



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
MEHAANIKATEADUSKOND

Soojustehnika instituut

Soojusenergeetika õppetool

MSE70LT

Juhan Agurauja

**SUVISE SOOJUSTOOTMISE ARENDUSVÕIMALUSTE
TEHNILIS-MAJANDUSLIK ANALÜÜS VÕRU KESKLINNA
KAUGKÜTTEVÕRGUS**

Autor taotleb
tehnikateaduse magistri
akadeemilist kraadi

Tallinn

2014

AUTORIDEKLARATSIOON

Deklareerin, et käesolev lõputöö on minu iseseisva töö tulemus.

Esitatud materjalide põhjal ei ole varem akadeemilist kraadi taotletud.

Töös kasutatud kõik teiste autorite materjalid on varustatud vastavate viidetega.

Töö valmis teadur Ülo Kaski juhendamisel

“.....”2014 a.

Töö autor

..... allkiri

Töö vastab magistritööle esitatavatele nõuetele.

“.....”2014 a.

Juhendaja

..... allkiri

Lubatud kaitsmisele.

..... eriala/õppekava kaitsmiskomisjoni esimees

“.....”2014 a.

..... allkiri

TTÜ soojustehnika instituut
Soojusenergeetika õppetool

MAGISTRITÖÖ ÜLESANNE

2014. aasta kevadsemester

Üliõpilane: Juhan Agurauja, 121919MASMM

Õppekava: Soojusenergeetika MASM02/09

Eriala: Soojusenergeetika

Juhendaja: teadur Ülo Kask

Konsultandid: Markus Süßmann, Danpower Eesti AS juhatuse liige, 58609718

MAGISTRITÖÖ TEEMA:

Suvised soojustootmise arendusvõimaluste tehnilis-majanduslik analüüs Võru kesklinna kaugküttevõrgus

The Technical and Economical Analysis of the Development Opportunities for Heat Production in Summer in the District Heating Center Network of Võru

Lõputöös lahendatavad ülesanded ja nende täitmise ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Täitmise tähtaeg
1	Võru kaugküttesüsteemi ülevaade, olukorra uurimine, probleemide väljatoomine	31.01.2014
2.	Olemasolevate tehnoloogiate uurimine soojuse tootmiseks suve perioodil ning nendest sobilike välja valimine Võru jaoks	28.02.2014
3.	Erinevate optimeerimisvõimaluste analüüs Võru kesklinna võrgus	18.04.2014
4.	Parimate arendusvõimaluste võrdlus ning lahendusettepaneku formuleerimine	2.05.2014

Lahendatavad insenertehnilised ja majanduslikud probleemid: Soojusettevõtte tegevuse arendamine nii, et suvekuudel ei oleks kaugkütte soojuse tootmine ettevõttele kahjumlik.

Täiendavad märkused ja nõuded: Puuduvad

Töö keel: eesti

Kaitsmistaotlus esitada hiljemalt 12.05.2014

Töö esitamise tähtaeg 22.05.2014

Üliõpilane Juhan Agurauja /alkiri/ kuupäev.....

Juhendaja Ülo Kask /alkiri/ kuupäev.....

Konfidentsiaalsusnõuded ja muud ettevõttepoolsed tingimused formuleeritakse pöördel

SISUKORD

Sisukord.....	4
Eessõna.....	6
1 Sissejuhatus	7
2 Kaugkütet reguleerivad õigusaktid.....	10
3 Kaugküte Võrus.....	12
3.1 Ajalugu	12
3.2 Kaugküttevõrk	13
3.3 Katlamajad.....	15
3.4 Tarbijad.....	16
3.5 Energiabilanss ja tulukus	17
4 Kaugkütte optimeerimisvõimalused.....	21
4.1 Euroopa eesmärgid	21
4.2 Päikeseenergia	22
4.2.1 Kombineeritud päikese-biomassi kaugküte	24
4.3 Pikaajaline energiasalvestus	25
4.3.1 Tehnoloogiad.....	26
4.4 Jäätmepõletus.....	29
4.5 Madal temperatuurirežiim kaugküttevõrgus.....	31
4.5.1 Erinevad temperatuurirežiimid kaugküttevõrgus	31
4.5.2 Üleminek madalamale temperatuurirežiimile	33
4.6 Soojuspumbad	34
4.7 Kaugkütte tarbijate hulga suurendamine	35
4.7.1 Kaugkütte laiendamiskampaania Östersundis.....	36
4.8 Kaugjahutus	38
5 Alternatiivid Võru kaugküttes	40
5.1 Tasuvusanalüüsi meetodika.....	40

