijate hulgas on 525 eramaja, 833 korteriühikut ja 326 asutust/ettevõtet.

VKGS müügiturgudel on kaugküttepiirkonnad KOV-de poolt määratud Jõhvi linnas ja vallas, koos Tammiku asulaga ning K-J-l, Järve linnaosas (ilma Kävata), Sompas ja Ahtmes. Eelnimetatud piirkonnad moodustavad ühtse hinnapiirkonna, va Sompas, kuhu VKGS müüb soojust „hulgi“ ning lõpptarbijani viib soojust K-J linnaettevõtte OÜ Sompas Maja.

Kõikidele soojust tarbivatele objektidele on paigaldatud soojusmõõtesüsteem, et oleks tagatud tarbitud soojuste koguste nõuetekohane mõõtmine. Alates 20. novembrist 2013 a omab VKGS kvaliteedi-, keskkonna ning tervishoiu ja tööohutuse juhtimissüsteemi standardite sertifikaate ISO 9001, ISO 14001 ja OHSAS 18001.

2.1. ÜLEVAADE KAUGKÜTTE MÜÜGIST JA KAUGKÜTTEVÕRKUDE SOOJUSKADUDEST AASTATEL 2001 KUNI 2014

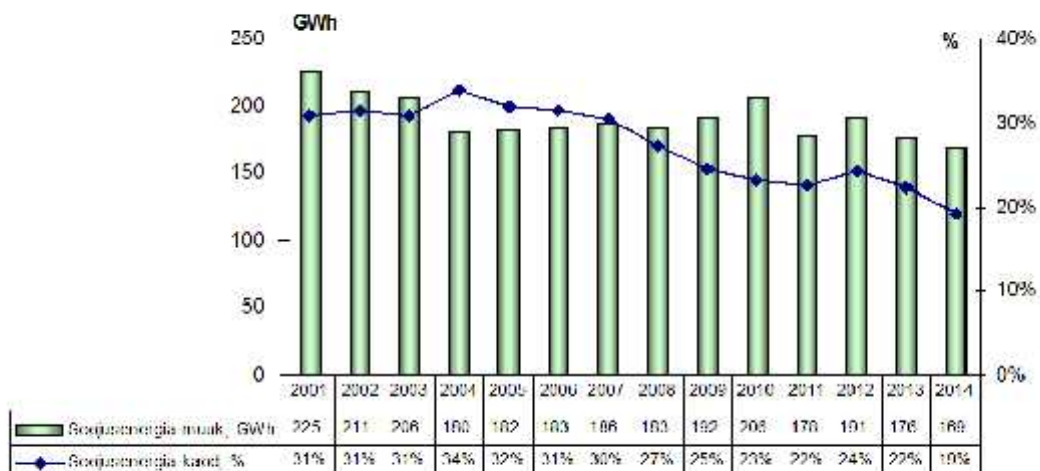
K-J piirkonnas tegeles kaugkütte müügiga vaadeldava perioodi algusest, 2001. aastast kuni 2004 KJS AS, juulist 2004 kuni detsembrini 2011 VKGE ja alates 2012 VKGS.

Järgnevalt on esitatud ülevaade soojuste müügist, kaugküttevõrkude soojuskadudest ja nende muutustest (Tabel 2.1, Tabel 2.2 ja Joonis 2.1, Joonis 2.2).

Tabel 2.1. Ahtme- Jõhvi kaugküttevõrkude piirkond

Aasta	Soojuste väljastamine, MWh	Soojuste müük, MWh	Soojuskaod, MWh	Soojuskaod, %
2001	325 409	225 469	99 941	31
2002	307 539	210 673	96 866	31
2003	297 877	206 207	91 669	31
2004	272 523	180 294	92 229	34
2005	266 937	181 948	84 989	32
2006	266 670	182 963	83 707	31
2007	267 024	185 823	81 201	30
2008	251 111	182 537	68 574	27
2009	254 216	191 869	62 346	25
2010	267 921	205 932	61 989	23
2011	229 216	177 776	51 440	22
2012	252 092	190 938	61 154	24
2013	226 644	176 219	50 425	22
2014	209 576	169 292	40 284	19

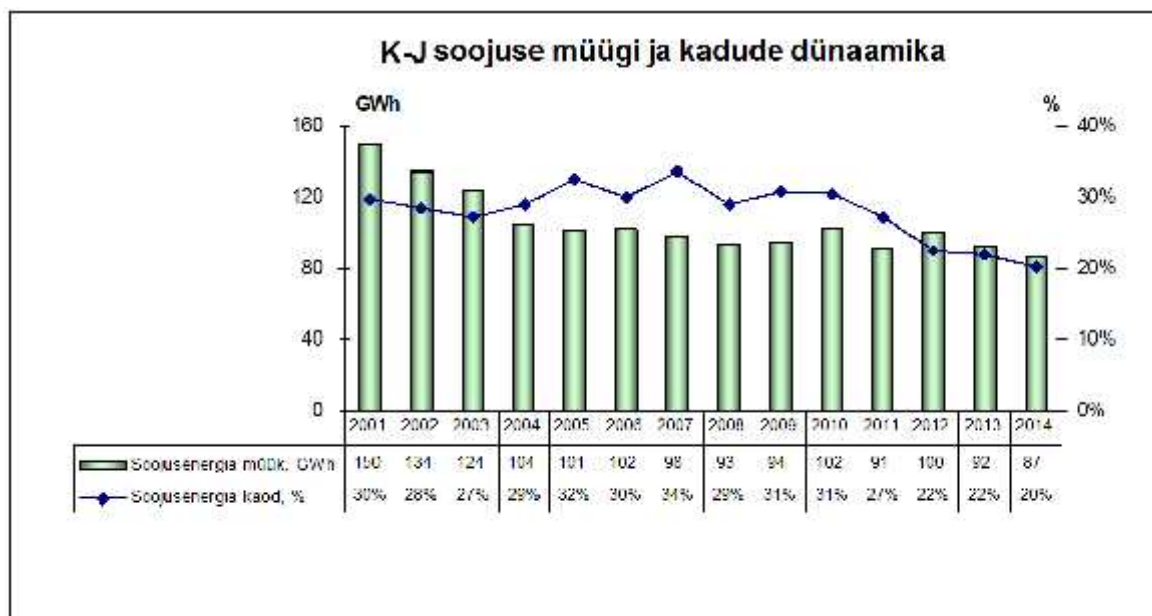
Ahtme-Jõhvi soojuste müügi ja kadude dünaamika



Joonis 2.1. Soojuse müügi ja soojuskadude muutus Ahtme-Jõhvi piirkonnas.

Tabel 2.2. K-J kaugküttevõrkude piirkond.

Aasta	Soojuste väljastamine, MWh	Soojuste müük, MWh	Soojuste kaod, MWh	Soojuste kaod, %
2001	213 200	149 937	63 263	30
2002	186 965	134 128	52 837	28
2003	169 807	123 942	45 866	27
2004	146 754	104 317	42 437	29
2005	149 632	101 102	48 530	32
2006	145 557	102 026	43 531	30
2007	148 337	98 478	49 859	34
2008	130 260	92 587	37 673	29
2009	134 804	93 523	41 281	31
2010	147 395	102 334	45 061	31
2011	124 394	90 623	33 770	27
2012	129 318	100 241	29 077	22
2013	117 397	91 607	25 790	22
2014	108 890	86 941	21 949	20



Joonis 2.2. Ülevaade kaugkütte müügist ja ühise kaugküttevõrgu soojuskadudest aastatel 2013-2014.

Nagu eelpool mainitud, on alates 2013. aastast ettevõtte kasutuses üks ühtne kaugküttevõrk. Ühendatud kaugküttevõrgu soojuskaod koosnevad Ahtme-Jõhvi ning K-J kaugküttevõrkude soojuskadudest ja K-J-Ahtme magistraalorustiku soojuskadudest. Lisaks nimetatud kadudele arvestatakse soojuskadudena ka soojuse omatarbe kogused. Soojuse müügi ja ühendatud kaugküttevõrgu soojuskadude dünaamika viimaste aastate kohta on esitatud tabelis 2.3.

Tabel 2.3. Soojuse müügi ja ühise kaugküttevõrgu soojuskadude dünaamika.

Aasta	Soojuse väljastamine, MWh	Soojuse müük, MWh	Soojuskaod, MWh	Soojuskaod, %
2013	359 909	272 117	87 792	24
2014	334 552	261 261	73 291	22

Soojuskadude protsent, e suhteline soojuskadu sõltub soojuse müüginahust. Kui soojuse tarbimine väheneb, siis soojuskadu protsentuaalselt väljendudes kasvab ja vastupidi. Seetõttu omab soojuse müük väga olulist mõju soojuskadude arvutamisel, sest kadude protsent muutub ka juhul kui trass töötab samasugustes tingimustes ja soojuskaod absoluutväärtuses ei muutu. Soojuse müügi ja edastuse suhe ei ole ainus, mis mõjutab kaugküttevõrgu suhtelist soojuskadu. Kaugküttevõrgu efektiivsust tervikuna, mitte ainult soojusisolatsiooni efektiivsust, saab hinnata suhtelise soojuskaod järgi. Suhteline soojuskadu sõltub nii soojusisolatsiooni efektiivsusest kui ka võrgu soojuskoormusest, temperatuurirežiimist ning torude diameetrist:

- mida suuremat soojushulka Q/L , MWh/m, kaugküttevõrgu kaudu edastatakse, seda väiksem on kaugküttevõrgu suhteline soojuskadu;
- mida efektiivsem on soojusisolatsioon ja väiksem üldine soojuslähikandetegur $K_{\text{ü}}$, $W/(m^2K)$, seda väiksem on suhteline soojuskadu;
- mida madalam on kaugküttevõrgu vee temperatuurirežiim, $^{\circ}C \cdot h$, seda väiksem on suhteline soojuskadu;
- mida väiksem on torude diameeter ja seega ka välispind A/L , m^2/m , seda väiksem on suhteline soojuskadu.[7]

Kaugkütte piirkonna katkematu varustamine soojusega eeldab töökorras kaugküttevõrgu torustikke ja avariolukordade vältimist. Ettevõtte opereerimisel on muuhulgas ca 80 km halvas seisukorras torustikke, mida tuleb varustuskindluse tagamiseks rekonstrueerida ja võimalusel asendada väiksema diameetriga eelisoleeritud torudega.

Esmajärjekorras on vaja korda teha magistraalitorustikud, mille seisundist sõltub suurte rajoonide soojusega varustamine. Teise prioriteedina on vaja rekonstrueerida jaotusvõrgud ja trassilõpud. Kaugküttetorustike renoveerimine on planeeritud mitmeks aastaks ja sõltub investeeringute finantseerimise võimekusest.

Ettevõtte kavandab ELi energiatõhususe vahendite kasutamist. 2015. aastal on planeeritud esitada taotlused KIKi abiraha saamiseks meetmest „Amortiseerunud ja ebaefektiivse kaugküttetorustiku renoveerimine“.[8] Selle projekti raames planeeritakse renoveerida 2016.-2017. aastatel 32 km kaugküttetorustikke.

K-J kaugküttevõrgust köetav kubatuur on 2 275 tuh m^3 ja arvutuslik kaugküttekooormus 61,4 MW. Kokku on ühendatud kaugkütte võrku 451 objekti. Sooja vee arvutuslik kooormus on suhteliselt väike – 6,2 MW. See teeb kokku arvutuslikuks tarbimiskooormuseks 67,6 MW. 2010. aasta talve maksimaalne kaugküttevõrgu kooormus oli 60 MW 27. jaanuaril ööpäeva keskmise välisõhu temperatuuri juures $-24,4^{\circ}C$. See on lähedane arvutuslikule soojuskooormusele.

Jõhvi – Ahtme kaugküttevõrgust köetav kubatuur on 3 100 tuh m^3 ja arvestuslik kaugküttekooormus 83,8 MW. Objekte on võrku ühendatud 943, e Ahtmes 492 ja Jõhvis 740 objekti. Sooja vee kooormus on 8,4 MW, mis teeb arvestuslikuks tarbimiskooormuseks kokku 92,2 MW (Tabel 2.4).

Jõhvi ja K-J Ahtme linnaosa kaugküttevõrku edastatakse peaaegu kogu vajaminev soojus läbi Ahtmet ja Järve linnaosa ühendava magistraalitorustiku VKGE Põhja Soojuselektrijaamast (SEJ).

Tabel 2.4. Ühendatud kaugküttevõrgu arvutuslikud koormused

Asum	Kubatuur	Küte	Soe vesi	Koguvõimsus
Ühik	tuh.m ³	MW	MW	MW
Jõhvi	1 140	30,8	3,1	33,9
Ahtme	1 960	53,0	5,3	58,3
K-J	2 275	61,4	6,2	67,6
KOKKU	5 375	145,2	14,6	159,8

3. TRADITSIOONILINE MÕÖTESÜSTEEM

3.1. MÕÖTEANDMETE EDASTAMINE, TAVAPÄRANE SÜSTEEM

Soojusarvestite paigaldamine Eesti kaugküttesüsteemides algas enne 1988.a. kuid suurema hoo sai see sisse alles pärast Eesti taasiseseisvumist. Katlamajade soojusarvestite paigaldamine algas pisut varem kui tarbimise mõõtmine, sest see võimaldas hinnata katlamajade terviklikku kasutegurit. Koos soojusarvestite paigaldamisega algasid ka kaugküttevõrkude arengus mitmed olulised režiimilised muutused, mis omakorda olid seotud kaasaegsete soojussõlmede ja soojuse mõõtmise evitamise tarbijate juures. Kuni arvestite paigaldamiseni arveldati tarbijatega katlamaja soojuse tootmiskulude, mitte tegeliku mõõdetud soojuse tarbimise järgi.[9]

VKGS-i eelkäia, KJS alustas soojusarvestite paigaldamist umbes samal ajal kui seda tehti mujal Eestis, e üheksakümnendate lõpus. Alates 1998. aastast on ettevõtte soojuse tarbijapaigaldistesse ühendatud Kamstrupi arvestid Multical III, Multical 66C ja Multical 601 ja Multical 602 koos vooluhulgamõõturitega Ultraflow. Kõik 1684 soojuse tarbijat on varustatud soojusmõõteseadmetega.

Sellest ajast alates oli soojuse tarbimisandmete edastamise süsteem tänu interneti arengule küll muutunud, kuid oma olemuselt muutumatuna püsinud – e tarbija on ise pidanud oma tarbimisandmeid edastama. Soojuse mõõteandmed edastati müügiosakonda tarbijate poolt 1 kord kuus kas VKGS internetipõhist müügirakendust kasutades, e-maili või telefoni teel.

Sellises süsteemis on vigade esinemise tõenäosus suur. Vead võivad tekkida andmete võtmisel tarbijate poolt ja nende edastamisel. Edastatakse muuhulgas tahtlikult eksitavad andmed (vähem või rohkem kui tarbitud), mis omakorda suurendab nn kommertskaadusid.

Realiseerimisandmed sõltuvad tarbijate heast tahtest, näiteks tihti langeb aprillis soojuskadude protsent koos kütteperioodi lõppemisega, sest tarbijad esitavad andmed nõ tagantjärgi – juurde arvatakse see osa, mis talvel teatamata jäi. Müügiosakonna töötajatel on arvestite tegelikku näitu suhteliselt keeruline kontrollida kuna ligipääs soojussõlmedele võib olla piiratud

(soojussõlme esindaja või omanik viibib tööl, puhkusel, ära jne). Peatükis 2.1 toodud soojuskaod aastate lõikes on küll õiged, kuid väga tugevaid anomaaliaid võis mõnikord täheldada üksikute kuude lõikes. Tavaliselt olid tarbija poolt edastatud andmetes suured ebatäpsused väga külmadel perioodidel või nendel kuudel kui tarbija teadis, et hakkab kehtima uus hind.

Soojusarvestite arhiivide lugemiseks ja andmete kontrollimiseks kasutati optilist porti ja andmed loeti kohapealt käsitsi Multical terminalist või Multiterm WorkAbout abil.

Andmete kogumine käsiterminali Multiterm WorkAbout raadiokanaliga on osa Kamstrupi soojusarvestite kontrollsüsteemist ning selle abil saab soojusarvesteid kontrollida raadiosignaali abil. Terminal laseb üle vaadata rohkem kui tuhat soojussõlme ning VKGS töötaja kontrolliski linnaosas autoga liikudes tarbimisandmeid. Selle süsteemi puhul paigaldati soojusarvestile raadiomodem, mille kaudu edastati andmed käsiterminali. Andmeedastus toimus sagedusel 4.3 MHz ja edastuskaugus küündis 500 meetrini.

Optilise porti kasutamine eeldas VKGS töötaja füüsilist kohalolekut soojussõlmes. Paraku võttis kuuekümne päeva arhiivandmete lugemine aega ca 20 minutit.

Peale aja- ja töömahukuse oli süsteemi suurimaks miinuseks andmete intervall aja vahel, mis valitses tarbija näitude fikseerimise ja aja vahel, mil fikseeriti SEJst väljastatud andmed. Erinevatel aegadel fikseeritud andmed moonutasid soojuskadude hindamist.

3.2. SOOJUSKADUDE ARVUTAMINE INVESTEERIMISOTSUSTE TEGEMISEKS EMPIIRILISE ANALÜÜSIGA

Empiirilise analüüsiga leitakse vastused küsimustele soojuskadudest kaugküttetorustikes, andmete kogumise ja töötlemisega. Andmeid kogutakse vaatlustel, analüüsitakse torustikes esinevate avariide arvu ja –ulatust ning remondivajadust. Andmete töötlemisega, soojuskadude kalkuleerimisega ning majandusarvutuste tegemisega määratakse lõplik investeerimisvajadus. Empiiriline analüüs, mis peab andma vastused kaugküttetorustike seisukorra kohta, on allutatud ettevõttes ja kaugküttesektoris läbiproovitud loogikale. Investeerimisotsused kaugküttetorustike renoveerimiseks tehti siiani ja suures osas tehakse ka praegu kasutades empiirilisi analüüse ning valemeid soojuskadude määramiseks, mis on soojusettevõtjate hulgas laialdaselt kasutusel. Allpool väljatoodud valemid on kasutusel ka VKGS-s soojuskadude määramisel ja annavad hea, kuigi mitte täieliku ülevaate kasutusel olnud ja praegu kasutusel olevatest valemitest. Valemid ja soovitused pärinevad raamatust „*District Heating Handbook*“, autoriks Peter Randlov.[10]

Kaugküttetorustikud paiknevad VKGS kaugküttepiirkonnas kas estakaadidel, raudbetoonkanalites, või on eelisoleeritud torude puhul maasse kaevatud. Igat paigaldusviisi iseloomustavad teatud tegurid, millest sõltub soojuskao suurus. Kui kaugküttetorud on ühtemoodi soojustatud, siis on soojuskadu ümbritsevasse keskkonda on kõige suurem estakaadil paiknevast torustikust, kõige vähem kaob soojust eelisoleeritud torudest.