5.1.1	Tasuvusanalüüsi teoreetilised alused	40
5.1.2	Arvutusmudel	41
5.2	Energiabilansi muutmine	45
5.3	Alternatiivsed kütteallikad Võrus	49
5.3.1	Päikeseenergia	49
5.3.2	Pikaajaline energiasalvesti	51
5.3.3	Jäätmepõletus	53
5.3.4	Vesi-vesi soojuspump	54
5.3.5	Tööstuslik jääksoojus	54
5.4	Stabiilse tarbimisega tööstustarbija liitmine Võrus	55
5.4.1	Tehniline lahendus	56
5.4.2	Tasuvusanalüüs	57
5.4.3	Projekti mõjud	57
5.5	Endiste ja uute tarbijate liitmine Võrus	58
5.5.1	Sooja tarbevee kasutajaskonna suurendamine	59
5.5.2	Kaugküttele baseeruva jahutuse pakkumine	63
5.6	Sooja tarbevee tootmisest loobumine Võrus	65
6	Alternatiivide võrdlus	67
	Kokkuvõte	70
	Summary	73
	Zusammenfassung	76
	Kasutatud kirjandus	80
	Lisa 1: Võru kesklinna kaugküttevõrgu kaart	82

EESSÕNA

Käesoleva uurimistöö teema ettepaneku tegi autorile Danpower Eesti AS-i juhatuse liige Markus Süßmann. Töö koostamine toimus tihedas koostöös Danpower Eesti AS-iga, paljud lähteandmed on saadud ettevõttelt ning samuti on mitmes küsimuses toetunud ettevõtte varasematele analüüsidele. Danpower Eesti AS-i töötajatest varustasid andmetega, andsid nõu ning toetasid autorit kirjutamisel juhatuse liige Markus Süßmann, tootmisjuht Valter Banhard, finantsjuht Merle Taal, raamatupidaja Helgi Hütt, katlamajade juhataja Mati Laur, juhiabi Margarita Palgi ning assistent Kadi Vaino. Töö valmis Tallinna Tehnikaülikooli teadur Ülo Kaski juhendamisel, kes tänu oma kogemustele ja teadmistele kaugküttevallas panustas suuresti töö kvaliteeti. Töö autor tänab kõiki, kes töö valmimisele kaasa aitasid.

1 SISSEJUHATUS

Kaugkütte all mõistetakse soojuse ning sooja tarbevee tootmist tsentraalselt ning selle tarbimist hajutatult. Tootjaid ja tarbijaid ühendab kaugküttetorustik, kus soojuse edastamiseks kasutatakse näiteks kuumutatud vett. Suurimad kaugkütte puudused tulenevadki just võrgust, eelkõige torustiku soojuskadudest. Eriti märkimisväärne on kadude osakaal suvekuudel, kui ei ole kütetarbimist, vaid ainult sooja tarbevee tarbimine ning seegi minimaalne. Paljudes kaugküttes olevates elamutes on elanikud võtnud kasutusele sooja vee valmistamiseks elektriboilerid ja end sooja tarbevee torustikust lahti ühendanud või on kogu elamu sooja tarbevee võrguvee baasil valmistamisest loobunud. Primaarenergia jagunemisest kaugküttes on täpsemalt juttu kolmandas peatükis, kus iseloomustatakse Võru linna kesklinna võrgu näitajaid.