Soojuskadu torupaari kohta

Soojuskadu pealevoolutorule f ja tagasivoolutorule r arvutatakse

$$\Phi_f = U_1(t_f - t_s) - U_2(t_r - t_s) \quad (3.1)$$

$$\Phi_r = U_1(t_r - t_s) - U_2(t_f - t_s) \quad (3.2)$$

Üldine soojuskadu on

$$\Phi_f + \Phi_r = 2(U_1 - U_2) \left(\frac{t_f + t_r}{2} - t_s \right) \quad (3.3)$$

kus U_1 ja U_2 soojuskao tegurid
 t_f ja t_r peale- ja tagasivoolu temperatuurid
 t_s liikumatu pinnase temperatuur Z sügavusel

Sümmeetriliste torude puhul arvutatakse soojuskao koefitsiendid järgmiselt:

$$U_1 = \frac{R + R}{(R + R)^2 - Rh^2} \quad (3.4)$$

$$U_2 = \frac{Rh}{(R + R)^2 - Rh^2} \quad (3.5)$$

Kus R_s pinnase termiline eritakistus
 R_i isolatsioonimaterjali termiline eritakistus
 R_h peale- ja tagasivoolu torude vaheline termiline eritakistus

Summaarne soojuskadu

$$U_1 - U_2 = \frac{1}{R + R + Rh} \quad (3.6)$$

Pinnase termiline eritakistus

$$R = \frac{1}{2\pi} l \frac{4Z}{D} \quad (3.7)$$

kus Z_s korreigeeritud väärtus sügavusel Z , nii et arvutatakse termilist takistust üleminekul pinnases R_0 ja maapinnal $Z_c = Z + R_0 \times \lambda$
 Z maa-alune paigaldussügavus pinnalt toru teljeni
 λ pinnase soojusjuhtivustegur. λ väärtus on tavaliselt märja pinnase jaoks 1,5...2 W/m°C ja kuiva liiva korral ca 1,0 W/m°C
 R_s tavaliselt 0,0685 m² °C/W

Isoleermaterjali termiline eritakistus

$$R = \frac{1}{2\pi\lambda_i} \ln \frac{D_{PU}}{d_o} \quad (3.8)$$

kus D_{PU} isolatsioonimaterjali diameeter
 d_o töötoru välisdiameeter
 λ_i on PU isolatsiooni soojusjuhtivustegur. Piirväärtus EVS 253 järgi $\lambda_i = 0.033$ W/m°C.
 Praktilistes arvutustes $\lambda_i = 0,030$ W/m°C või vastavalt tootjate käsiraamatule.

Peale- ja tagasivoolu torudevaheline termiline eritakistus

$$R_h = \frac{1}{4\pi\lambda_s} \ln \left(1 + \left(\frac{2Z_c}{C} \right)^2 \right) \quad (3.9)$$

kus C toru telgede vaheline kaugus

Analoogseid arvutusvalemeid soovitavad kasutada ka Eesti autorid Teet-Andrus Kõiv, Aivar Rant raamatus „Hoonete küte“.[11]

Lisaks ülaltoodud valemitele on järgnevalt ära toodud VKGS-s kasutust leidnud valemid, mis on välja toodud Aleksandr Hlebnikovi doktoritöös 2010. aastal „*The Analysis of Efficiency and Optimization of District Heating Networks in Estonia*“[14].

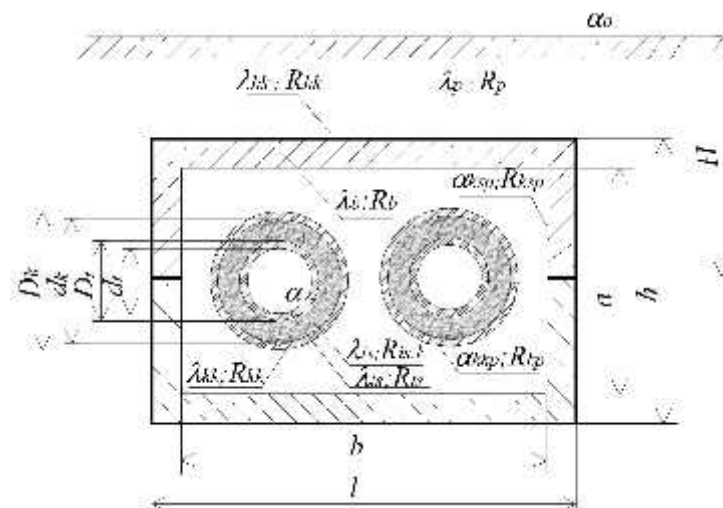
Maaaluses kanalis asuva trassi soojuskadude arvutus

Maaaluse trassi soojuskaod arvutamiseks on vaja teada, millised on torude soojuslähikandetegurid sõltuvalt toru läbimõõdust, trassiosade pikkustest ning soojuskandja ja välisõhu temperatuuride vahe.

Samuti on vaja teada milliseid soojusisolatsioonmaterjale on kasutatud, kui paksud on soojusisolatsiooni kihid, kui sügaval asub betoonkanal. Samuti on vaja teada mis tüüpi pinnases ta asub. Nende põhjal saab arvutada soojusisolatsiooni kõigi üksikute kihtide termilised takistused. Samuti tuleb arvestada sellega, et toimub soojusvahetus kahe toru vahel. Pealevoolutoru, tänu kõrgemale vee temperatuurile, annab osaliselt soojust tagasivoolutorule ära ja kompenseerib mingil määral tema soojuskadusid.

Maaaluses kanalis asuva kaugküttetorustiku skeem on toodud joonisel. Joonisel 3.3 on näidatud termilise kogutakistuse koostisosad.

Teades üksikuid termilisi takistusi ja arvestades torude soojusliku vastasmõju võib leida torude soojuslähikandetegurid.



Joonis 3.3. Maaaluses betoonkanalis asuva soojustorustiku ristlõige[14]

Pealevoolutoru soojuslähikandetegur määratakse:

$$K_p = \frac{1/R_{p, is} \cdot (1/R_{t, is} + 1/R_{k-o})}{1/R_{p, is} + 1/R_{t, is} + 1/R_{k-o}} \text{ W/(mK)} \quad (3.10)$$

$$K_p = \frac{1/R_{p, is} \cdot (1/R_{t, is} + 1/R_{k-o})}{1/R_{p, is} + 1/R_{t, is} + 1/R_{k-o}} \text{ W/(mK)} \quad (3.11)$$

Tagasivoolutoru soojuslähikandetegur määratakse järgmiselt:

$$K_t = \frac{1/R_{t, is} \cdot (1/R_{p, is} + 1/R_{k-o})}{1/R_{p, is} + 1/R_{t, is} + 1/R_{k-o}} \text{ W/(mK)} \quad (3.12)$$

Pealevoolutoru ja tagasivoolutoru soojusvahetust arvestav soojuslähikandegur on määratud järgmiselt:

$$K_{p,t} = K_{t,p} = \frac{1/R_{p,is} \cdot 1/R_{t,is}}{1/R_{p,is} + 1/R_{t,is} + 1/R_{k-o}} W/(mK) \quad (3.13)$$

kus $R_{p,is}$ - pealevoolutoru isolatsiooni termiline takistus (mK)/W,
 $R_{t,is}$ - tagasivoolutoru isolatsiooni termiline takistus (mK)/W,
 R_{k-o} - kanali ja pinnase termiline takistus (mK)/W.

Toru isolatsiooni termiline takistus koosneb järgmistest osadest:

$$R_{is} = R_{tsp} + R_{ts} + R_{is,k} + R_{is,kk} + R_{kkp} \quad (mK)/W, \quad (3.14)$$

kus R_{tsp} - toru sisemise pinna termiline takistus (mK)/W,
 R_{ts} - toru sein termiline takistus (mK)/W,
 $R_{is,k}$ - soojusisolatsioonikihi termiline takistus (mK)/W,
 $R_{is,kk}$ - isolatsiooni kattekihi termiline takistus (mK)/W,
 R_{kkp} - toru kattekihi välispinna termiline takistus (mK)/W.

Kui toru on paigaldatud pinnasse, tuleb arvestada ka pinnase soojustakistust. Teatud sügavusel pinnases olevas raud-betoonkanalis paikneva kaugküttetorustiku puhul muutub arvutus tunduvalt keerukamaks, sest arvestada tuleb ka betoonkanali soojustakistust.

Betoonkanali ja pinnase termiline takistus koosneb järgmistest osadest:

$$R_{k-o} = R_{ksp} + R_{ks} + R_{hk} + R_p \quad (mK)/W, \quad (3.15)$$

kus R_{ksp} - kanali sisemise pinna termiline takistus (mK)/W,
 R_{ks} - kanali sein termiline takistus (mK)/W,
 R_{hk} - kanali hüdroisolatsioonikihi termiline takistus (mK)/W,
 R_p - pinnase ja pinnase pinna termiline takistus (mK)/W.

Kaugküttetorustiku pealevoolu- ja tagasivoolutorude soojuskadu on järgmine:

$$q_p = K_p(t_p - t_{\delta}) - K_{p,t}(t_t - t_{\delta}) \quad W/m, \quad (3.16)$$

$$q_t = K_t(t_t - t_{\delta}) - K_{t,p}(t_p - t_{\delta}) \quad W/m, \quad (3.17)$$

kus K_p - pealevoolutoru soojuslähikandegur W/(mK),
 K_t - tagasivoolutoru soojuslähikandegur W/(mK),
 $K_{p,t} = K_{t,p}$ - pealevoolutoru ja tagasivoolutoru

soojusvahetust arvestav soojuslähikandetegur $W/(mK)$,

t_p - vee temperatuur pealevoolu torus $^{\circ}C$,

t_t - vee temperatuur tagasivoolu torus $^{\circ}C$,

t_{δ} - välisõhu temperatuur $^{\circ}C$.

Kui pealevoolu- ja tagasivoolutoru soojuslähikandetegurid on võrdsed, siis maaaluse kaugküttetorustiku soojuskadu võib leida järgmiselt:

$$q = q_p + q_t = 2 \cdot (K_l - K_o) \cdot \left(\frac{t_p + t_t}{2} - t_{\delta} \right) = 2 \cdot U \cdot \quad W/m, \quad (3.18)$$

kus

$$K_l = K_p = K_t, \quad K_o = K_{p,t} = K_{t,p}$$

$U = K_l - K_o$ $W/(m \cdot K)$ on üldine soojuslähikandetegur

$$= \frac{t_p + t_t}{2} - t_{\delta} \quad ^{\circ}C$$

Analoogselt ülaltoodud valemitele on võimalik välja arvutada soojusisolatsioonikihi ja pinnase termilised takistused. Teised termilised takistused, on nende takistustega võrreldes väiksed.

Toru sisemise pinna termiline takistus on järgmine

$$R_{isp} = \frac{1}{f \cdot d_t \cdot r} \quad (mK)/W, \quad (3.19)$$

kus d_t - toru sisemine diameeter m,

r - soojusülekanneveel toru sisepinnale $W/(m^2K)$.

Vee ja toru sisemise pinna vahel toimub väga intensiivne soojusvahetus ning soojusülekanneveel toru sisemisele pinnale on suur. Tänu sellele toru sisemise pinna termiline takistus on väga väike, võrreldes teiste termiliste takistustega.

Toru seina termiline takistus on samuti väga väike tänu terase heale soojusjuhtivusele:

$$R_{is} = \frac{1}{2f \cdot \lambda_{ts}} \cdot \ln \frac{D_t}{d_t} \quad (mK)/W, \quad (3.20)$$

kus λ_{ts} - terase soojusjuhtivustegur $W/(mK)$,

D_t - toru välislähikandetegur m.

Samamoodi on võimalik leida arvutuslikult eelisooleeritud-, õhu- ja maapealsete kaugküttetorustikute soojuskadusid.

Soojusisolatsioonmaterjali omadused

Vanadel trassidel on kasutusel soojusisolatsioonmaterjalina tavaliselt mineraalvill. Soojusisolatsioonmaterjali soojusjuhtivustegur sõltub materjali temperatuurist, niiskusest, tihedusest, poorsusest, ja kiudude diameetrist. Temperatuuri tõusust tingitud soojusjuhtivusteguri suurenemine on seda suurem, mida tihedam on mineraalvill.

Kiudmaterjali läbiv soojusvoog koosneb kolmest osast: konkutiivne soojusülekanne mööda materjali kiude, molekulaarne soojusülekanne poore täitvas gaasis ja kiirguslik soojusülekanne poore täitvas gaasis.[14]

Eristatakse kolme soojuse leviku (soojusülekanne) viisi: soojusjuhtivus, konvektsioon ja soojuskiirgus. Soojusjuhtivus on nähtus, mille puhul soojuse levik kehas toimub keha väikeste erineva temperatuuriga osakeste omavahelise vahetu kontakti teel.

Konvektsiooniks nimetatakse soojuse levikut, mis tekib teatud soojussisaldusega vedeliku- või gaasiosakeste edasiliikumise ja segunemise tulemusel. Samaaegselt toimub igas vedelikus või gaasis ka soojusjuhtivuse protsess. Seetõttu mõistetakse praktiliselt konvektsiooni all terviklikku protsessi, kaasa arvatud ka soojusjuhtivus. Praktilist tähtsust omab soojusvahetus sein ja liikuva vedeliku või gaasi vahel. Sellisel kujul käsitletakse konvektsiooni kitsamas mõttes.[12]

Soojuskiirgus esineb kõikidel kehal, mille temperatuur on kõrgem absoluutsest nullist. Soojuse levik toimub siin soojuse muundumisel elektromagnetiliste lainete energiaks ja vastupidi. Peamine osa soojusest kiiratakse lainepikkuste diapsoonis 0,4 kuni 40 mikromeetrit (μm), üldiselt piires 0,4-800 μm . Selles diapsoonis kehadelt kiirguvad elektromagnetilised lained muunduvad teisele kehale langedes soojuseks. Kehade poolt kõikidel lainepikkustel väljasaadetav summaarne (integraalne) kiirgus sõltub suurel määral absoluutsest temperatuurist. Praktiliselt võib soojuskiirgus esineda koos soojusjuhtivuse ja konvektsiooniga. Seetõttu tuleb soojusülekanne sageli käsitleda liitsoojusülekanadena, võttes arvesse mitme soojuse leviku vormi samaaegset esinemist.[12]

Konduktsioon on tahketes materjalides toimuv soojuse leviku viis, kui molekulid lähtuvad kütteallikast ühest materjali poolest. Need molekulid annavad edasi soojust materjali külma ossa.

Enamus kiudmaterjale seob niiskust ümbritsevast keskkonnast. Neeldunud niiskuse kogus sõltub materjali füüsikalistest omadustest (samuti ka kiudude sideaine omadustest), temperatuurist ja keskkonna niiskusest. Neeldunud niiskus koguneb kõigepealt kiudude välispinnal adsorbtsiooni kihina, siis täidab ära kõik kiudmaterjali poorid. Kiudmaterjali

niiskussisalduse kasv oluliselt suurendab soojusjuhtivustegurit. Niiske õhu jahtumisel kokkupuutel külmemä kanalite sisepinnaga toimub vee väljasadenemine ja veepiiskade langemine toru isolatsiooni kattekihile. Niiskus võib sattuda maaalusesse kaugküttetorustikku samuti läbi kanali betoonelementide liitekohtade, ning läbi raudbetooni, kui bituumenist hüdrosolatsioon on vananenud ja kaotanud oma niiskuspõlmamise võime.

Vihmavee ja lume sulamisel tekkiv vesi, sattudes ebatiheduste kaudu kanalitesse, suurendavad olulisel määral soojusisolatsioonimaterjali soojusjuhtivustegurit, seega ka üldist soojuslähikandetegurit, samuti suureneb pinnase soojusjuhtivus. Vana maaaluse kaugküttetorude soojuslähikandetegurid võivad suureneda viimasel aastaajal 2–3 korda.[7]

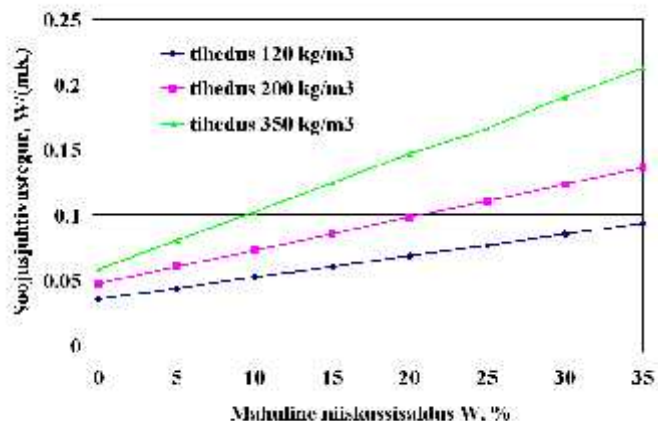
Soojusisolatsioonimaterjali poorsuse suurenemisel kuni $p = 0,98$ efektiivne soojusjuhtivustegur saavutab minimaalse väärtuse. Mahulise tiheduse vähenemisel ja poorsuse suurenemisel mööda kiude minev soojusvoo osa väheneb ja poorsuse lähenemisega ühele läheneb nullile. Soojusvoo molekulaarne osa suureneb poorsuse suurenemisel ja saavutab maksimaalse väärtuse, mis võrdub poore täitva gaasi soojusjuhtivusega. Kuid soojusvoo molekulaarse osa suurenemine toimub aeglasemalt kui konduktiivse osa vähenemine ja seetõttu efektiivne soojusjuhtivus ei suurene. Edasisel poorsuse suurenemisel ($p > 0,98$) soojusjuhtivustegur hakkab uuesti suurenema tänu kiirgusliku soojusülekanne intensiivistumisele.

Vanade kaugküttetorustikude torude isoleerimisel on kasutatud põhiliselt mineraalvilla tihedusega 135-170 kg/m³. Montaažitööde käigus on mineraalvilla kokku surutud ja selle tulemusena on tihedus suurenenud ligikaudu 1,5 korda ja ulatus kuni 200 kg/m³. Lõpptulemusena suurenes ka soojusjuhtivustegur. Joonisel 2.4 on toodud mineraalvati soojusjuhtivustegur olenevalt tihedusest ja mahulisest niiskusest.

Arvutusmudeli koostamisel on vanades trassiosades mõlema toru soojusisolatsiooni kihi paksuseks võetud 40 mm (mineraalvill paksusega 50 mm): torudele DN 25-DN 200 ja suurema diameetriga torudele, alates DN250-st, on võetud 80 mm (kaks kihti paksusega 50 mm). Uute lõikude puhul on võetud tegelikult teadaolev paksus.

Paljude materjalide (eriti just ehitus- ja isoleermaterjalide) soojusjuhtivust mõjutab poorsus. Oluline seejuures ei ole mitte ainult aine karkassimaterjali soojusjuhtivus, vaid ka poore täitva gaasi soojusfüüsikalised omadused ning konvektiivne ja kiirguslik soojusülekanne poorides. Nii on materjali poorsus soojusjuhtivust määrav parameeter, mille suurenedes keha soojusjuhtivus halveneb.[13]

Soojuskadude arvutused on tehtud eeldades mineraalvilla kolme erinevat seisundit. Kui mineraalvill on täielikult kuiv: soojusjuhtivustegur 0,05 W/(mK) ja kui on osaliselt niiske: soojusjuhtivustegur 0,08 W/(mK) ($W = 15\%$) ja 0,145 W/(mK) ($W = 35\%$).



Joonis 3.4. Mineraalvilla soojusjuhtivustegur olenevalt mahulisest niiskusest temperatuuril 30°. [14]

Kasutatud soojusjuhtivustegurite väärtused on suures osas tinglikud. Vanades, mineraalvillaga isoleeritud kaugküttetorustikes on mineraalvilla soojusjuhtivusteguriks 0,05 W/(mK) ja see on kehtiv ühtlase poorsusega mineraalvillale.

Head soojusjuhtivust ja suuri soojuskadusid põhjustavad eelkõige:

- Kaugküttetorustiku halb paigaldusviis, ehitamata on jäetud (või on korrast ära) kanalite dreanaaž.
- Estakaadil (tugedel) paikneval torustikul on soojusisolatsioon korrast ära, kattekiht katki (sademevesi pääseb sisse), kiirgussoojusülekanne.
- Pinnases paiknevad eelisoleeritud torud
- Niiskunud isolatsioon (kaitsekesta hermeetilisus kadunud).
- Pinnas väga niiske ning seetõttu selle soojusjuhtivus suur, dreanaaž ehitamata.
- Kui lumi talvel kaugküttetorustiku peal sulab, suurenevad pinnase niiskus ja soojusjuhtivus ning soojuskadu suureneb veelgi.

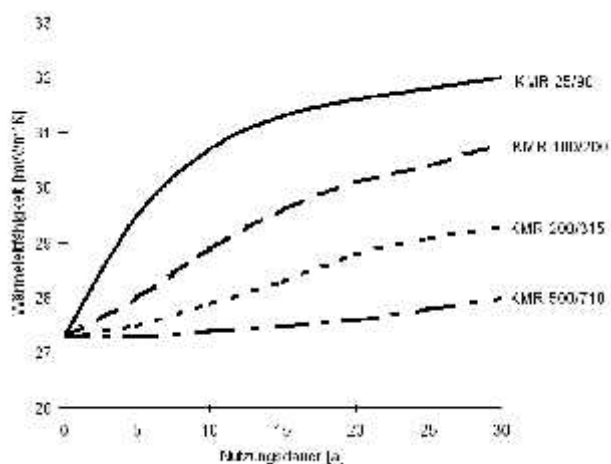
Raudbetoonkanalites paiknev torustiku halb soojusisolatsioon, mida põhjustab:

- isolatsioonimaterjali suhteliselt suur soojusjuhtivustegur;
- niiskunud isolatsioonimaterjal;
- laialivajunud (halvasti kinnitatud) isolatsioonimaterjal;
- isolatsioonimaterjali katkine (purunenud) kattekiht;

- isolatsioonita reguleerimis- ja/või sulgarmatuur jaotuskambrites;
- kevadeti (sügiseti) võivad kaugküttekanaalid olla kohati vett täis (nn uppunud torustikud)[15]

Soojusjuhtivus ja difusioon polüuretaanvahus

- Jäikadele polüuretaanvahtudele esitatakse erilised nõudmised ka nende
 - soojusjuhtivuse ja
 - gaasidifusiooni osas.
- Soojusjuhtivus suureneb kasuliku tööea jooksul. Määravaks on seejuures muu hulgas difusiooniprotsessid (rakugaaside vahetus ümbritseva atmosfääriga), polüetüleenümbristoru või vastavalt difusioonitõkkekihi paksus, jäiga polüuretaanvahu mahukaal, töötemperatuurid, termiline vananemine jne.
- Joonis 3.5 näitab erinevate mõõtmetega torude soojusjuhtivuse muutumist ajas.



Joonis 3.5 Tsüklopentaaniga paisutatud soojusisolatsiooniga torude soojusjuhtivuse muutus[16]

kus, λ – Wärmeleitfähigkeit - soojusjuhtivus, W/mK

t – Nutzungsdauer – tööiga, a

KMR – eelisoleeritud toru

Soojusjuhtivust näidatakse tavaliselt jäiga polüuretaanvahu keskmise temperatuuri 50°C (50) kohta. Tuleb arvestada, et soojusjuhtivus sõltub keskmisest temperatuurist; kõrgemate keskmiste temperatuuride juures soojusjuhtivus suureneb. Muuhulgas sõltuvad jäikade polüuretaanvahtude omadused ka polüooli koostisest ja vahustusprotsessist.[16]

3.3. NÄITED EMPIIRILISTE ANALÜÜSIDE ABIL TEHTUD INVESTEERIMISOTSUSTEST

3.3.1. K-J kaugküttetorustiku renoveerimine 2013. aastal

2013. a realiseeriti ettevõttes K-J linnaosa kaugküttetorustikude renoveerimise plaan. Renoveerimise planeerimisel kasutati soojuskadude määramiseks valemide raamatust „*District Heating Handbook*“ [10].

Antud näide on sobilik kuna töid teostati Keskkonna Investeeringute Keskuse (KIK) kaasfinantseerimise abil ja peale tööde teostamist kontrolliti saavutatud soojuskadude vähenemist väga tähelepanelikult nii VKGS kui ka KIK-i poolt

Tabel 3.1. K-J linnaosa kaugküttetorustike renoveerimise plaan

Investeeringu objekt	K-J kaugküttetorustikude renoveerimine soojuskadude vähendamiseks
	(Koos KIK abirahaga) Investeering teostatakse juhul, kui KIK eraldab Järve linnaosa trasside renoveerimiseks abiraha. Esialgse VKGE poolt koostatud taotluse andmed uuendatud ja KIK esitatud.
Olukord enne renoveerimist	Kaugküttetorustikud, mis käesoleva projekti raames kuuluvad rekonstrueerimisele, on ehitatud 70.-tel aastatel, mis on suurel määral üledimensioneeritud ning halvas tehnilises seisukorras. K-75 - K-91 - 1050 m, soojuskaod enne inv. 2570 MWh P-5 - K23/1 - 765 m, soojuskaod enne inv. 2085 MWh K-25 - K-65- 240 m, soojuskaod enne inv. 588 MWh K-67 - K-72 - 490 m, soojuskaod enne inv. 998 MWh K-87 - K-58 - 275 m, soojuskaod enne inv. 560 MWh K-66 – K-35/14 – 595 m, soojuskaod enne inv 1380 MWh Antud trassilõikudes soojuskaod enne investeerimist moodustavad 8181 MWh.
Ettepanekud	Renoveerida koos KIK abirahaga kaugküttetorustikud K-J Järve linnaosa kaugküttepiirkonnas, mis on mitterahuldavas seisukorras ning soojuskaod antud trassilõikudes väga suured.

Saavutatav olukord	<p>Rekonstrueeritakse kokku 3479 m kaugküttetorustiku.</p> <p>Pärast investeerimist on soojuskaod järgmised :</p> <p>K-75 - K-91 - 977 m, soojuskaod pärast inv. 439 MWh</p> <p>P-5 - K23/1 - 894 m, soojuskaod pärast inv. 411 MWh</p> <p>K-25 - K-65 - 250 m, soojuskaod pärast inv. 104 MWh</p> <p>K-67 - K-72 - 491 m, soojuskaod pärast inv. 351 MWh</p> <p>K-87 - K-58 - 275 m, soojuskaod pärast inv. 220 MWh</p> <p>K-66 – K-35/14 – 592 m, soojuskaod pärast inv 88 MWh</p> <p>Antud trassilõikudes soojuskaod pärast investeerimist moodustavad 1613 MWh.</p> <p>Rekonstrueerimise tulemusena vähenevad antud trassilõikudes soojuskaod 6568 MWh võrra.</p> <p>Investeeringu positiivne efekt on ettevõtte muutuvkulude ja kaugküttevõrgu trasside hooldus-ja remondikulude vähenemises soojuskadude vähenemise maksumuse võrra.</p> <p>* Kulude kokkuhoid (soojuskadude maksumuse vähenemine)</p> <p>* Töökindluse suurendamine</p> <p>* Kehtestatud nõuete täitmine (Konkurentsiamet)</p>
Kasutamise aeg	30 a.
Alternatiivid	<p>Juhul kui mitte investeerida trassidesse soojuskadude vähendamiseks</p> <p>* kasvavad ettevõtte kulud</p> <p>* kaob võimalus kasutada KIK abiraha</p> <p>Soojuskadude vähendamise projektid on praegu aktuaalsed, sest tulevikus soojuskadude hind kasvab.</p>
Investeeringu maksumus	Investeeringute kogumaksumus on 1802,9 tuh. eurot, sh. KIK osa 832,1 tuh. eurot ja VKGS osa 970,8 tuh. eurot.
Investeeringu tasuvus	
Lihttasuvus, a	8
Diskonteeritud tasuvus, a	18
NPV, tuh. €	+88
IRR, %	16,4

Investeeringu tasuvuse tulemused on ettevõtte omaniku nõutava tulususe puhul (15%) positiivsed.

Ilma finantskulude mõjuta:

Net Present Value (NPV)=+176 tuh eurot

Internal Rate of Return (IRR)=18%

Kui teha tasuvusarvutused WACC-iga 8,14% (tol ajal kehtinud) siis on tulemused:

Lihttasuvus 8 a

Diskonteeritud tasuvus 10 a

NPV = +827 tuh. eurot

IRR = 16,4%

Kui välistada finantskulude mõju, siis investeeringu tasuvuse tulem on:

NPV = +924 tuh. eurot

IRR= 18%

3.3.2. Projekti käik

Kaugküttetorustikud, mida renoveerima asuti, asusid K-J kaugküttevõrgus, mida iseloomustavad suurused on toodud tabelis 3.2.

Tabel 1.2. K-J kaugküttevõrku iseloomustavad näitajad

Kaugküttevõrgu temperatuuri graafik, pealevool/tagasivool °C	120/70
Kütteperioodi pikkus, h	8400
Soojuse mõõtmise katlamaja väljundis	JAH
Soojuse mõõtmise tarbijate juures	JAH

Järgnevas tabelis 3.3 on toodud andmed vana soojusisolatsiooniga trasside puhul, nii nagu need esitati KIK-i taotluses 2009. aastal. Võrdluseks on toodud arvestuslikud soojuskaod 2013. aastal, mil trass töötas vanade torustikega, 6 300 h. Erinevus kahe võrreldava aasta soojuskadude osas tekib erinevatest soojuse edastamise mahtudest (vt tabel 2.2)

Tabel 3.3. K-J renoveeritavad torustiku lõigud

	Olemasoleva trassitoru läbimõõt	Rekonstrueeritava trassitoru lõigu pikkus, m	Trassilõigu erisoojuskadu W/m	Lõigu summaarne kadu 2013.a kütteperioodil vana torustiku töö ajal, Wh	Lõigu summaarne kadu kütteperioodil andmed taotlusest 2009. Wh
K-75-K-91	DN400	1050	291,472	1928087280	2570783040
P-5-K-23/1	DN500	765	324,436	1563619302	2084825736
K-25-K-65	DN400	240	291,472	440705664	587607552
K-66-K-35-14	DN350	595	276,050	1034773425	1379697900
K-67-K-72	DN250	490	242,461	748477107	997969476
K-87-K-58	DN250	275	242,461	420063682,5	560084910
			Summaarne kadu kütteperioodil, MWh	6135,7	8181,0

Tabelis 3.4 on toodud andmed torustike tegelikke diameetrite ja pikkuste kohta, mille järgi on arvestatud vahetatud torustike soojuskaod. Uute lõikude töös olemise aeg 2013. aastal oli 2 100 h.

Tabel 3.4. K-J renoveeritud torustikulõigud

	Uue trassitoru läbimõõt	Rekonstrueeritava trassitoru lõigu pikkus, m	Trassilõigu erisoojuskadu W/m	Lõigu summaarne kadu 2013.a kütteperioodil rekonstrueeritud torustiku töö ajal, MWh	Lõigu summaarne kadu kütteperioodil pärast projekti rakendamist, andmed taotlusest 2009.a, Wh
K-75-K-91	DN300	5	57,634	605157	2420628
	DN250	682	50,406	72191473,2	288765892,8
	DN200	290	51,765	31524885	126099540
	DN150	15	47,956	1510614	6042456
	DN100	7	38,44	565068	2260272
	DN80	5	33,97	356685	1426740
P-5 - K-23/1	DN65	44	32,16	2971584	11886336
	DN350	505	56,063	59454811,5	237819246
	DN250	366	50,406	38742051,6	154968206,4
	DN80	7	33,97	499359	1997436
K-25-K-65	DN50	70,1	28,35	4173403,5	16693614
	DN250	245,6	50,406	25997398,56	103989594,2
K-66-K-67	DN250	208,7	50,406	22091437,62	88365750,48
K-67 - K-35-14	DN150	381,65	47,956	38435055,54	153740222,2
K-67-K-72	DN150	490	47,956	49346724	197386896
K-87-K-58	DN200	317	51,765	34459960,5	137839842
	DN150	70	47,956	7049532	28198128
	DN80	67,5	33,97	4815247,5	19260990
	DN65	125	32,16	8442000	33768000
	DN40	7	25,243	371072,1	1484288,4
			Summaarne kadu kütteperioodil, MWh	403,6	1614,4

Summaarne soojakadude vähenemine kütteperioodil esitatakse tabelis 3.5.

Tabel 3.5. Soojuskaod kaugküttevõrgu renoveeritud lõikudes, MWh

2009.a taotluses prognoositud soojuskadu	2013.a faktiline soojuskadu
6566,6	1641,6

Soojuskadude võrdlusest selgub, et 2013. aasta kütteperioodil hoiti, renoveeritud trassilõikudes taotluses esitatud andmetega võrreldes, kokku 4 925 MWh soojust.

Kogu K-J Järve linnaosa soojuskadu moodustas 2014. aastal 21 949 MWh (tabel 2.2). Kui vaadata näites toodud renoveeritud torustike mõju soojuskadude vähenemisele, siis on säästetud soojust, võrreldes taotluse esitamise ajaga 47%, sest 2009. aastal, oli soojuskadu 41 881 MWh. Väiksemaid torustike remonditöid tehti ka enne 2013. aastat, kuid siiski olid soojuskaod linnaosa kaugküttetorustikel veel 2012. aastal ligi 30 000 MWh. Võrreldes viimati nimetatud aastaga hoiti 2014. aastal kokku ligi 25% soojust ja võrreldes 2013. aastaga, mil soojuskadu oli 25 790 MWh, ca 15% soojust.

3.4. NÄIDE ARVESTUSLIKU SOOJUSKAO KONTROLLIMISEST

3.4.1. K-J – Ahtme magistraalitorustiku soojuskadude mõõtmine

Nagu mainitud edastatakse Ahtme linnaosa ning Jõhvi kaugküttesoojus VKGE Põhja SEJ-st magistraalitorustiku kaudu, mis läbib lisaks Sompat ja Tammikut.

Magistraalitorustiku projekteerimist alustati 2011. aastal ja ehitustööd teostati 2012. aasta märtsist kuni detsembrini. Soojustrassi ehitusel kasutati esmakordselt Eestis ja Baltikumis torustike elektrilist eelkuumutust, mis oli teiste tegurite hulgas üheks kiire trassi valmimise mõjufaktoriks. Ehituse ajaks oli trass jaotatud 33 lõiguks, mida kuumutati eraldi ning mis võimaldas trassi ehitamist viiest kohast korraga.

Magistraalitorustiku põhiosa on maaalune DN500 eelisoleeritud torudest pikkusega 17 276 m. Lisaks sellele on 274 m maapealset torustikku samuti DN500 torudest. Nimetatud magistraalitorustike maht on 6 892 m³.

Maaaluse magistraalitorustiku telje keskmine sügavus on 1,5 m. Tegemist on kivise ja savise pinnasega. Pinnase soojusjuhtivusteguri väärtuseks on võetud 2,38 W/(mK), sõltuvalt tihedusest ja niiskusest võib muutuda piirides 1,85...2,99 W/(mK).

Maaaluse torustiku pealevoolu toru soojusisolatsiooni paksus on 105 mm ja tagastuva toru soojusisolatsiooni paksus on 65 mm (pelevool: DN500/710, 6.3mm, tagastuv: DN500/630, 6.3mm, vahtpolüuretaanist soojusisolatsiooni soojusjuhtivustegur tootja andmete põhjal on $\lambda = 0,027$ W/(mK)).

VKGE SEJ territooriumil on tegemist maapealse torustikuga pikkusega 274 m ja diameetriga DN500. Mineraalvillast soojusisolatsiooni paksus nii pealevoolu- kui ka tagastuval torul on 120 mm. Soojusisolatsiooni soojusjuhtivustegur keskmisel temperatuuril 75°C on 0,040 W/(mK) (50°C – 0,0361 W/(mK), 100°C – 0,047 W/(mK)).

Vaadeldud magistraali soojuskadu määrati eksperimentaalselt ajavahemikul 11.07.2013 kell 13:29:27 kuni 15.07.2013 kell 13:35:13. Soojuskaod määramisel oli konsultandiks TTÜ dotsent Aleksandr Hlebnikov.

Eksperimendi ajaks olid kõik tarbijad magistraalist eraldatud ning mõõdeti ainult magistraali jahtumiskiirust. Eksperimendi kestvus oli ca 4 ööpäeva (346 060 sekundit või 96 tundi 7 minutit 48 sekundit). Selle aja jooksul toimus kuuma veega täidetud magistraali jahtumine. VKGE SEJ ja Ahtme boilerjaamas registreeriti soojuskandja temperatuuri langus ajas. Soojuskandja temperatuur oli eksperimendi alguses 80,13°C ja lõpus 67,18°C, vesi jahtus 12,96°C võrra. Samuti mõõdeti loomuliku pinnasetemperatuuri toru telje sügavusel, mis oli praktiliselt konstantne +14,2°C, välisõhu keskmine temperatuur katse ajal oli +19,6°C. Temperatuuri langemisel toimus vee mahu vähenemine 52,9 m³ võrra ning selle kompenseerimiseks toimus lisavee andmine. Lisavee temperatuur oli keskmiselt 100°C ning sellega eksperimendi jooksul lisandunud soojushulk oli 5,9 MWh, mis võeti arvesse soojuskadude arvutamisel. Maaaluse trassiosa soojuskadude arvutus oli tehtud kasutades pinnase temperatuuri ja maapealse trassiosa soojuskadude arvutus oli tehtud kasutades välisõhu temperatuuri.

Soojuskandja temperatuuri langemine trassis on toodud joonisel lisas 1. Vee kulu eksperimendi ajal on toodud joonisel lisas 2.