Kaugkütteettevõtte tulud sõltuvad puhtalt läbimüügi kogusest, müüdüd megavatt-tundidest. Suvel jääb nende hulk väikeseks, aga suurimad püsikulud, nagu amortisatsioon ja personalikulu, ei sõltu toodangu mahust ning ületavad koos muutuvkuludega suveperioodil tulusid. Seega on see üks võimalik koht optimeerimiseks ning parimate uute lahenduste rakendamiseks, eesmärgiga vähendada maksimaalselt suvekuude kahjumit, võimalusel aga saada kasumit.

Kaugküttesoojuse hind on Eestis reguleeritud Konkurentsiameti poolt Kaugkütteseadust järgides. Paljudes kaugküttepiirkondades, kus on ka suvine (sooja tarbevee) tarbimine, puututakse kokku sama probleemiga. Lihtsustatult võib öelda, et kõrges talvises küttesarves on sees tegelikult suured suvised kaod, kuna kaugküttesoojuse hinda määratakse aastaste tulude ja kulude alusel. Kui hinda muudetak iga kuu, oleksid suvised soojuse hinnad (€/MWh) kõrgemad ning talvised madalamad. Kuna aga Kaugkütteseaduse kohaselt on kaugkütteettevõtetele garanteeritud alati piiratud kasum (vt punkt 5.1), siis enamasti ei ole kaugkütteettevõtted motiveeritud investeringuid olukorra parandamiseks tegema. Majandus- ja Kommunikatsiooniministeerium on seadnud omale eesmärgiks Kaugkütteseaduse muutmise selliselt, et seda olukorda parendada.

Käesoleva uurimistöö eesmärgiks ongi analüüsida erinevaid variante, kuidas pakkuda kaugkütte tarbijatele suvel sooja vett nii, et see oleks kasulik nii tootjale kui ka tarbijale. Tootja jaoks tähendab kasulik suurimat lubatavat tulukust võimalikult väikese investeeringu juures ning tarbija jaoks vastuvõetavat, võimalikult madalat soojuse hinda.

Uurimise alla tulevad erinevad kaugkütte optimeerimise võimalused, mis on seatud soojusmajanduse arengu eesmärkideks Euroheat & Poweri poolt ning mis on leidnud positiivset rakendust kas praktikas või teadusuuringutes. Uurimuses antakse kõigepealt ülevaade erinevatest edukatest kaugkütte optimeerimisvõimalustest kirjanduse põhjal, seejärel analüüsitakse nende sobivust Võru jaoks ning lõpuks võrreldakse omavahel. Iga alternatiivi analüüs koosneb kolmest peamisest osast: tehniline lahendus, majanduslik analüüs ning projekti mõjud.

Tehnilise lahenduse osas põhjendatakse tehnoloogia, seadmete ning tööparameetrite valikut. Iga tehnoloogia täpsed tööpõhimõtted ning detailid ei ole selle töö fookuses, vaid nende tehnoloogiate rakendatavus, nende kõige olulisemad omadused ja majanduslikud aspektid. Kasutatud tehnoloogiate juures on viidatud allikatele, kust saab detailsemalt lugeda seadmete ja meetodikate spetsiifika kohta.

Majandusliku analüüsi osa kujutab endast investeringu tasuvusanalüüsi, kasutades peamise mõõdikuna sisemise tulukuse määra (*IRR – internal rate of return* – vt täpsemalt p. 5.1). Tasuvusanalüüsi käsitletakse prioriteetsena, st positiivsete tulemuste korral jätkatakse analüüsiga. Kui alternatiiv ei ole majanduslikult põhjendatud, ei oma see reaalselt rakenduslikku väärtust ning muid aspekte ei ole mõtet analüüsida.