Lisaks eksperimentaalselt määratud soojuskadudele võrdluseks tehti ka soojuskadude arvutuslik hinnang. Arvutusvalemitega kasutati muuhulgas peatükis 2.3 kirjeldatud valemeid. Erinevuseks tuli 9%. Eksperimendi käigus määratud trassi tegelikud soojuskaod tulid suuremad kui arvutuslikud mis on loomulik, nagu praktilised kogemused näitavad. Erinevus on seletatav arvutustes võetud soojusisolatsioonmaterjalide ja pinnase soojusjuhtivusteguri väärtuste võimaliku kõrvalekaldega tegelikust. Arvutuse tulemused on toodud tabelis 3.6.

Eksperimendi käigus saadud soojuskaod on ümberarvutatud ka arvutuslikule välisõhu temperatuurile -23°C. Siis pinnase loomulik temperatuur toru telje sügavusel võib langeda kuni 0°C-ni. Arvutuse tulemused on toodud tabelis 3.7

Tabel 3.6. VKGE SEJ ja Ahtme boilerjaama vahelise magistraali eksperimendi jooksul määratud soojuskadu (eksperimendi kestvus oli 96 tundi 7 minutit 48 sekundit)

Arvutus	MWh	Magistraali jooksva meetri kohta, W/m
Soojuskadu, maaalune trass	85,0	51,2
Soojuskadu, maapealne trass	1,9	71,7
Kokku	86,9	51,5
Eksperiment		

Arvutus	MWh	Magistraali jooksva meetri kohta, W/m
Soojuskadu, maaalune trass	93,6	56,3
Soojuskadu, maapealne trass	1,9	71,7
Kokku	95,5	56,6
Erinevus	8,6	

Tabel 3.7. VKGE Põhja SEJ ja Ahtme boilerjaama vahelise magistraali eksperimendi jooksul määratud soojuskadu ümberarvutus välisõhu temperatuurile -23°C.

Arvutus (pinnase temp 0°C, õhk -23°C)	Magistraali jooksva meetri kohta, W/m
Soojuskadu, maaalune trass	81,7
Soojuskadu, maapealne trass	156,3
Keskmine	82,9
Eksperiment	
Soojuskadu, maaalune trass	90,0
Soojuskadu, maapealne trass	156,3
Keskmine	91,1

3.4.2. Järeldused

Kuigi esimese näite puhul arvutuste aluseks olevad algandmed aga ka lõppandmed konkreetsetel torulõikudel ei ole pärit kauglugemissüsteemist, ega olnud nendel torulõikudel ka soojuskadud mõõdetud, on tegu siiski esinduslike andmetega, mis näitavad objektiivset pilti linnaosa soojuse tarbimisest. Tegelik tulemus ületas oluliselt arvutuslikult saadud soojuskadude kokkuhoidu ning kauglugemissüsteemi olemasolu ei oleks investeerimisotsust erinevaks teinud. Samuti ei oleks kauglugemissüsteemi olemasolu projekti varasemaks nihutanud, kuigi kauglugemissüsteem oleks ilmselt tuvastanud suuremad soojuskadud, kui arvutused seda näitasid. Otsuse tegemisel oli suur roll ka muudel asjaoludel kui kasutult eraldunud soojus. Kirjeldatud projekti elluviimist mõjutas enim KIK-i kaasfinantseerimine, mis pani otsustama ja töid läbi viima rahastamisperioodil. Kuigi suurte soojuskadude tõttu vanades kaugküttetorustikes, oleks renoveerimistööd suure tõenäosusega teoks saanud ka ilma kaasrahastamiseta, oleks projekt end ära tasunud hoopis pikema aja jooksul ning investering oleks kapitalikuluna kajastunud kaugküttetariifis.

Tasuvusarvutustest on välja jäänud CO₂ kokkuhoiu mõju, sest VKG, kui kontserni jaoks kokkuhoidu märkimisväärselt ei teki. Olemasolevad õlitechased suudavad niipalju soojust toota,

et lisakütuseid VKGE SEJ-des ei ole vaja kasutada ning ülejääv soojus kasutatakse ära elektrienergia tootmiseks, positiivse efekti annab siiski CO₂ efektiivsem kasutus.

Teise näite puhul, eksperimendi käigus saadud soojuskadu langeb praktiliselt kokku arvutusliku soojuskaoga, erinevus ei ületa 9%. Erinevus võib olla põhjustatud materjalide soojusjuhtivustegurite võetud väärtuste erinevusega tegelikest (antud juhul pinnase tegelik soojusjuhtivustegur võib olla suurem kui arvutustes võetud). Praktilised kogemused näitavad, et tegelikult määratud soojuskadu võib tulla mõnevõrra suurem kui arvutuslik. Võis järeldada, et kaugküttetorustiku torude soojusisolatsiooni efektiivsus vastab valmistaja tehase poolt lubatud väärtustele.[30]

Antud näite puhul kauglugemissüsteem midagi juurde andnud ei oleks, sest väga täpsed mõõtmisandmed langesid praktiliselt kokku arvutuslikega.

Näite puhul on tegemist uue eelisoleeritud trassiga, mille kohta andmed ja arvestuslikud soojuskaod on tunduvalt täpsemalt määratavad kui vanade, mineraalvillaga kaetud trasside kohta. Mineraalvillaga isoleeritud kaugküttetorustike puhul on määramatust rohkem (vt peatükk 3.2, soojusisolatsioonimaterjalide omadused).

Eelisoleeritud seotud torustikusüsteemid koosnevad maa-aluste kaugküttevõrkude jaoks tööstuslikult eelisoleeritud torudest ja torustikuelementidest. Need on valmistatud terastorust, jäigast polüuretaanvahtmaterjalist soojusisolatsioonikihist ja polüetüleenümbristorust. Eelisoleeritud seotud torustikusüsteemide elemente toodetakse tööstuslikult ja neist monteeritakse ehitusobjektile kokku funktsioneeriv terviksüsteem. Eeltöötuse aste on sellise trassi puhul väga kõrge, sest ehitusobjektile – tihti ebasoodsates tingimustes – ei ole enamasti võimalik saavutada tööstusliku tootmisega võrdset kvaliteeti.

Terasest töötoru seob ümbristoruga neist mõlemaga tugevasti nakkunud jäigast polüuretaanvahust soojusisolatsioonimaterjal.

Nagu mainitud on uuele, eelisoleeritud kaugküttetorustikule, kättesaadavate eelandmete tõttu, arvutuste tegemine tunduvalt täpsem.

Eksperimendi korras määratud soojuskadudele lisaks määrati ka trassi hüdrauliline takistus, mille käigus selgus, et tegelik hüdrauliline trassi takistus on umbes 10% väiksem kui arvutuslik.

4. SOOJUSE KAUGLUGEMISSÜSTEEM

Tänapäeva energiavõrgud vajavad suuremat infovahetust võrgu erinevate liidete ning võrgu operaatori vahel. Samuti on kiirem infovahetus on vajalik võrguoperaatori-, müügiosakonna

ning tarbija vahel. Siiani toimub kaugküttevõrkudes näitude kontrollimine ja kogumine nn manuaalselt mõni kord aastas. Vajadus täpsete andmete järgi on aga suurem. Tuleviku targal võrgul on veelgi suurem vajadus täpse mõõtmise ning kiirete ja täpsete andmete järele ning seda nii tarbijapaigaldisest kui kaugküttevõrgust. Tarbija ning võrguettevõtja kulude kokkuhoiuks on oluline kiirelt teada saada anomaaliatest ja vigadest võrgus ja tarbija soojussõlmes.[17]

Piisava informatsiooni kättesaadavusel on kaugküttevõrgu operaatori esmane ülesanne tagada soojuse varustuskindlus, varustades tarbijaid piisava vee temperatuuriga ning piisava vee hulgaga.[18]

Teine tähtis aspekt, miks mõõtmist on vaja korraldada, tuleneb seadusest. Kaugkütteseadus sätestab:[19]

§ 14. Võrguettevõtja kohustused

(4) Võrguettevõtja peab korraldama võrgust tarbitava soojuse koguste mõõtmise ja pidama sellekohast arvestust, kui ei ole kokku lepitud teisiti.

§ 15. Mõõtmine ja mõõtesüsteemide paigaldamine

(1) Võrguettevõtja peab tagama kõigi tema võrku sisenevate ja võrgust väljuvate soojusekoguste kindlaksmääramise, mõõteandmete kogumise ja töötlemise.

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

(3) Kui olemasolev tarbija soojusmõõtesüsteem ei vasta kehtivatele tehnilistele nõuetele, asendab võrguettevõtja selle omal kulul, kui lepingus ei ole sätestatud teisiti.[19]

Euroopa Liidus kehtivad nõuded soojuse mõõtmiseks kasutatavatele seadmetele on esitatud direktiivis (2004/22/EC) mõõtevahendite kohta (artikkel 6). Täpsetes nõuetes soojusarvestitele sätestatakse, et soojusarvesti on mõõtevahend, mis koosneb kulumuundurist, temperatuuriandurite paarist ja arvutusüksusest või nende kombinatsioonist.[20]

Eesti mõõteseaduse §7 lg 1 p 1 kohaselt võib tehingutes kasutatava soojuse mõõtevahendi metrooloogilise kontrolli teha kohustuslikuks.[21] Mõõteseaduse eelnimetatud sätte alusel Majandus- ja kommunikatsiooniministri 21. aprilli 2004. a määrusega nr 112 kehtestatud kontrollile kuuluvate mõõtevahendite nimistusse kuuluvad nii kompleksed soojusarvestid, kui eraldi ka soojusarvesti komplekti kuuluvad kuuma vee mahumõõtemuundurid.[22] Ainult selliste mõõtevahendite kasutamine saab olla soojuse tarnija ja tarbija vahelise lepingu raames tehtavate maksete aluseks.

4.1. KAUGLUGEMISSÜSTEEMI JUURUTAMISE PROJEKTI TAUST

Kaugküttevõrkude paremaks juhtimiseks tuli VKGS-s täiustada protsessi, kuidas info trassidest jõuaks juhtimispuhtri. Välja tuli töötada ja juurutada tehniline lahendus, mille kaudu trasside mõõtepunktidest saadakse operatiivset infot trassi olukorra, soojushulkade, temperatuuride, soojuskadude jm kohta. Uue infosüsteemi juurutamisega jõuab trasside olukorra info operatiivselt võrgu operaatoriteni, kes jälgivad ja juhivad trasside tööd. Info on arhiveeritav ja seda kasutatakse trasside arendusvajaduse ning paindliku ja operatiivsema juhtimise väljatöötamisel

Peale süsteemi töösse rakendamist vähendati soojusvõrkude osakonna töötajate arvu

4.1.1. Euroopa taust

Arukatest võrkudest saadav kasu on laialdaselt teada. Arukas võrk suudab hallata otsest suhtlemist ja kommunikatsiooni tarbijate (kodumajapidamiste või ettevõtete), muude võrgukasutajate ja energiatarnijate vahel. Arukas võrk annab tarbijatele võimalused oma tarbimisharjumuste otseseks kontrollimiseks ja haldamiseks ning pakub neile vastu tugevaid stiimuleid tõhusaks energiakasutuseks.

Piirkondlikul ja kohalikul tasandil on vastu võetud meetmeid „Linnapeade pakti” algatuse vormis ja Euroopa energiatehnoloogia strateegilise kava raames peatselt käivitatava aruka energiakasutusega linnade ja külade algatusega. Elektrivõrgualgatuse arukate võrkude alaseid tulemusi hakatakse kasutama aruka energiakasutusega linnade ja külade algatuses, milles keskendutakse mitut liiki energia (elekter, gaas, soojus ja transport) tarnimise ja kasutamise integreerimisele, et maksimeerida energiatõhusust.

2011. aasta 4. veebruaril kogunenud Euroopa Ülemkogu järeldused kinnitavad tungivat vajadust võtta vastu arukaid võrke käsitlevad Euroopa standardid.

Sellealane töö algas juba märtsis 2009, mil komisjon andis mõõtevahendite direktiivi (2004/22/EÜ) ja energiateenuste direktiivi põhjal Euroopa standardiorganisatsioonidele *European Committee for Standardization* (CENile), *European Committee for Electrotechnical Standardization* (CENELECile) ja *European Telecommunications Standards Institute* (ETSI-le) mandaadi luua Euroopa standardid, mis käsitleksid kommunaalteenuste (elekter, gaas, vesi ja küte) arukate arvestite koostalitlusvõimet, sealhulgas kommunikatsiooniprotokolle ja lisafunktsioone, nagu näiteks süsteemide vaheline koostalitlus, et tagada turvaline

teabevahetus tarbijaliidesega ja tõsta tarbijate teadlikkust, et nad saaksid oma tegelikku tarbimist muuta.[4]

Euroopas sätestab mõõtmiskohustuse ja selle rakendamise Euroopa Energiatõhususe Direktiiv (2012/27/EL) (EED).[23] EED kauglugemissüsteeme kohustuslikuks ei tee, artikkel 9, p.3 sätestab vaid: kui hoone saab kütte ja jahutuse või sooja vee kaugküttevõrgust või mitut hoonet teenindavast kesksest allikast, paigaldatakse soojus- või soojaveearvesti soojusvaheti või tarnimiskoha juurde. Statistika kauglugemissüsteemide kasutamisest Euroopas on puudu.

4.1.2. Eesti taust

Eestis on soojuse kauglugemissüsteeme paigaldatud seni Tartusse ja Pärnusse ning osaliselt on kauglugemine kasutusel ka Tallinna kaugküttevõrgus. Kauglugemissüsteemi projekt VKGS-s on osa Eleringi initsiatiivil loodud avatud energiatoõhususe platvormist „Estfeed“. Tegemist on platvormiga, mis on avatud tarkvaraga, mida saab kasutada energia tarbimise monitoorimiseks ja haldamiseks. Seda selleks, et saaks võimalikuks kahepoolne suhtlus elektrivõrguga ja oleksid kasutatavad andmevood efektiivsemaks energia tarbimiseks. Projekti eesmärk on ehitada tarkvara platvorm, mille abil integreerida mitmed andmeallikad ja pakkuda sobivaid teenuseid muutmaks andmed väärtuslikuks informatsiooniks energiapaindlikkuse haldamisel, auditeerimisel ja võrdlemisel. Estfeed on andmevahetusportaal, mis võimaldab võrguettevõtjatel, tootjatel ja tarbijatel omavahel paremini suhelda ja muuta energiatarbimisel kogutavad andmed lõppkasutajale mõistetavaks ja kasutatavaks. [24]

Arendustegevused on jagatud neljaks teemaks: tarkvara arhitektuur, kommunikatsiooni kanalid, andmehõive/andmehaldus ja arvutuste intelligentsus. Teenusepõhine arhitektuur saab olema integratsiooni alus ja avatud platvorm koos eriteenustega andmete hõivamiseks ja halduseks erinevatel ajaperioodidel (reaalaeg kuni aastaag) peab suutma toime tulla nii olemasolevate lahendustega, nagu SCADA (*Supervisory Control and Data Acquisition*), energia monitorid ning integreerima uuemaid juurutatud mõõtmistehnoloogiaid (tark arvesti, sensorid). Arendus saab olema rahvusvaheliste soovitude (näiteks ISO 50001, *International Electrotechnical Commission*, IEC energia valdkonda puudutavad standardid) ja partnerite kogemustele põhinev.[24]

Energy Data Feed Platform lahendus soovib olla referentsraamistik, mida saab kasutada tööriistana kontrollimaks ja kinnitamaks energia monitooringu tulemusi ja energia haldus lahenduste toimivust. Esimesed rakendused luuakse põhiprojektis, näitamaks potentsiaali ja

reaalset väärtust turu jaoks. Hilisemad rakendused luuakse sellele keskenduvate ettevõtete poolt.[25]

Projekti on kaasatud 5 osalist Eestist ja 1 Norrast: Elering, Ericsson, VKGS, Elektrilevi, Eesti Taastuvenergia Koda ja *Norway Grants* Norrast.[26]

Euroopas usutakse paradigmasse, et targa energiavõrgu taga on peidus suur potentsiaal, mida on vaja arendada selliselt, et ei kannataks turvalisus ja tagatud oleks ratsionaalsus.

4.2. SOOJUSARVESTITE TEHNILISED TINGIMUSED KAUGLUGEMISSÜSTEEMIS

Tavaliselt koosneb soojusarvesti temperatuurianduritest, peale- ja tagasivoolu torustikul, vooluhulgamõõturist, arvestusplokist ja lisandunud GSM modemist. VKGS-s kasutatakse ultraheli vooluhulgamõõtureid, mille tööpõhimõte seisneb vooluga kaasaminevas kiirenevas helisignaalis ja tagasipeegelduvas aeglasemas helisignaalis. Päri- ja vastasvoolsete signaalide ajaline erinevus on proportsionaalne vedeliku voolamiskiirusega.[11]

$$w = \frac{\tau_A - \tau_B}{\tau_A * \tau_B} * k \quad (4.1)$$

kus, w – keskmine kiirus m/s
 τ – signaali ülekandumise aeg s
 k – kalibreerimistegur
 A, B – heli generaatorid ja vastuvõtjad

Kauglugemissüsteemi juurutamise tehnilise ülesande eesmärgiks oli luua süsteem, mille abil loetakse soojusarvestite näidud füüsiliselt kohal viibimata. Soojusarvestiteks on kasutusel olevad Kamstrupi toodetud soojusarvestid Multical III, Multical 66-C ja Multical 601, 602.

Soojusarvestid on paigaldatud elamute ja osaliselt asutuste soojasõlmedesse ning uued arvestid pidid lisaks minema kaugküttemagistraalidele. Hiljem paigaldati Järve linnaosa kaugküttemagistraalide sõlmpunktidesse neli magistraalsoojusarvestit.

Hetkel on VKGS-s paigaldatud kokku:

Multical III, 17 tk.

Multical 66, 952 tk.

Multical 601, 522 tk.

Multical 602, 192 tk. ,

Magistraalarvesti, Multical III, kauglugemiseta, 3 tk.

Magistraalarvesti, Multical 801 kauglugemiseta, 5 tk.

Magistraalarvesti, Multical 801 kauglugemisega, 4 tk.

Soojusarvesti Multical on multifunktsionaalne seade. Soojuse mõõtmine toimub soojusekandja parameetrite, vooluhulga ning temperatuuri mõõtmisel peale- ja tagasivoolul nende parameetrite järgneva töötlemisega. Kõikidele nimetatud mõõteseadmetele, v.a Multical III, on võimalik integreerida lisana GSM modem. Kuna Multical III ja 66 on juba vanad siis need tuleb välja vahetada uuemate vastu, millel on, või on võimalik lisada, GSM modem. Kamstrup toodab soojusarvestite Multical 601, Multical 602 ja Multical 801 jaoks GSM modemeid GSM6H (2G) ja GSM8H (3G).

GSM modem paigaldatakse vastavalt seadmel asuva signaalitugevuse indikaatori abil, millega määratakse saatja/ vastuvõtja optimaalseim asukoht ning suund signaali edastamiseks. Kuna arvestid asuvad soojussõlmedes, mis on tavaliselt keldrites, siis saab nõrgemat signaali kompenseerida spetsiaalse lisaantenni abil.

Soojusarvesti elektritarbimine toimub sisse ehitatud Li ion akust või välisest toiteallikast (12 V, 36 V, 220 V). Multical arvesti registreerib mälus tunni-, ööpäeva- ning kuutarbimise ja soojuskandja parameetrite andmed. Taatlemise intervalliks on vastavalt mõõteseadusele 2 aastat.

Soojusarvesti tehnilised parameetrid:

- mõõdetavate temperatuuride vahemik: +10 °C kuni +160 °C
- mõõdetavate temperatuuride vahe: 3 °C kuni 15 °C
- välisõhutemperatuur: +5 °C kuni +55 °C

kommunikatsioonivõimalused:

- optiline port, integreeritavad moodulid RS-232, RS-485, M-bus, raadio, GSM, WiFi

autonoomne vooluallikas - Li ion 3,6 D-element, 5 aastat.

Vooluhulgamõõtur Ultraflow on nii vooluhulga, kui ka mahu mõõtmise seade süsteemides, kus soojuskandjaks on vesi. Kasutatakse laiades mõõtmisvahemikes, kõrge tundlikkusega ja kõrge eksploatatsioonikindlusega soojusarvestites.

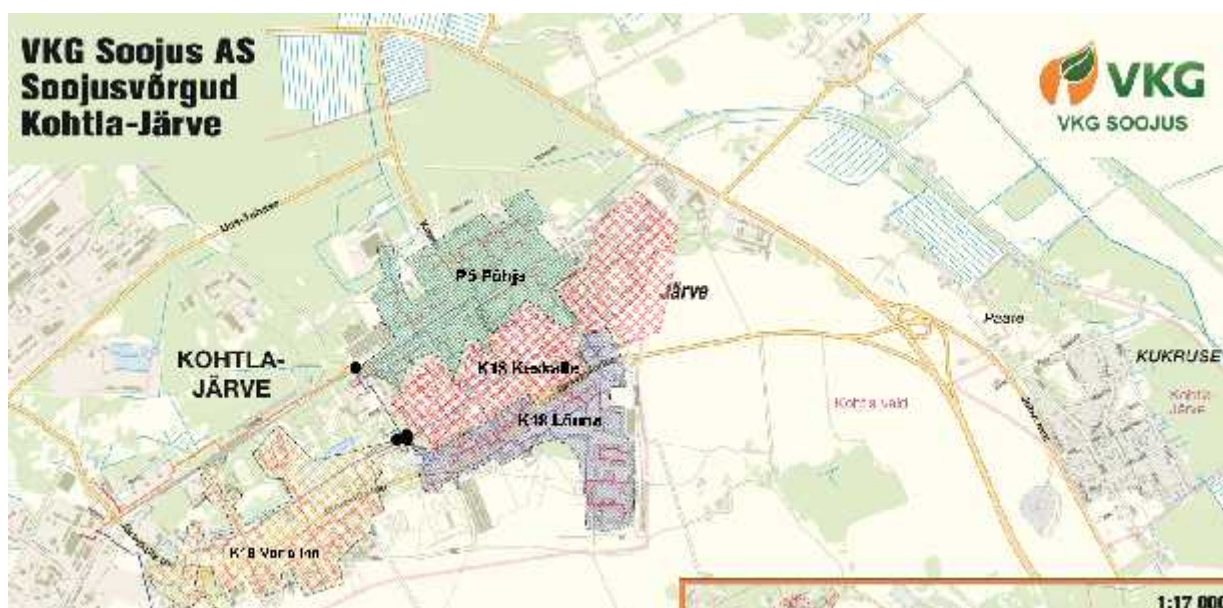
Süsteemi loomisel tulid kaalumisele erinevate sidekanalite kasutamise võimalused (internet, raadio, GSM). Arvestada tuli süsteemi töökindlusega, turvalisusega, kogutavate andmete kättesaadavuse ja säilivusega ning tuleviku arengutega.

Tagada tuli soojusarvesti töö monitoorimise võimalus ja andmete edastamine lisamooduli paigaldamisega või olemasoleva asendamisega sellise mooduli vastu, mis annab võimaluse jälgida arvesti tööd reaalajale lähedases režiimis.

Olemasolevatele soojusarvestitele lisati Kamstrupi GSM6H modem, antenn, ja toiteplokk. Keskusesse paigaldati andmeside jaoks kaks Kamstrupi GSM Master modemit ning tarkvarad PCBase III, PcNet III ja InTouch.

GSM side abil saab soojusarvestitelt andmed automaatselt ning süsteemi abil on võimalik tarbimisandmed ning soojuskandja parameetreid vaadata operatiivselt reaalajas.

Kaks korda ööpäevas teostatakse automaatlugemine, mil saadetakse andmed kaugküttevõrgu operaatorile ja müügiosakonnale.



Joonis 4.2. Kaugküttemagistraalidele paigaldatud soojusarvestid

Kauglugemise 1. etapina paigaldati 4 magistraalsoojusarvestit (joonisel 4.2 mustade täppidena) Multical 801 ja kaks vooluhulgamõõturit Ultraflow 54 K-J-1. Selline konfiguratsioon koos kauglugemisarvestitega tarbijapaigaldistes jagab linnaosa tinglikult neljaks eraldi jälgitavaks piirkonnaks.

- P5 Põhja mikrorajoon
- K18 Keskallee
- K18 Lõuna mikrorajoon
- K18 Vanalinn
- 438 kauglugemisarvestit tarbija soojussõlmedes

Magistraalsoojusarvestid lubavad määrata torustiku harudes vee lekkeid ja tarbimiskohtadesse paigaldatud kauglugemisarvestite olemasolul välja arvutada erinevates võrguharudes

soojuskaos. Veelekete avastamiseks on kaasaegsetel kaugküttetorustikel küll spetsiaalne lekkeavastus süsteem, kuid tihti on omavahel ühendatud uued ja vanad, ilma lekkeavastussüsteemita torud, ning vanemate torude puhul on lekete avastamine keerulisem. Joonistel 4.3 ja 4.4 on näha magistraalsoojusarvesti Kamstrup 801, koos 3,5G modemiga ning vooluhulgamõõturiga.



Joonis 4.3. Magistraalsoojusarvesti K-J-1, koos GSM modemiga



Joonis 4.4. Magistraalsoojusarvesti vooluhulgamõõturi Ultraflow paigutus kaugküttetorustikul K-J-

Projekti juurutamisel paigaldati 438 kauglugemismoodit tarbijapaigladistesse. Kauglugemismoodulid toetavad koostööd Multical 66 seeriast alates (joonis 4.5). Andmed edastatakse automaatselt Synerall müügiprogrammi. Kauglugemist teostavad 2 peamodemi, mis saavad andmed vastavalt 271 ja 167 kauglugemisarvestilt. Andmete edastamine peamodemitesse on jagatud 2 osaks, mis toimuvad:

- 00:01 ööpäeva andmed, sessiooni aeg ca. 2,5 tundi
- 16:00 tunniandmed, sessiooni aeg ca. 6,5 tundi



Joonis 4.5. Soojusarvesti koos GSM modemiga tarbijapaigaldises

Kauglugemismoodulitest on iga päev loetavad:

- ööpäeva andmed
- tunniandmed

Andmete kogumisel saadab soojusarvesti serverisse järgmised andmed:

- arvesti ID kood
- andmete võtmise kuupäev ja kellaaeg
- kogu tarbitud soojuse hulk, MWh
- mõõtjast läbivoolanud soojuskandja hulk, m³
- arvesti töötundide arv, h
- maksimaalne veekulu, l/h
- hetkeline soojuskoormus, kW
- hetkeline veekulu, l/h (m³/h)
- jooksev pealevoolu temperatuur, °C

- jooksev tagasivoolu temperatuur, °C
- jooksev temperatuuride vahe, $\Delta t^{\circ}\text{C}$
- jooksev veekulude vahe, $\Delta l/h$ (m^3/h) – magistraalsoojusarvestitele
- jooksev soojushulkade vahe, ΔMWh – magistraalsoojusarvestitele
- infokood
- töötundide arv, mille jooksul infokood on olnud > 000 , st esineb viga andmeedastuses
- veerõhk kaugküttetorustikes
- päeva- ja tunniarhiiv vajadusel

Kauglugemissüsteem on seotud kasutuses oleva SCADA *Intouch* lahendusega ja seotakse tulevikus IFS varahaldusprogrammiga.

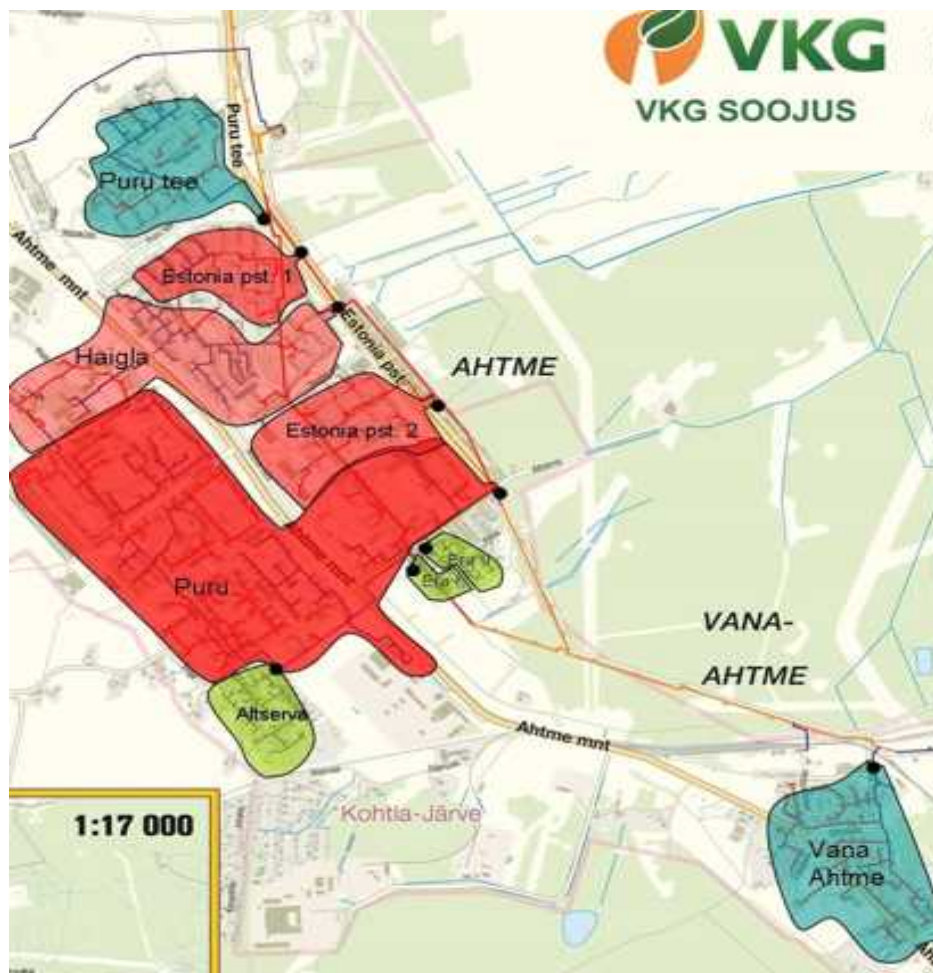
Süsteemi saab integreerida piiramatult arvu arvesteid ning järgmisel aastal on kavas kauglugemissüsteem tööle panna Ahtme ja Jõhvi kaugküttevõrgus, lisanduvad kokku 1260 tarbijat, millest 740 suuremat tarbijat ja 520 väiksemate majade soojustarbijat. Lisaks paigaldatakse 8 magistraalsoojusarvestit kaugküttevõrgu sõlmpunktidesse.

Kuna vooluhulgamõõduri paigaldus nõuab soojusvarustuse katkestamist või ümbersuunamist, on VKGS-s tuleviku kauglugemissüsteemi täiustamist silmas pidades osa vajaminevaid vooluhulgamõõdureid, esialgu ilma arvestita, juba paigaldatud. Nii on Jõhvis Narva mnt renoveerimistööde käigus paigaldatud 2 vooluhulgamõõdurit ja samuti on erasektori renoveerimisega paigaldatud 3 vooluhulgamõõdurit. Joonisel 4.6 on märgitud koos olemasolevate magistraalsoosarvestitega ka uued paigaldatavad arvestid koos vooluhulgamõõduritega.



Joonis 4.6. Magistraalsoojusarvestid Jõhvis

Ahtme linnaosa erasektori renoveerimisega on paigaldatud 3 vooluhulgamõõturit. Joonisel 4.7 on märgitud koos olemasolevate magistraalsoosarvestitega ka uued paigaldatavad arvestid.

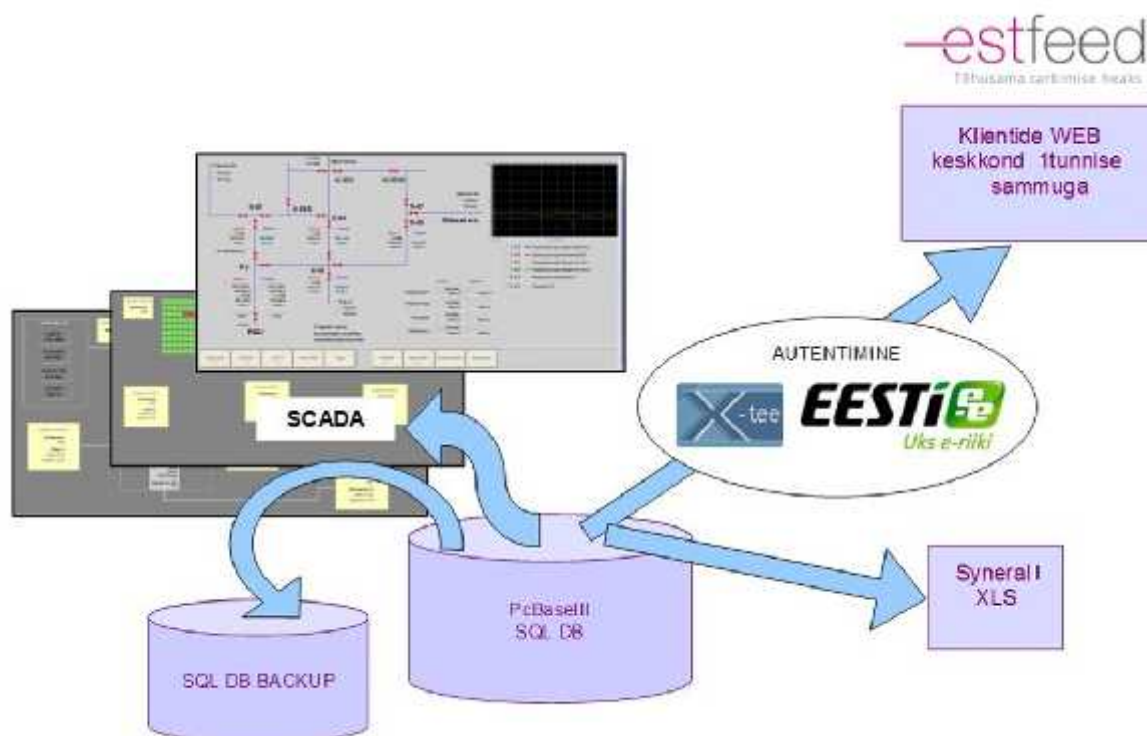


Joonis 4.7. Magistraalsoojusarvestid Ahtmes

4.3. SQL ANDMEBAASI KASUTAMINE

Müügiprogrammi Synerall jaoks edastatakse iga päev soojuse tarbimise andmed ja salvestatakse Synerall-iga ühendatud serverisse. Faili detailne sisu töötati välja koostöös müügiprogrammi tarkvara haldajaga. Programm genereerib saadud andmete põhjal klientidele arved eelmise kuu tarbimise eest aga samuti on võimeline teostama tarbimise analüüsi.

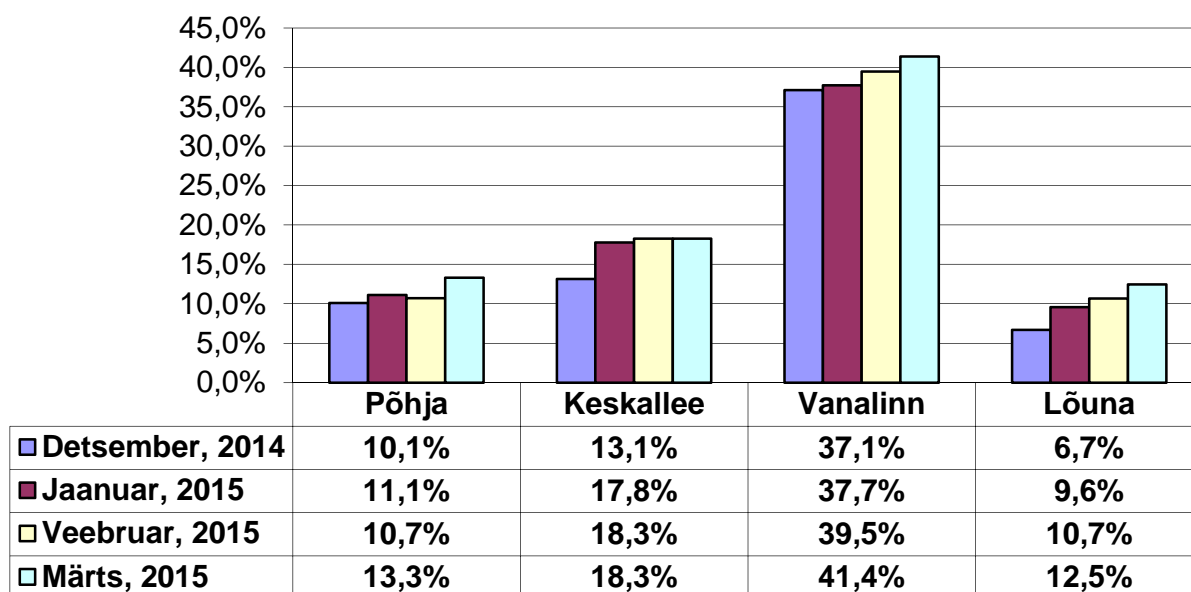
Vajadusel pääsevad tarbijad oma andmetele ligi läbi X-tee autentimisplatvormi. Riigi infosüsteemide andmevahetuskiht X-tee on tehniline ja organisatsiooniline keskkond, mis võimaldab korraldada turvalist internetipõhist andmevahetust (riigi) infosüsteemide vahel[27]. Antud juhul toimub infovahetus VKGS server ja kliendi arvuti vahel, X-tee kaudu tuvastatakse tarbija õigused andmetele ligipääsuks.