Projekti mõjude osas vaadeldakse mõjusid, mis projekti täideviimise korral tekivad: kuidas projekt mõjutab ettevõtet, tarbijaid ja keskkonda. Keskkonnakaitse aspekti ei saa üheski kaasaegses projektis kõrvale jätta, kuna ühest küljest on see väga tugevalt ettevõtte finantse mõjutav tegur riiklike ja globaalsete piirangute tõttu ning teisalt oluline elukeskkonda ning - kvaliteeti mõjutav tegur. Samuti on oluline, millist sotsiaalset mõju ning vastukaja projekt omab, sest kaugkütteeetevõtte tegutsemisel võib kohalikus mastaabis olla suur roll näiteks töökohtade loomisel või kadumisel ning kütuste ja materjalide hankimisega seonduvalt.

Erinevaid kaugkütte optimeerimise võimalusi on küll palju uuritud, kuid vähe on tähelepanu pööratud suvisele perioodile. Töö autor ei leidnud varem tehtud uuringuid, mis võtaksid kokku ja võrdleksid erinevaid optimeerimise variante. Kirjandusel põhinev ülevaade arendusvõimalustest on toodud neljandas peatükis. Peamiselt on uuringud pärit põhjapoolsetest riikidest nagu Rootsi, Kanada ja Taani, kuid mingil määral on teemat uuritud veidi lõunapoolsemates riikides nagu Austria ja Saksamaa. Selline jaotus on tingitud kliimatilistest erinevustest põhja- ja lõunapoolsetes riikides. Samuti ei ole mitmetes Kesk- ja Lõuna-Euroopa maades kaugküte levinud kütmissviis, kuna on laialt arenenud muud

alternatiivsed küttevõimalused, näiteks suure haardega maagaasivõrk või traditsiooniline individuaaljahjude kasutamine.

Üks peamisi kaugkütte ning üldse energiamajanduse optimeerimise vahendeid on koostootmise arendamine, sest nii kasutatakse efektiivseimalt ära kütuste primaarenergia. Efektiivse koostootmise rakendamiseks on aga oluline piisava soojustarbimiskoormuse olemasolu aastaringselt. Eestis on suuremates kaugküttevõrkudes juba koostootmist rakendatud ning arendusi tehakse üha väiksemate võrkude jaoks. Tuginedes Võru kaugküttevõtte kogemusele ning tehnilis-majanduslikule analüüsile on leitud, et praeguste tingimuste juures ei ole koostootmine Võrus tasuv. Peamised põhjused selleks on toetuspoliitika ebasoosivus ja sellest tulenev ebakindlus investorite jaoks ning samuti madal suvine soojuskoormus, mis ei võimalda suvel maksimaalset elektritootmist või tuleb teha järeleandmisi tootmise tõhususes. Koostootmine ei lahenda käesoleva uurimistöö probleemi, pigem süvendab seda seeläbi, et põhjendab veel enam vajadust suurema suvise soojuskoormuse järgi. Juhul kui antud töö tulemusena leitakse potentsiaalselt efektiivseid optimeerimisvõimalusi ning neid rakendatakse nii, et Võrus suvine kaugküttetarve suureneb, tuleks uuesti üle vaadata ka varasem analüüs, sest koostootmine võib osutuda tasuvaks.

Käesolev uurimus on tehtud Võru linna näitel, kuna töö autor töötas kirjutamise ajal Võru linnas kaugkütet korraldavas ettevõttes Danpower Eesti AS, kust tuli ka teema püstituse ettepanek. Võru linna kesklinna kaugküttevõrk sobib hästi teema analüüsimiseks, kuna tegemist on keskmise suurusega võrguga Eestis ning seda haldav ettevõtte on arendustele meelestatud. Uurimistöö alguses antakse ülevaade uuritavast võrgust, katlamajadest ning tarbijaskonnast. Paljud töös kasutatud andmed on pärit Danpower Eesti AS-ilt ja omanikfirma Danpower GmbH grupi teistelt ettevõtetelt ning ei ole avalikkusele kättesaadavad. Töö jaoks info kogumiseks pidas autor nõu Danpower Eesti AS-i töötajatega, kellelt saadi ekspertarvamusi, mida on ka selles töös kasutatud.