Joonis 4.8. Kauglugemissüsteemi põhimõtteline skeem

4.4. NÄIDE KAUGLUGEMISSÜSTEEMIST SAADUD INFO RAKENDAMISEST K-J, JÄRVE LINNAOSAS

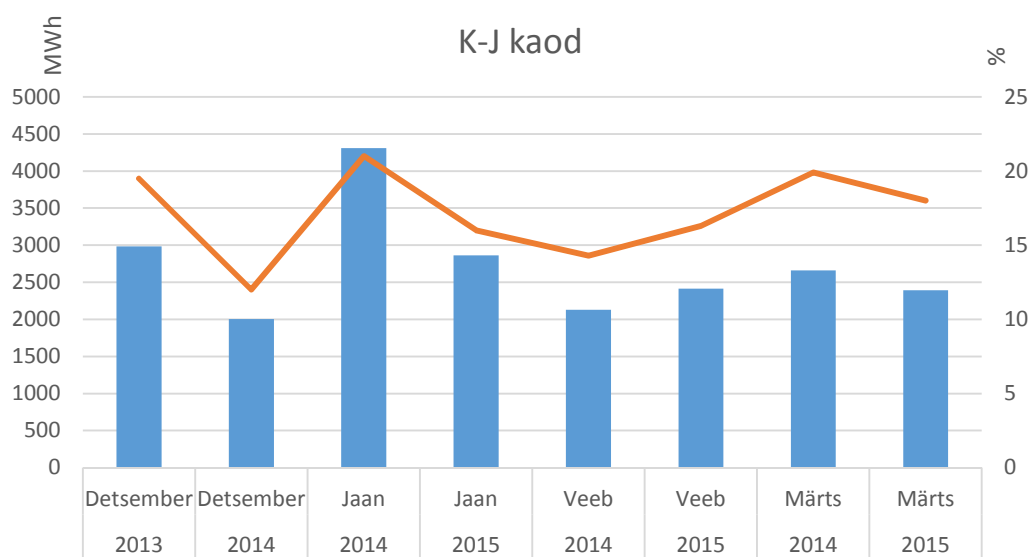
K-J soojustorustiku harudest on paigaldatud kauglugemissüsteemist olemas esimesed statistilised andmed vastavate harude soojuskadude kohta, mis on toodud joonisel 4.9.



Joonis 4.9. K-J kauglugemissüsteemist pärinevatele andmetele arvestatud soojuskadod

Vana mõõtesüsteemiga poleks ilma eraldi sekkumiseta saanud kindlaks teha soojuskadusid erinevates K-J piirkondades. On näha, et ebatavaliselt suur soojuskadu on vanalinna piirkonnas. Kuna veeleket võrgus ei ole täheldatud paneb see soojuskaod põhjuseid otsima mujalt. Üheks vanalinna piirkonna kõrgete kadude põhjuseks on piirkonna tagasihoidlik tarbimistihedus – soojustarbivate hooned on väikesed ja võrreldes muude piirkondadega hajali, mis omakorda tõstab võrgu piirkonna suhtelisi soojuskadusid. Täpsem analüüs ja töö seisab soojusettevõtte veel ees, sest lõpuni ei ole välistatud ka soojuse ebaseaduslik tarbimine.

Ühe järeldusena võib kohe välja tuua asjaolu, et tarbimisandmed ja soojuskadud aasta lõikes on üldjuhul korrektsed, erisusi tekib üksikute kuude andmetes. Vana mõõte- ja arvete väljastussüsteemi suured ebatäpsused andmetes avaldusid väga külmal ajal perioodidel või nendel kuudel kui tarbija teadis, et hakkab kehtima uus hind. Joonisel 4.10 on vaadeldud olukorda kui K-J linnaosas peale kaugküttetorustike renoveerimistöid, e. alates 2013. aasta detsembrist ning võrreldud seda perioodiga, mil uus kauglugemissüsteem rakendati töösse, e. alates detsember 2014.



Joonis 4.10. K-J, Järve linnaosa soojuskadude võrdlus kuude kaupa

2014 aasta jaanuari soojuskadud Järve linnaosas olid planeeritud tasemele 14,2%. Soojuskadu oli planeeritud 2013. aasta baasilt, mil kadu oli 16,5%. 2014. aastal arvestati asjaoluga, et kõige suurema soojuskaoga trassilõigud vahetati 2013. aasta jooksul välja ja soojuskadu pidi tulema seetõttu väiksem. Tegelikud soojuskadud olid 2014. aasta jaanuaris 21%, kusjuures suurt veekadu ega erakorralist soojuskadu Järve linnaosas ei täheldatud. Küll aga olid soojuse müügikogused väiksemad kui 2013. aastal (-3%) kuigi jaanuar oli natuke külmem (keskmiselt -6,4 kraadi 2013. aastal ja -7,6 kraadi 2014. aasta jaanuaris). Seega suurema suhtelise soojuskaod

põhjustasid väiksem tarbimine, e. kokkuhoiu meetmed tarbija poolt, kuid ka ilmselt toimunud soojusarvestite andmete manipuleerimine tarbija poolt, mis viis soojuskaod kunstlikult üles. Manipulatsioon toimus 2013. aasta jaanuaris, kui kaugkütte hinna kallinemise ajal näidati odavama tariifiga näite suuremana ja viidi sel moel enda tarbimine üles, et hiljem, kallima hinnaga soojust vähem arvestada. Sellise manipulatsiooni tulemusena viidi jooksva kuu võrgu suhtelised soojuskaod kunstlikult alla ning järgneva kuu suhtelised soojuskaod kunstlikult üles. Ilmselt oli manipuleeritud näitudega samuti 2014. aasta jaanuaris, mil tarbija tahtis külmast välisõhu temperatuurist tingitud, suure tarbimisega kaasnenud kulusid lükata tulevikku ja teatas tegelikust väiksema näidu.

Teise anomaaliana hakkab silma kahe detsembri võrdlus. Detsembris 2014 uus süsteem alles rakendus ja kohe oli tuvastatav, et tarbijate edastatud andmed ei ühtinud süsteemi andmetega. Tarbija üritas oma kohustusi soojusettevõtja ees tulevikku lükata ja teatas väiksemad soojusarvesti näidud – just nii nagu seda tehti näiteks 2013. aastal. Uue kauglugemissüsteemi kasutuselevõtt sundis osasid tarbijaid siiski oma näitudes korrekture tegema ning soojusettevõtja sai täiendavat müügikäivet ca 500 MWh ulatuses, e. üle 27 000 €

4.5. TASUVUSARVUTUS MAGISTRAALSOOJUSARVESTITELE

Kauglugemissüsteemi investeeringu tasuvust on keeruline arvutada, sest süsteem ise otseselt kasu või säästu ei tooda. Süsteem aitab vaid leida soojusvõrgu nõrku ning normaalsest tööst kõrvalekalduvaid režiime ning saadud andmete põhjal on lihtsam hiljem võrgu tööst järelusi ning tasuvaid investeerimisotsuseid teha. Eraldi tasuvusarvutust tarbijapaigaldises olevatele arvestitele ei ole otstarbekas teha, sest võrguettevõtja täidab arvestite paigaldamisega ja taatlemisega seadustest tulenevaid nõudeid. Soojustarbijate vanad soojusarvestid vahetatakse välja vastavalt nende amortiseerumisele ning uuemad, kauglugemisvõimekusega arvestid varustatakse GSM – 3,5G või 4G moodulitega.

Magistraalsoojusarvestite nõuet õigusnormidest välja ei tule ning tegemist on arvestitega, mis paigaldatakse võrguettevõtja initsiatiivil, et kauglugemissüsteemi võimalusi maksimeerida. Järgnevas tabelis 4.1 on ära toodud kauglugemissüsteemi osaks olevate Ahtmesse ja Jõhvi paigaldatavate magistraalsoojusarvestite tasuvusarvutus. Piirkonda on juba paigaldatud soojusmagistraalidele neli soojusarvestit ja vastavalt plaanile paigaldatakse 13 magistraalarvestit lisaks. Allpool olevas tabelis on arvestatud investeeringuga lisanduvate arvestite näol.

Tasuvusarvutuse eeldused :

- mõlemas linnaosas on lisaks magistraalarvestitele paigaldatud kauglugemissüsteem;

- statistiliselt on mõlemas linnaosas 10 avariid aasta;
- eelduslikult on leke suhteliselt vähemahukas, seega ka raskelt tuvastatav;
- lekke lokaliseerimine ja likvideerimisaeg ca 10 päeva;
- lekke lokaliseerimine ja likvideerimine peale projekti realiseerumist on 5 päeva;
- Tasuvusele mõjutavad tegurid on:
 - veekadu, m³;
 - soojuskadu, MWh

Koguinvesteering magistraalarvestitele on 104 000 € millest seadmete maksumus on 53 000 € ning tööde ja teenuste maksumus 51 000 €

Tabel 4.1. Ahtme – Jõhvi magistraalsoojusarvestite tasuvusarvutus

Eeldused	Enne	Pärast	Ühik
Avariid tuvastamine ja likvideerimine	10	5	päeva
Avariide arv, aastas	20	20	korda
Tundide arv	4800	2400	tundi
Veeleke	2	2	m ³ /h
Veekaod			
Veekadu	9600	4800	m ³
Keemiliselt töödeldud vee hind	1,36	1,36	€/MWh
Kulu, kaotatud vesi	13056	6528	€
Soojuskaod			
Soojuskadu	960	480	MWh
Soojuse maksumus	30,95	30,95	€/MWh
Kulu, kaotatud soojus	29712	14856	€
Kulu peale investeeringut kokku, aasta	42768	21384	€/aasta
Vesi		6528	€/aasta
Soojus		14856	€/aasta
Kogu efekt, aasta		21384	€/aasta

Kui teha tasuvusarvutused kehtiva WACC-iga 6,06 % siis on projekti:

NPV = +71 tuh. eurot

IRR = 17,6%

Ülaltoodud eeldustel on projekt tasuv. Väiksemate lekete arvu korral või väiksemate soojuskadude puhul läheb tasuvus halvemaks, kuid võib esineda ka vastupidist situatsiooni. 2013. aasta talvel oli Jõhvis kütteperioodi ajal, ligi kümne päeva jooksul veekadu ca 100 m³/h. VKGS töötajad ei suutnud Jõhvi munitsipaalomanduses olnud kaugküttetorustikul vee leket operatiivselt leida. Kümne päevaga kaotas VKGS lekke tõttu ligi 24 000 m³ keemiliselt töödeldut vett ja suures koguses soojust, kogukahju ulatus ligi 100 tuhande euroni. Normaalseks veekaoks kaugküttevõrgus loetakse ca 0,25% päevas kaugküttevõrgus tsirkuleerivast veest.[10] Sellise ekstreemse lekete puhul tasuks investeering magistraalsoojusarvestitesse ainult ühe analoogse juhtumi korral ära.

4.6. KAUGLUGEMISSÜSTEEMI EELISED

- Annab võimaluse välja töötada tarbija jaoks rakenduse soojuse tarbimise kontrollimiseks ning vajadusel tarbimise operatiivseks reguleerimiseks. Kui tarbija kauglugemissüsteemi kontrolliva rakendusega ühendada näiteks tarbijapaigaldises olevad regulaarventiilid, saab muuta soojuse tarbimist. Reguleerimisvõimekuse lisamine tarbijapaigaldises tuleks eelnevalt väga hoolikalt läbi mõelda, sest see võib oskamatul käsitlemisel kaasa tuua probleeme nii tarbijale kui soojusettevõtjale.
- Tarbimise või tarbijapoolse tootmise profiili kindlaks tegemine ja registreerimine. Madalenergia-, liginullenergia- ja netonullenergiahooned, mis võivad ise soojust anda kaugküttevõrku, peavad läbi kauglugemissüsteemi edastama operatiivset infot võrgu operaatorile. Soojuse andmine või tagastamine kaugküttevõrku toimub reeglina tagastuva vee temperatuuri tõstmisega, nii et kaugkütteevee tsirkulatsioon läbi vooluhulgamõõduri on samasugune kui soojuse tarbimise korral. Ultraflow vooluhulgamõõdur ei ole võimeline vastassuunalist veevoolu mõõtma, st töötab vaid vee voolule kindlaksmääratud suunal. Võrku tagastuvat soojust, isegi kui tagastuva vee temperatuur on kõrgem pealevoolu temperatuurist, on arvesti võimeline arvestama, kuid võib vajada lisaprogrammeerimist.
- Soojuse keskmise ja maksimaalse tarbimise mõõtmine ja salvestamine. Antud funktsioon võib väga kasulikuks osutuda kahe- või enamatariifse soojuse hinnastamise korral. Praegu levinud üks tariif kaugküttesoojusele, on tulevikus mõistlik asendada mitmetariifse hinnaga, mille korral hind koosneb erinevatest komponentidest. Praegu MKM-s ettevalmistatava kaugkütteseaduse muutmise seaduse eelnõu järgi võib soojuse müümisel tarbijale soojusettevõtja rakendada vastavalt soojusmajanduse arengukava soovitusel kas ühe- või kahetariifset müügihinda. Ühetariifne müügihind arvutatakse soojuse tootmiseks, jaotamiseks ja müügiks vajalike kogukulude alusel. Kahetariifne müügihind koosneb püsitasust ja muutuvtasust ning need arvutatakse vastavalt püsikulude ja muutuvkulude alusel. Kahetariifne hind peab olema kooskõlastatud Konkurentsiametiga. Üks aasta enne kahetariifse hinna rakendamist peab soojusettevõtja avaldama oma veebilehel püsi- ja muutuvtasude kujunemise põhimõtted, mida tuleb rakendada võrgupiirkonna kõikidele tarbijatele võrdväärsetel tingimustel.

Kui soojuse tariif koosneb eelnõus mainitud muutuv- ja püsitasust, siis muutuvtasu kujutab endast tariifi osa, mis kujuneb vastavalt reaalsele tarbimisele, respektiivselt

arvesti näidule ja mis katab soojusettevõtte muutuvkulu. Muutuvkulu on muutuv suurus ning sõltub soojuse tootmismahust. Püsitasu tariifis on see osa, mis ei ole seotud tootmismahuga ja peab katma soojusettevõtte püsikulu. Küsimus tekib püsitasu määramisel tarbijale, e mille alusel seda teha? Võimalusi on palju nt tarbija hoone kubatuuri-, pindala-, kaugküttetoru diameetri järgi liitumispunktis, vm mõõdetava suuruse järgi. Kuna selline püsitasu määramine võib tekitada ebasoovitavaid tegevusi tarbija poolt, nagu toru diameetri vähendamine või äärmuslikuna, hoone gabariitide muutmise ja pealegi võib näiteks hoone pindala või ruumala määramisel ette tulla vaidlusi, siis võimalusel tuleks sellisest meetodist hoiduda. Üheks võimalikuks meetodiks on arvutada püsikomponent tarbimistippude järgi, e maksimaalse tarbimise järgi. Selline meetod võtab muuhulgas kaudselt arvesse soojusettevõtte kulu tootmisreservi hoidmiseks, et katta kõigi kaugküttevõrgu soojustarbivate tippude maksimaalse tarbimise hetkedel

- Erinevate tarbimisperiodide kontroll. Võimalik on kontrollida nt. kahte kütteperioodi (käesolevat ja eelmist). Tänu kauglugemissüsteemi töötlemisvõimsusele on võimalik välja arvutada järjestikuste möödunud ajavahemike hulk ja nendest igaihe jaoks salvestada soojuse tarbimine sama ajavahemiku jooksul
- Soojuse parameetritega seotud kvaliteedinäitajate mõõtmine, salvestamine ning reageerimine kõrvalekalletele
- Koos müügiprogrammiga genereeritakse arved automaatselt ja on vastavuses reaalse tarbimisega
- Vähendada käsitööd ning sellest tulenevaid inimlike eksimusi.
- Saada täpne ülevaade soojuskandja parameetritest SEJst väljumisel ja tarbijapaigaldises.
- Soojuse müügi- ja kvaliteediga seotud dokumentatsiooni automaatne käitlus ja arhiveerimine
- Monitooring erinevate trassilõikude tööst.
- Tänu operatiivsele avariidele reageerimisele vähenevad soojuskadod võrgus ja samuti on monitooritavad soojuskadod vastavuses reaalsele soojuskadudele
- Reaaltarbimise kontrolli võimalus, ööpäeva soojuskadude arvutus, varguste kontroll.

Kauglugemissüsteemi- ja varguste avastamise tõhususe näiteks on juhtum VKGS kauglugemissüsteemiga varustatud tarbijapaigaldisest. Peale kauglugemissüsteemist saadud

andmete analüüsi, avastas VKGS töötaja K-J tarbija soojussõlme kontrollides mõõtesüsteemi andmete moonutamise. Vooluhulgamõõturi ja soojusarvesti arvestusploki vahelisele sidekaablile oli ühendatud paralleelselt elektritakisti nagu näha jooniselt 6.1. Takistuse ühendamise tulemuseks oli vooluhulgamõõturi signaali nullimine, mis fikseeriti, joonis 6.2. Andmeid hiljem analüüsides leiti, et signaali manipuleerimise tulemusena vähendati kahe kuu tarbimisandmed 10 MWh võrra. Takisti ei olnud kaablisse ühendatud kogu aeg vaid teatud intervalli tagant. Sellise käitumisega taheti jätta mulje, et tarbimine toimub hoones edasi kuid kuu kokkuvõttes vähendatud mahus. Ei saa välistada, et analoogseid juhtumeid esines juba enne kauglugemissüsteemi paigaldamist – siis oli sellist näitude manipulatsiooni keerulisem avastada. Kauglugemissüsteemi abil tarbimisandmeid analüüsides, avastati selge tsükliline soojuse kasutamine, millel ei olnud seost välisõhu temperatuuri muutustega.

Eelkirjeldatud juhtumit analüüsides proovisid VKGS töötajad, milliseid võimalusi eksisteerib veel, et soojusarvesti näite manipuleerida. Katsetusmeetodil avastati, et 9 k takistuse ühendamine termobaari ja arvestusploki vahelisele kaablile võimaldab muuta pealevoolu temperatuuri näitu. Elektritakisti ühendamisel pealevoolu termobaari kaablile muutus temperatuuri lugem 20 °C võrra väiksemaks (joonis 6.3 ja 6.4).

Viimast juhtumit reaalses tarbijapoolses käitumises avastatud ei ole ja loodetavasti ei tule selliste juhtumitega tulevikus tegemist.