Edukate uurimistöö tulemuste, s.t. kasulikult rakendatavate lahenduste korral, võivad parimad neist minna kasutusse Võrus ning tänu edukale eeskujule võiks leida see rakendust laiemalt mujal Eestis või teistes riikides, kus kasutatakse kaugkütet.

2 KAUGKÜTET REGULEERIVAD ÕIGUSAKTID

Eestis on kõik kaugkütet puudutav reguleeritud peamiselt Kaugkütteseadusega (lühendatult KKütS). Kaugkütteseaduses tuuakse välja muu seas kaugkütet puudutavate mõistete seletused, kaugkütte üldine korraldus, kaugküttevõrgu toimimine ning tegevuslubasid ja järelevalvet puudutav. Kaugkütte reguleerimisel on suur roll Konkurentsiametil, kes kooskõlastab kaugkütte hindasid, väljastab tegevuslubasid ning teostab järelevalvet.

KKütS järgi tuleb müüdava soojuse piirhinda kooskõlastada igale võrgupiirkonnale eraldi soojusettevõtjal, kes:

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

Hinnad kehtestatakse vastavalt prognoositavale aastasele müügikogusele ning sisaldavad järgnevat komponente:

- vajalike tegevuskulude, sealhulgas soojuse tootmiseks, jaotamiseks ja müügiks tehtavate kulutuste katmine;
- investeringud tegevus- ja arenduskohustuse täitmiseks;
- keskkonnanõuete täitmine;
- kvaliteedi- ja ohutusnõuete täitmine;
- põhjendatud tulukus.

Kusjuures põhjendatud tulukuse suurus oleneb muuseas kasutatavatest tehnoloogiatest ning süsteemi ökonoomsusest. Kuna tulukust arvestatakse kogu aasta lõikes, siis suvine kahjum kaetakse talvel teenitud tuluga. Kooskõlastatud piirhinnast kõrgema hinnaga ei tohi soojust müüa, küll aga madalamaga, kuid sel juhul kõigile võrdse hinnaga. Iga hinnamuutusega kaasneb aega- ja vaevanõudev taotlusprotsess, mida soojusettevõtted liiga tihti ette võtta ei soovi.

Hetkel on Majandus- ja Kommunikatsiooniministeriumis väljatöötamisel Kaugkütteseaduse muutmise seaduse eelnõu, mille sihiks on soojusettevõtjate suunamine stabiilsemate, keskkonnasäästlikumate ja odavamate hindadega kütuste kasutamisele. Eesmärk on tagada

kaugkütte tarbijale võimalikult soodne ja stabiilne soojuse hind käsikäes kindla ning võimalikult efektiivselt korraldatud soojusvarustusega. [1]

Kehtiv kaugkütteseadus vajab kaugküttesektori atraktiivsemaks muutmiseks täpsustamist. Kaugkütte hinna alandamine nõuab suuremahulisi investeeringuid, mille tegemiseks vajab investor pikaajalist ja ennustatavat regulatsiooni. Selleks näeb eelnõu ette suurema tulukuse võimaldamist, kui investeering tagab oluliselt soodsama hinna. Lisaks viiakse seadusesse põhimõttelisemad regulatsiooniprintsiibid, mis seni Konkurentsiameti metoodikas on kajastatud. [1]

Samuti võimaldab eelnõu kehtestada kahe-komponendiline hinnasüsteem. See tähendaks tarbija jaoks fikseeritud baassummat, mis katab ettevõtte valmisoleku tarbijale alati soojust müüa, sarnaselt võimsustasuga elektrivõrgus. Teine komponent oleks muutuvkuludel ja tarbimisel baseeruv hind sarnaselt praegusele, kus soojuse eest tasutakse vastavalt tarbitud kogusele. Selline hinnakujundus tähendaks aastaringi ühtlasemaid makseid soojuse eest, st suvel maksete suurenemist ning talvel vastavat vähenemist. [1]

Eelnõu sätestab ka võimaluse müüa soojust kooskõlastamata hinnaga juhul, kui soojuse hind on alla sellise hinna, mis vastab efektiivse ja optimaalselt töötava kaugküttepiirkonna referentshinnale. Samuti sätestab eelnõu soojusettevõtjale kohustuse müüa soojust mitte kallimalt kui eelnimetatud referentshind, kui soojusettevõtja kooskõlastatud hinnavalem ja selle alusel kooskõlastatud soojuse piirhind on kaotanud kehtivuse. [1]

Muudatused mõjutavad eelkõige madala müügimahuga väikseid kaugkütte võrgupiirkondi, kus kasutatakse kaugkütte tootmiseks eelkõige kalleid kütuseid. Täna on kohalike omavalitsuste volikogudel soovitatav vastu võtta oma territooriumil tegutseva väiksema kui 50 000 MWh tootmismahuga võrgupiirkonna kohta soojusmajanduse arengukava. Eelnõu kohaselt muutub nimetatud arengukava koostamine kohustuslikuks. Volikogud peavad hiljemalt 2017.a 1. juuliks soojusmajanduse arengukava võtma vastu. Arengukava koostamise toetamiseks luuakse eraldi toetusmeede. [1]

Kuna käesoleva uurimuse koostamise ajal ei olnud veel kaugkütteseaduse muudatused vastuvõetud, ei saa neid käsitleda alusena kogu uurimistöole, seega antud töö raames toetatakse õiguslaselt hetkel kehtivale Kaugkütteseadusele.

3 KAUGKÜTE VÖRUS

3.1 Ajalugu

Võru kaugkütteettevõtte on asutatud 1974. aastal Ühendatud Soojusvõrkude ja Katlamajade Direktsiooni osana (alletevõttena), 1980. aastal reorganiseeriti ettevõtte Võru Rajooni Soojusvõrkude Ettevõtteks, 1992. aastal aktsiaseltsiks Võru Soojus, 1993. aastal munitsipaalettevõtteks Võru Soojus. Alates 23. detsembrist 1997 on ettevõtte registreeritud Äriregistris aktsiaseltsina Võru Soojus. Alates 09.05.2013 on AS Võru Soojus uueks ärinimeks Danpower Eesti AS. Olulisimad etapid Võru kaugkütte arengus:

- 1972. aastal ehitati Võru linna esimene tsentraalkatlamaja Vabaduse tänavale.
- 1988. aastal ehitati seoses linna arenguga ja uue elamurajooni tekkimisega uus katlamaja Võrusoole, mis pidi hakkama varustama ka tulevast tööstuspiirkonda.
- 1995. aastal ühendati Vabaduse ja Võrusoo katlamaja ühtsesse ringsüsteemi.
- 1995. aastal renoveeriti üks Võrusoo katlamaja katel, millele ehitati juurde 7 MW hakkpuidul töötav eelpõlemiskolle.
- 1997. aastal ehitati Laane katlamaja 1 MW Kiviõli katlale saepurul töötav eelkolle.
- 1998. aastal renoveeriti Võrukivi katlamaja, sest piirkonnas polnud seoses tööstuse likvideerumisega võimalik suurte kateldegaga enam tarbijaid normaalselt soojusega varustada, renoveeriti ka piirkonna kaugkütte torustikud.
- 2001. aastal ettevõttes toimunud saneerimise ja arendustöö tulemusena Vabaduse katlamaja likvideeriti ja asemele ehitati 8 MW tipu- ja reservkatlamaja, mille juhtimine ja töö jälgimine toimub Võrusoo katlamajast.
- 2002. aastal ehitati uus kaasaegne 300 tonni mahutav keskkonnanõuetele vastav raskeõlimahuti Vabaduse katlamajale.
- 2005. aastal alustas tööd uus Võrusoo 10 MW biokütusekatlamaja, mille tulemusena toodetakse Danpower Eesti AS-is tänaste tarbimiste juures hakkpuidul ligi 75% soojusest. Danpower Eesti AS-is on põhitähelepanu all keskkonnasäästlikuma biokütuse kasutamine.
- 2006. aastal ehitati kahe amortiseerunud Võrukivi raskeõli mahuti asemele üks 200 tonni kütteõli mahutav mahuti.