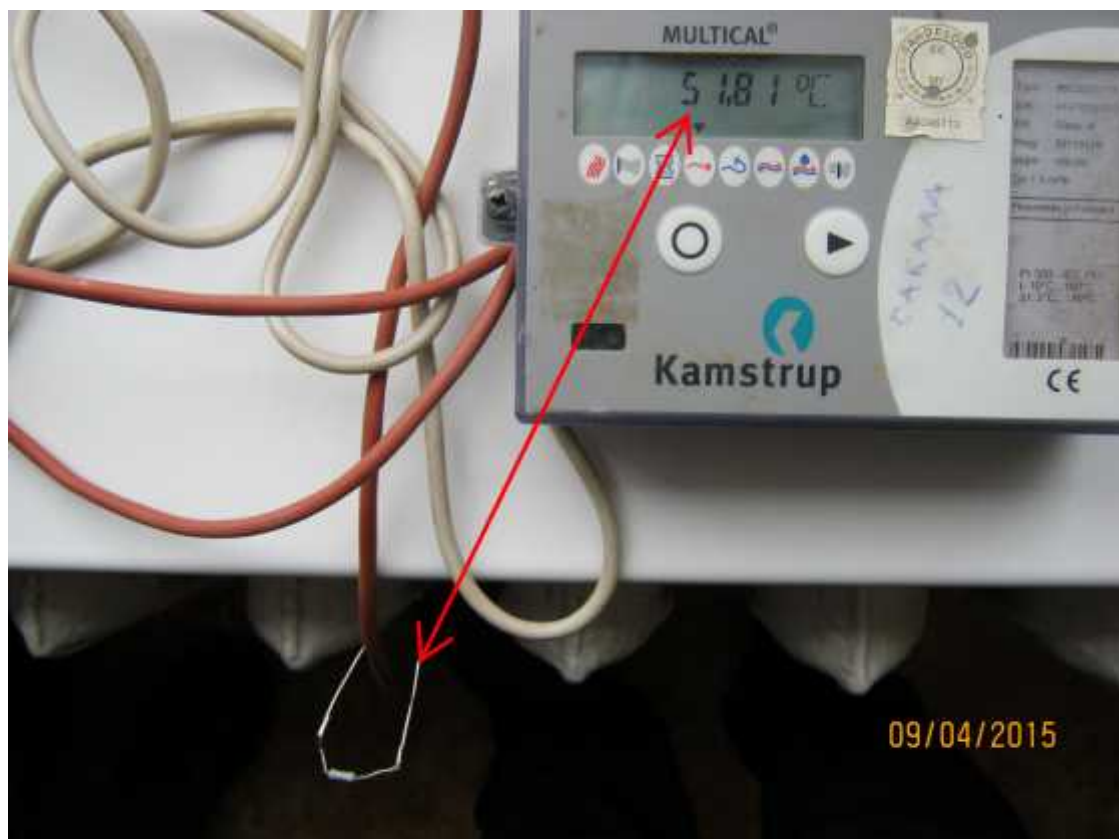
Näites toodud ebaseaduslikust soojuse tarbimisest tulenev anomaalne situatsioon tuli kauglugemissüsteemi abil saadud andmete analüüsist välja. Teise näite puhul oleks analüüs keerulisem ning manipulatsioon arvesti temperatuuri näiduga ei oleks nii lihtsalt avastatav isegi kauglugemissüsteemiga.



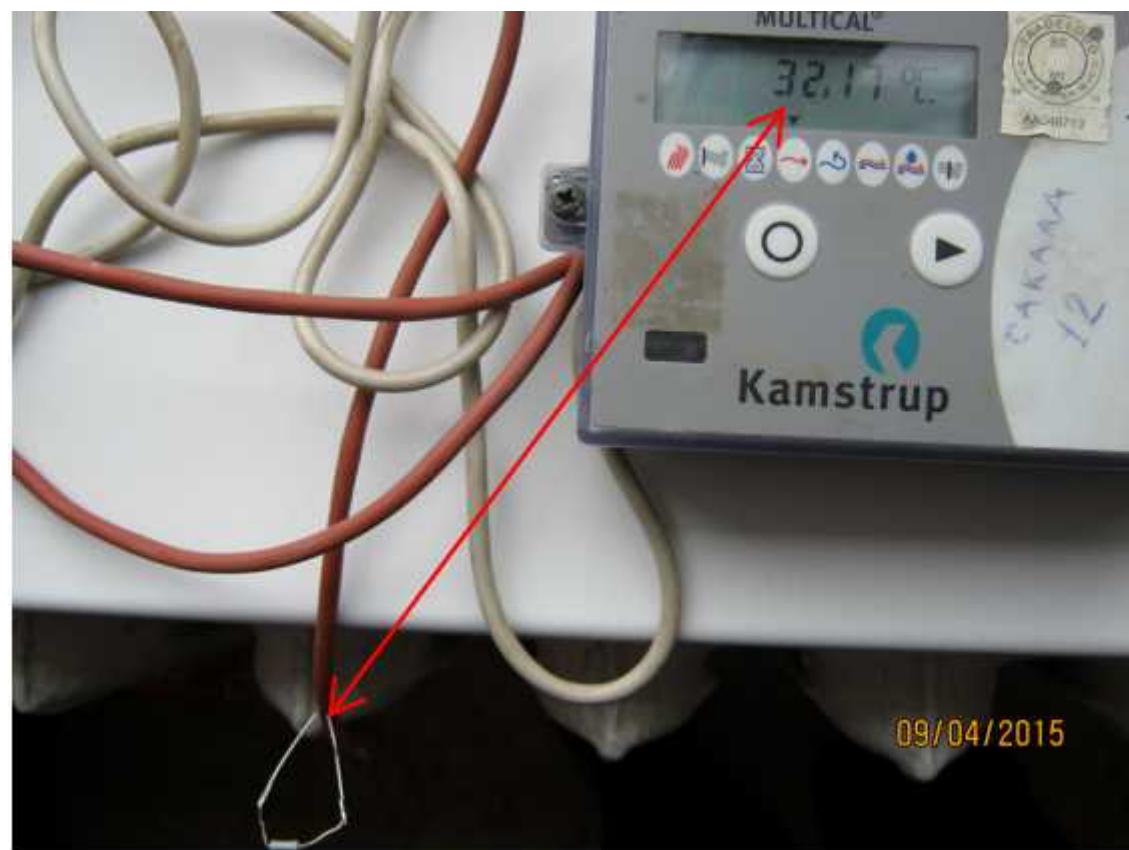
Joonis 4.11. Ühendatud takisti tarbijapaigaldises



Joonis 4.12. Arvesti näit on 0 toitekaablisse ühendatud takistiga



Joonis 4.13. Arvesti temperatuurinäit lahti ühendatud takistiga



Joonis 4.14 Arvesti temperatuurinäit ühendatud takistiga

4.7. KAUGLUGEMISSÜSTEEMI NÕRKUSED

- Kauglugemissüsteemi juurutamise maksumus on suhteliselt kõrge – pelgalt KJ linnosa varustamine kauglugemissüsteemiga maksis ca 200 000 €. Kui juba praegu moodustavad kaugküttevõrgu kapitalikulud enamuse võrkude omaniku püsikuludest siis tulevikus, kui muud püsikulud, sh soojuskaod kaugküttetorustikes ja palgakulud, vähenevad, muutub kapitalikulu osakaal veelgi suuremaks. Kuigi elektroonikaseadmete laialdasemal kasutamisel nende hind reeglina väheneb, ei pruugi see nii olla energieetikas kasutatavate seadmetega. Tulevikus võivad energiasüsteemi keskmised kapitalikulud suurenda: investeeringud elektrijaamadesse ja -võrkudesse, tööstuslikesse energieetikaseadmetesse, kütte- ja jahutussüsteemidesse (sealhulgas kaugküte ja –jahutus), arukatesse arvestitesse, isoleerimismaterjalidesse, tõhusamatesse ja vähese CO₂ heitega sõidukitesse, kohalike taastuvenergia- allikate kasutamise seadmetesse (päikesesoojus ja fotogalvaaniline elektritootmine), kauakestvatesse energiat tarbivatesse toodetesse jne.[6]
- Tootjatel ja arendajatel ei ole tarkvaraga kaasas algoritme, millega saaks kiiresti kõikumisi tarbijapoolses käitumises avastada. Siiani nõuab kauglugemissüsteemist saadud andmete järelanalüüs palju käsitööd. Väikeses võrgus on kõikumised kiiresti näha kuid mida suurem on võrk, seda keerulisem ja aeganõudvam on andmete analüüs. Kauglugemissüsteem lihtsustab kaugküttevõrgus toimuvate protsesside jälgimist, kuid ilma vastava tarkvarata võrgu operaatoritele, on mõeldamatu suures võrgus kõikide tarbijapaigaldistes olevate arvestite pidev monitoorimine.
- Kauglugemissüsteemi paigaldamisel olid mõned kaugküte tarbijad vastu uuele süsteemile. Vastasseisu põhjenduseks toodi erinevaid ja kohati absurdseid väiteid nagu: kauglugemissüsteemi GSM signaal kahjustab tervist, kauglugemissüsteem on tegelikult pealtkuulamiseade, süsteemi elektrienergia tarve on liiga suur jne. Kõige paremini iseloomustab mõnede tarbijate vastasseisu järgnev artikkel VKGS kodulehel.[28]

Tähelepanelik Järve linnaosa elanik on kindlasti märganud, et soojustrassidele ning majade soojussõlmede arvestitele paigaldatakse lisaseadmeid. VKGS poole on sellega seoses pöördutud väga mitmete küsimustega – alates lihtsast, millega on tegemist, kuni mõnede kahtlustusteni pealtkuulamises ja tervise kahjustamiseni välja.

VKGS kaasajastab järjepidevalt kaugküttevõrke ning üheks võrgu normaalse eksploatatsiooni kriteeriumiks on võrgus toimuvast adekvaatse info operatiivne kättesaamine. Paigaldatavad

lisaseadmed ning soojusarvestid trasside sõlmpunktides annavad võimaluse reaalajas jälgida soojustrasside toimimist, s.h soojuskadusid ja lekkeid. Siiaamaani saadi võrgu tööst ja seisukorrast aimu nende andmete põhjal, mida tarbijad ise edastasid ning mida võrgu meeskond jälgis ja analüüsis. Uue süsteemi puhul jäävad hüpoteetilised arvutused tagaplaanile ning kaugloetavate soojusarvestite abil on võrgu tööd võimalik analüüsida konkreetsete andmete põhjal, mis omakorda tähendab võrgu tunduvalt efektiivsemat tööd ning arukamaid investeeringuid trassidesse.

Soojusarvestid toimivad loodavas süsteemis samamoodi edasi, nagu nad seda siiani on teinud. Arvesteid täiustatakse lisamodemitega, mis hakkavad arvesti näite regulaarselt kesksesse arvutiserverisse edastama. Andmete edastamine soojusarvestite ja arvuti vahel toimub mobiilside abil, e. andmed soojussõlmes toimuvast jõuavad VKGS-sse regulaarselt ja automaatselt. Lähitulevikus, kui kauglugemissüsteem korralikult tööle hakkab, kaob meie kliendil vajadus tarbimise näite ise edastada, selle töö teeb ära praegu juurutatav süsteem. Peale mugavuse toob see kliendile tulevikus kaasa võimaluse täpsemini oma tarbimist analüüsida, võrrelda eelmise aasta tarbimisega või kasvõi naabriga. Süsteemi edasiarenduse tulemusena tahame klientidele luua rakenduse, millega kõike seda ja palju muudki teha saab. Kaugemissüsteemi arendust alustasime Järve linnaosas, järgmisel aastal jätkame Jõhvis ja Ahtmes kuni kõik tähtsamad trassilõigud ja tarbijad on kaugloetavate seadmetega varustatud. Kuna kaugloetavad arvestid tarbivad elektrienergiat siis olgu siinkohal öeldud, et selle kulu on ca 2...3 eurot aastas, mis soojustarbijale kord aastas tasaarveldatakse. Järve linnaosas on kauglugemismooduli paigaldamine koostöös meie klientidega sujunud väga hästi, praktiliselt kõik tarbimispunktid on varustatud vajamineva mooduliga. Olgu siinkohal edastatud meie tänusõnad klientidele, kes on mõistnud süsteemi vajalikkust. Soojuse mõõtmine tarbija juures ei ole pelgalt võrguettevõtja võimalus vaid kohustus. Kauglugemismoodul on soojusarvesti lahutamatu osa, ning need hooned, kuhu mooduli paigaldamine on pahatahtlikult takistatud ja andmete edastamine seetõttu võimatu, jäävad soojuse varustuseta (...) eelpool nimetatud projektid on siiski väga tähtsad ja aitavad parandada soojuse varustuskindlust ning vähendada kaugküttevõrkude soojuskadusid, millest tulenevalt suudame oma klientidele jätkuvalt Eestis üht parimat kaugkütte hinda pakkuda.[28]

5. SOOJUSARVESTITE TAATLEMINE

Taatlemine on protseduur, mille käigus pädev taatluslabor või teavitatud asutus kontrollib mõõtevahendi vastavust kehtestatud nõuetele ja märgistab nõuetele vastava mõõtevahendi taatlusmärgisega.[21]

Kauglugemissüsteemid ja näitude andmeedastus ei ole metrooloogilise kontrolli objektid e. neid ei pea mõõteseaduse järgi taatlema, kuna näidud peavad olema arvestis salvestatud ja viga andmeedastussüsteemis ei tohi mõjutada soojuse tegelikku mõõdetud hulka.

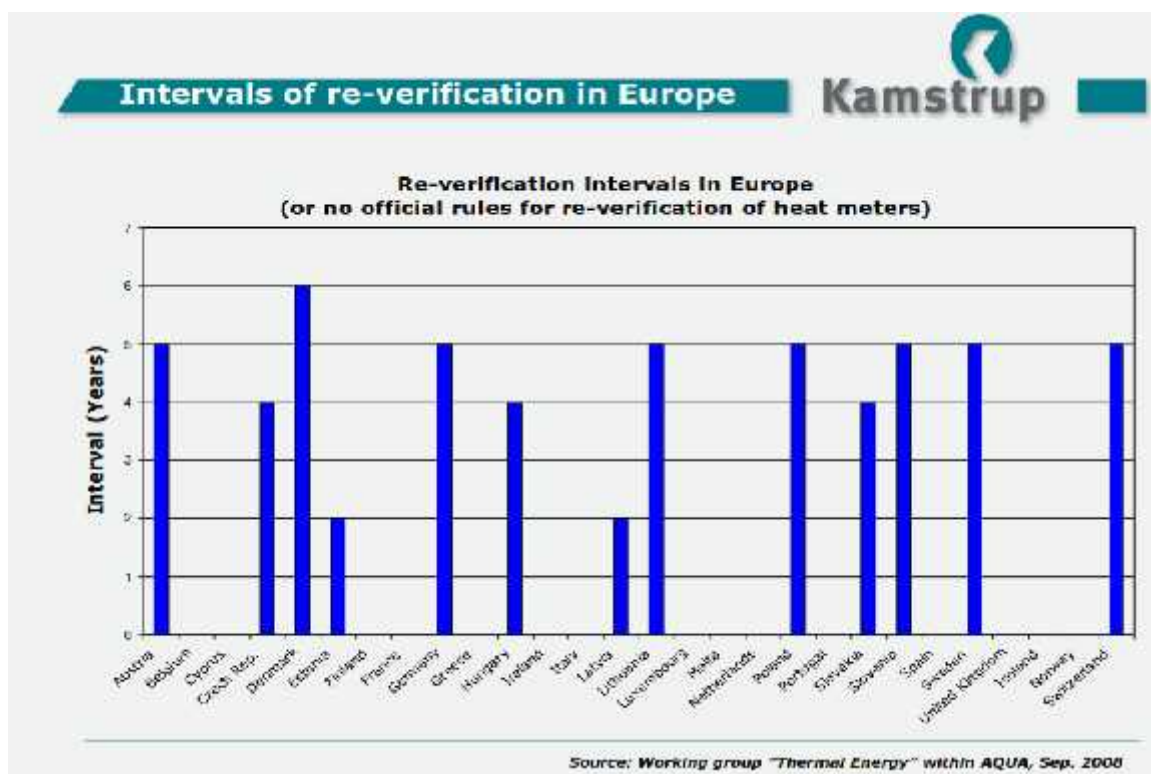
Taatlemise objektiks on soojusarvestid ja vooluhulgamõõturid. Taatlemise nõue on kirjas Majandus- ja Kommunikatsiooniministeeriumi (MKM) määruses nr. 104 „Kohustuslike metrooloogilisele kontrollile kuuluvate kasutusel olevate mõõtevahendite taatluskehtivusajad“. 2013. aastal viis Eesti Jõujaamade ja Kaugkütte Ühing (EJKÜ) oma liikmete hulgas läbi küsitluse, millega sooviti välja selgitada normidele mittevastavate arvestite osakaalu. Küsitluse tulemused on esitatud järgnevas tabelis 5.1.

Tabel 5.1. EJKÜ liikmetele kuuluvad nõuetele mittevastavad soojusarvestid

	Mõõtuuri nimetus	tootja	Kuluanduri tüüp	Mõõturite arv	Osakaal üldarvus	Mittevastavate mõõturite arv	Mittevastavate osakaal %
1	Multical 66C	Kamstrup	ultraheli	4 136	38,4%	13,00	0,31%
2	Multical (66C, 601,602)	Kamstrup	ultraheli	2 641	24,5%	71,00	2,69%
3	Multical 601 (67C)	Kamstrup	ultraheli	2 279	21,2%	7,00	0,31%
4	Multical III	Kamstrup	ultraheli	871	8,1%	1,00	0,11%
5	Multical 602	Kamstrup	ultraheli	251	2,3%	0,00	0,00%
6	Pollustat E	Slovakkia	ultraheli	52	0,5%	1,00	1,92%
7	Multical II	Kamstrup	ultraheli	50	0,5%	0,00	0,00%
8	Multical compact	Kamstrup	ultraheli	5	0,0%	0,00	0,00%
9	CF 51	Prantsusmaa	ultraheli	2	0,0%	0,00	0,00%
10	CF 50	Prantsusmaa	ultraheli	1	0,0%	0,00	0,00%
11	EEM-C	Danfoss	ultraheli	1	0,0%	0,00	0,00%
12	HG A1	Taani	ultraheli	1	0,0%	0,00	0,00%
13	M801	Kamstrup	ultraheli	1	0,0%	0,00	0,00%
14	Metra ERW 700	Siemens	ultraheli	1	0,0%	0,00	0,00%
15	PollucomE	Slovakkia	ultraheli	1	0,0%	0,00	0,00%
16	ULTRAHEAT UH 50	LASNDIS+GYR	ultraheli	1	0,0%	0,00	0,00%
	KOKKU			10 294	95,6%	93,00	0,90%
1	HG	Taani	magnetiline	100	0,9%	5,00	5,00%
2	Muud	erinevad	magnetiline	28	0,3%	5,00	17,86%
3	EM	Taani	magnetiline	17	0,2%	0,00	0,00%
4	Aquarius2000	Tepso	magnetiline	1	0,0%	0,00	0,00%
	KOKKU			146	1,4%	10,00	6,85%
1	Muud	erinevad	mehhaaniline	228	2,1%	10,00	4,39%
2	Picocal	Kamstrup	mehhaaniline	45	0,4%	1,00	2,22%
3	SVM F2		mehhaaniline	39	0,4%	2,00	5,13%
4	Pollucom	Slovakkia	mehhaaniline	18	0,2%	0,00	0,00%
5	CF 100 (WPD)	Schlumberger	mehhaaniline	2	0,0%	0,00	0,00%
	KOKKU			332	3,1%	13,00	3,92%
	KÕIK KOKKU			10 772	100,0%	116,00	1,08%

Küsitluse tulemusena selgus, et taatluse läbinud soojusarvestitest ja vooluhulgamõõturitest vaid napilt üle 1% ei arvestanud soojust vastavalt tegelikule kulule. Ultraheli vooluhulgamõõturitega arvestite hulgas ei vastanud nõuetele 0,9% soojusarvestitest. Läbiviidud küsitluse tulemusena selgus, et taatlemise nõue iga kahe aasta tagant on sisuliselt põhjendamatu. Põhjused, miks soojusarvestite taatlemine peaks toimuma tunduvalt harvemini, nt. iga viie aasta tagant, on:

- Soojusarvestite taatlemisele tehtavad kulutused on liiga kõrged. Antud olukord kahjustab eriti väikeseid kaugküttevõrke. Soojuse tarbija maksab kinni kõik tehtavad kulutused ning taatlemisele kulunud summa kajastub väiksemas võrgus suuremas proportsioonis soojuse hinnas.
- Hetkel kehtiva määruse alusel nõutava sagedusega tehtavad kontrollid ei ole vajalikud seoses tehnika arenguga. Praegu kasutatavatel soojusarvestitel ei ole mehhaanilisi osi, mis puruneksid. Samuti on paranenud kaugküttevõrgus kasutatava vee kvaliteet, millest tulenevalt on paranenud ka soojusarvestite täpsus.
- Isegi kui soojusarvestid kaotavad aja jooksul täpsuses, toimub see tavaliselt kliendi kasuks (s.t. arvesti muutub aeglasemaks). Vastupidine olukord on väga ebaharilik.
- Teiste riikide kogemus - enamuses Euroopa Liidu riikides on soojusarvestite taatluskehtivusaeg 5 aastat (muuhulgas Austria, Ungari, Poola, Sloveenia, Rootsi, Leedu). Paljudes riikides puudub kordustaatluse kohustus sootuks (näiteks Norra ja Soome) või kasutatakse statistilist taatlust välbaga 6 aastat (näiteks Taani). Ainult kolmes riigis on soojusarvestite taatlusvälbaks vaid 2 aastat. Need on Eesti kõrval veel Läti ja Bulgaaria. 2008.a koostatud kokkuvõttev joonis 5.1 on allpool ning teadaolevalt ei ole riigid oma taatlustähtaegu muutnud.



Joonis 5.1. Soojusarvestite taatlustähtajad Euroopa riikides [29]

6. KOKKUVÕTE

Magistritöö eesmärgiks oli analüüsida VKGS soojuse kauglugemissüsteemist saadud andmeid, võrrelda kauglugemissüsteemi seni kasutusel olnud andmete käsitsi kogumise süsteemiga, analüüsida empiirilistel analüüsidel põhinevaid investeerimisotsuseid ning võrrelda neid mõõtmistel saadud tulemustega. Töö tulemusena pidi selguma kauglugemissüsteemi roll investeerimisotsuste tegemisel võrreldes empiiriliste analüüsidega tehtud investeerimisotsustega.

Teiseks eesmärgiks oli tööst tulenevate järelduste põhjal formuleerida soojuse kauglugemissüsteemiga seotud soovitusi.

- Võrdlusandmete ning näidete analüüside põhjal saab järeldada, et kauglugemissüsteem lihtsustaks investeerimisotsuste tegemist. Kauglugemissüsteemi efektiivse kasutamise esimeseks tingimuseks on siiski kõigi vastava kaugküttepiirkonna tarbijate ühendamise süsteemiga. Alles siis saaks ära jätta kalkulatsioonid soojuskadude määramiseks, lihtne oleks kindlaks teha millised kaugküttetorustike osad vajavad suuremat tähelepanu ning millised osad vajavad investeeringuid.

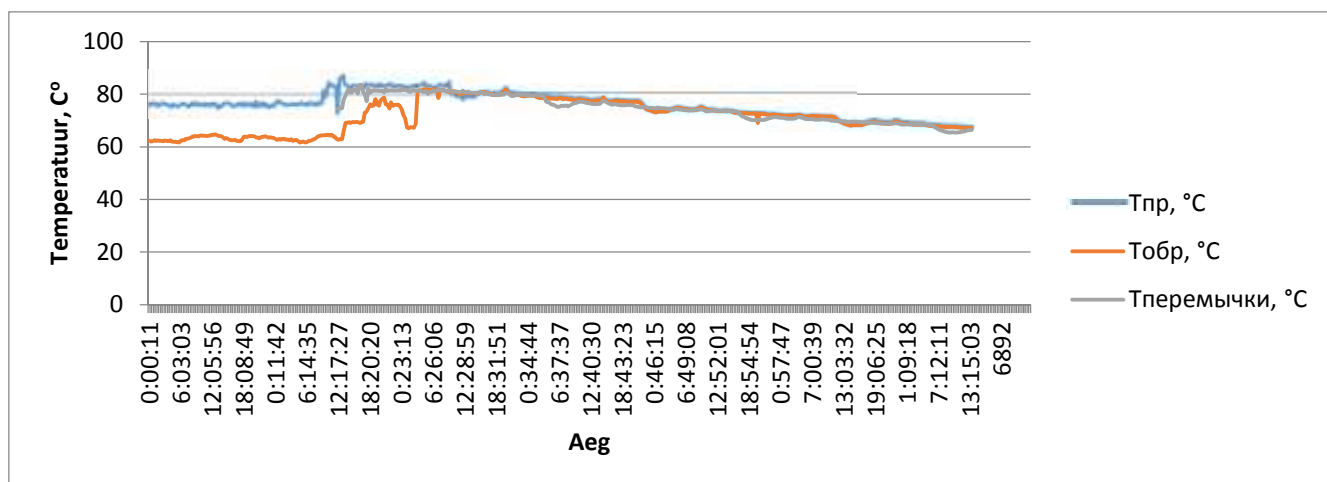
- Tööst ei järeldunud, et kauglugemissüsteem peaks olema ainuõigeks vahendiks investeerimisotsuste tegemisel. Nagu mainitud, kergendaks kauglugemissüsteemi olemasolu soojuse- ja vee lekkekohti paremini lokaliseerida. Tõhusamalt aitaks süsteem kaasa soojuskadude avastamisel vanade kaugküttetorustike puhul. Mida vanemad on kaugküttetorustikud ja nende isolatsioon, seda raskem on määrata tegelike soojuskadusid. VKGS-s oli kõige suurem vahe vanade kaugküttetorustike arvestuslike soojuskadude ja hiljem mõõdetud soojuskadude vahel. Empiiriliste analüüsidega oli algselt kaugküttetorustiku seisundit hinnatud liiga heaks, st renoveeritavate kaugküttetorustike seisundit hinnati arvestuslikult paremaks ja seega soojuskaos säästu tagasihoidlikumaks, kui tegelikult hiljem välja tuli.
- Tööst tuli välja, et kasutatavad empiirilised meetodid tagavad piisavalt korrektse arvutuste tulemuse ning tuginedes käibel olevatele valemitele soojuskadude määramiseks, ei empiirilise analüüsi põhjal tehtud investeerimisotsused valed. Kuigi maaaluste, vanade ning lekkeavastussüsteemita torustike puhul, on hinnangu andmine soojuskadude suurusele, ilma torustike lahti kaevamiseta keeruline, väheneb vea suurus kui kasutusel on eelisooleeritud torud või kui on võimalik hinnata torustike ja isolatsiooni seisukorda.
- Kaugküttetorustike rekonstrueerimise investeerimisotsuste juures, kauglugemissüsteem otsustavat rolli ei täida, kuid süsteem on asendamatu tarbijakäitumise hindamisel ning annab ainsana võimaluse reaajas võrgus toimuvat jälgida. Et reaalsele olukorrale vastav info võrguoperaatorini jõuaks on vaja välja töötada lisameetmed arvesti signaalidega manipuleerimise vastu. Soojusarvestid tarbijapaigaldises tuleb varustada petmise vastase funktsiooniga, nt. seadmega, mis saadab arvesti manipuleerimise katsel süsteemi võrku häiresignaali. Häiresignaali saaks eemaldada ainult operaatorite võimaldatud protseduuri abil. Teiseks võimaluseks oleks muuta arvesti ja sensorivaheline kommunikatsioon digitaalseks, mis teeks signaali takistamise või sellega manipuleerimise tunduvalt keerulisemaks.
- Üheks oluliseks eeliseks kauglugemissüsteemidele oleks tarkvaradega kaasaskäivad algoritmid, mis tooksid kõikumised tarbimises, vee- või soojuskadudes jm parameetrites automaatselt välja.
- Hinna tõttu ei ole kauglugemissüsteemi paigaldamine väikestele kaugküttevõrkudele veel mõistlik, küll aga suurematele võrkudele, kus võrgu kontrollimine, paljude tarbimispunktidega, on tunduvalt ressursimahukam. Käesolev töö ei anna vastust

küsimusele, kui suurest, või kui mitme tarbijaga võrgust alates on kauglugemissüsteemi paigaldamine mõistlik. Arvesse võttes energia tarbimise mõõtmisega seotud trende Euroopas, võib prognoosida, et tulevikus on soojuse eest arveldamise aluseks kauglugemissüsteemi olemasolu nõue.

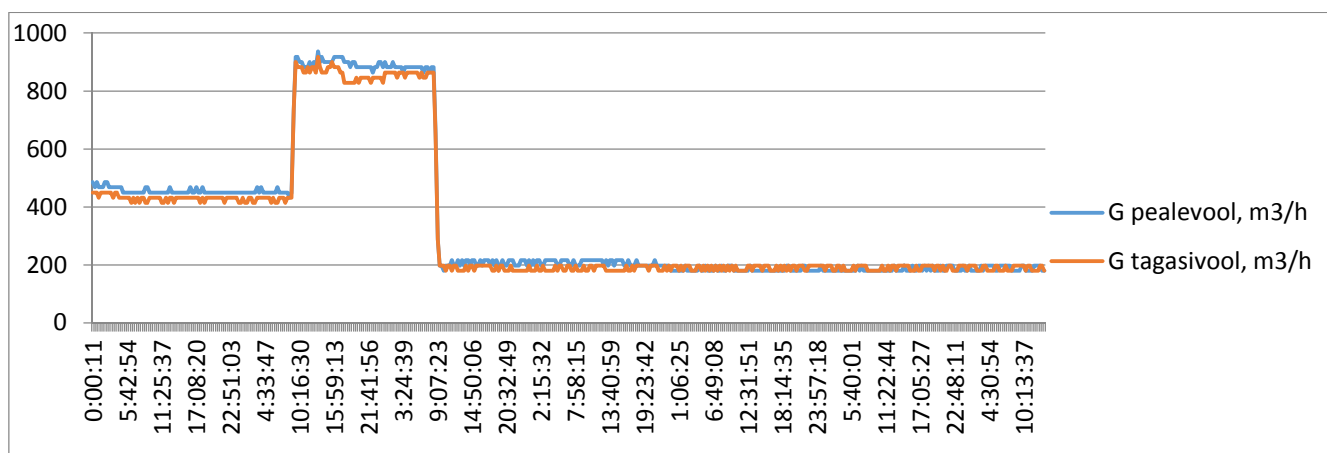
- Peale töös kirjeldatud ülesannete võib kauglugemissüsteemi edasi arendada, nii et see suudaks hinnata kaugküttevõrgus tsirkuleeriva vee kvaliteeti. Traditsiooniliselt võetakse veest analüüsid, et määrata vee pH taset, karedust ning hõljumi osakaalu. Kõiki nimetatud elemente on võimalik määrata reaalajas ilma proove võtmata, mõõtes vee elektrilist juhtivust või mõõtes vee kvaliteeti etteantud etalonsuurusega.[18]
- Tarbijapaigaldises on arvestite töötingimused reeglina head, st tagatud on selline keskkond, et arvesti töötab tõrgeteta ning ligipääs arvestile on tagatud. Kaugküttetorustike harudele paigaldatud magistraalsoojusarvestid on VKGS-s paigaldatud spetsiaalsetesse kappidesse. Kapid on töötajale kergesti ligipääsetavad, ühendatud elektrivõrku ja lukustatavad. Külmal ajal vajavad arvestid ja GSM modem lisasoojendust. Seega tuleks sarnase lahenduse puhul kapid soojustada ja varustada lisaküttekehaga.
- Arvestite füüsiline taatlemine iga kahe aasta tagant on liigselt koormav ja esialgse ülesande minetanud nõue. Kui kaugkütteeetevõtte kasutab tunnipõhist arvestust ja pidevalt kontrollib mõõtmistulemusi, tuleks inspekteerida kasutusel olevat mõõtesüsteemi, soojusarvestite asemel. Kui siiski arvestite taatlemisega jätkatakse peaks taatlemise vältima olema mitte vähem kui viis aastat, praeguse kahe aasta asemel.
- Kuigi kaugkütteseaduse § 14 lg 4 [19] sätestab võrguettevõtja soojuse mõõtmise kohustuse ning mainitud kohustuse täitmise raskendamisel võib olla võrguettevõtjal õigus äärmusliku meetmena soojusvarustus peatada, tuleb sellise meetme rakendamist iga kord eraldi tõsiselt analüüsida. Kauglugemissüsteemi üheks eesmärgiks on muuhulgas pakkuda soojuse tarbimisel lisaväärtust tarbijale mitte tegema tarbimist keerulisemaks. Soojuse varustamise katkestamine peaks olema siiski äärmuslik ning proportsionaalne meede ja kergekäeliselt seda teha ei tohi.

Töö alguses püstitatud eesmärgid, uurida kauglugemissüsteemi rolli investeerimisotsustele kaugküttevõrkude parendamisel ning süsteemi puudutavate soovitude formuleerimine, on täidetud.

7. LISAD



Joonis 7.1.. VKGE ja Ahtme boilerjaama vahelise magistraalorustiku jahtumine eksperimendi ajal.[30]



Joonis 7.2. Soojuskandja kulu VKGE ja Ahtme boilerjaama vahelise magistraalorustiku jahtumisel.[30]

8. KASUTATUD KIRJANDUS

1. Euroopa Komisjon. Energialiidu pakett. *Euroopa Liidu Teataja*. COM/2015/080 final, 13
2. District Heating and Cooling. *Country by Country. 2015 Survey*. Euroheat & Power, 2015, 4-15
3. Perioodi 2014-2020 struktuuritoetuste nimekiri. <http://www.eurotoetus.ee/> (25.05.2015)
4. Arukad võrgud – innovatsioonist kasutuselevõtuni. *Euroopa Liidu Teataja*. KOM/2011/0202 lõplik, 2, 6
5. Juhend kaalutud keskmise kapitalihinna arvutamiseks. Konkurentsiamet. Tallinn 2015
6. Eesti Jõujaamade ja Kaugkütte Ühing. Kaugküte – mugav, tõhus ja soodne, teksti autor Ülo Kask. Tallinn 2013
7. Hlebnikov, A. Eesti kaugküte soojusvõrkude efektiivsust saab 2–3 korda tõsta - *Inseneeria blogi* (25.05.2015)
8. Ühtekuuluvuspoliitika Fondide rakenduskava meetmete nimekiri koos jõustunud õigusaktide ja seletuskirjadega, <http://www.struktuurifondid.ee/struktuuritoetuse-seaduse-meetmepohised-oigusaktid-2/> (24.05.2015)
9. Soojuse tootmise, jaotamise ja müügiga seotud põhivarade kasuliku (tehnilise) eluea määramine (hindamine). SusDev Consulting OÜ. Konkurentsiamet 2012
10. Randlov, P. District Heating Handbook. European District Heating Pipe Manufacturers Association 1997
11. Kõiv, T.A., Rant, A. Hoonete küte, TTÜ kirjastus 2013
12. Talvari, A. Soojusfüüsika alused. Tehniline termodünaamika. Soojuslähikanne. Tallinn 2005
13. Ots, A. Soojustehnika algkursus. Termodünaamika, põlemine, soojusülekanne. Tallinn 2011
14. Hlebnikov, A. „The Analysis of Efficiency and Optimization of District Heating Networks in Estonia“, doktoritöö, TTÜ 2010
15. Ingermann, K. Kaugküte sojuskaod, Aramus vilistlasele, TTÜ, <http://www.ttu.ee/ttu-uudised/uudised/arvamus/karl-ingermann/> (20.05.2015)
16. Kraft. Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit von zylindersymmetrisch aufgebauten Rohrsystemen (Silindriliselt sümmeetrilise ehitusega torusüsteemide soojusjuhtivuse kindlaksmääramine); 3R international, Heft 4, 2007
17. Gadd, H., Werner, S. Heat load patterns in district heating substations. *Applied Energy*, 179. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261913001803>

-
18. Frederiksen, S., Werner, S. District Heating and Cooling. Studentlitteratur AB, 2013
 19. Kaugkütteseadus. *Riigi Teataja*, RT I, 12.07.2014, 60
<https://www.riigiteataja.ee/akt/264432?leiaKehtiv>
 20. EL direktiiv mõõtevahendite kohta. *Euroopa Liidu Teataja*. 2004/22/EÜ
 21. Mõõteseadus. *Riigi Teataja*, RT I, 12.07.2014, 101
<https://www.riigiteataja.ee/akt/131122010026?leiaKehtiv>
 22. Kohustuslikule metrooloogilisele kontrollile kuuluvate mõõtevahendite nimistu, mõõtevahendite olulised ja erinõuded, sealhulgas täpsusnõuded, ning mõõtevahendite taatluskehtivusajad. *Riigi Teataja*, RT I, 29.08.2014, 4
<https://www.riigiteataja.ee/akt/128062011027> (25.05.2015)
 23. EL direktiiv, milles käsitletakse energiatõhusust. *Euroopa Liidu Teataja*, 2012/27/EL
 24. Estfeed - http://estfeed.ee/wp-content/uploads/2014/04/Estfeed_Infovoldik.pdf
(25.05.2015)
 25. Estfeed - Executive Summary / Kokkuvõte EDFP (25.05.2015)
 26. Estfeed - <http://estfeed.ee/> (25.05.2015)
 27. Riigi Infosüsteemide Amet, <https://www.ria.ee/x-tee/> (25.05.2015)
 28. Andres Veske. Kaugloetavad mõõturid ei ole pealtkuulamiseseadmed. VKGS, 23.09.2014
<http://www.vkgsoojus.ee/est/uudised/231/kaugloetavad-mooturid-ei-ole-pealtkuulamis-seadmed>
 29. AMR based meter fleet surveillance, Kamstrup 2008
 30. Hlebnikov, A. Kohtla-Järve VKG katlamaja – Ahtme boilerjaama kaugkütte ühendusmagistraali soojuskadude mõõtmine, 2013