- 2007. aastal ehitati Võrusoo katlamaja juurde uus 800 tonni kütteõli mahutav mahuti, seega on Danpower Eesti AS-il täielikult kaasajastatud vedelkütuse mahutipark, mis vastab kõikidele keskkonnanõuetele.
- 2012. aastal omandas Danpower GmbH Võru Soojuse aktsiad 100%-liselt. [2]

3.2 Kaugküttevõrk

Võru linna kaugküttepiirkond jaguneb kolmeks eraldiseisvaks võrguks: Kesklinn, Võrukivi ja Laane. Kesklinna piirkond (kaart võrgu skeemiga on toodud Lisas 1: Võru kesklinna kaugküttevõrgu kaart) on suurim, andes ligi 93% kogu soojuse müügist (Tabel 3.1), teised võrgud paiknevad kesklinnast eemal ning annavad vaid väikese osa käibest. Edaspidi käsitletakse töös vaid kesklinna võrku. Kõigis kolmes võrgus kehtib üks kaugkütte soojuse hind 55,27 €/MWh, millele lisandub käibemaks.

Tabel 3.1 Võru kaugküttevõrkude maht 2013. aastal

	Kesklinn	Võrukivi	Laane	Kokku
Müük (MWh)	50607	1731	2117	54455
Osakaal	92,9%	3,2%	3,9%	100%

Kesklinna võrk on projekteeritud töötama kõrgel temperatuurirežiimil 110/65 °C (siin ja edaspidi: pealevoolu/tagasivoolu vee temperatuur), reaalne aastane keskmine jääb ligikaudu 80/52 °C juurde.

Kesklinna võrgu seisukorda uuris 2013. aastal Tallinna Tehnikaülikooli dotsent Aleksandr Hlebnikov, kes kokkuvõtvalt leidis, et Võru kaugküttetorustik on heas seisukorras. Kesklinna võrku iseloomustavad näitajad on toodud järgnevas tabelis (Tabel 3.2). Võru linna kaugküttevõrgu torustikud on ehitatud väga erinevatel aegadel lõikude kaupa ja on kuni 45 aastat vanad. Põhiosa võrgust asub maaaluses betoonkanalis, kuid on olemas ka maapealsed magistraaltorustikud, peamiselt seda just Võrusoo katlamajast väljuvad, mida kõrge põhjavee tõttu polnud võimalik kanalisse paigaldada. Erinevatel aegadel ehitatud trassid on ehitatud erinevat tehnoloogiat kasutades. Vanemad osad on paigutatud künadesse ja isoleeritud klaasvatiga. Uued ja renoveeritud lõigud on eelisooleeritud torudest. [3]

Ehituse ajal kasutatud tehnoloogiast, geodeetilistel põhjustel ja ehituse iseärasustest (pinnavee kõrgus, ehituse kvaliteet jms) tulenevalt on torustikulõikude olukord üsna erinev. Mõni ehituslikult uuem torustikulõik võib olla avariohtlikus seisukorras, aga vanem korralikult ehitatud ja kuivas pinnases paiknev lõik on heas seisukorras. [3]

Võru kesklinna kaugküttevõrgu üldine soojuslähikandetegur on vähenenud tänu rekonstrueerimistödele: 2000. aastal oli see näitaja $1,6 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$ ja 2012. aastaks oli see vähenenud 1,3 korda olles $1,2 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$. Võru kesklinna kaugküttevõrgu suhteline soojuskadu on viimastel aastatel olnud $\sim 19\text{...}19,5\%$, nii kõrge suhtelise soojuskao põhjusteks on vanade võrguosade soojusisolatsiooni halb seisund ja küllalt madal soojustarbimise tihedus. Soojusväljastus võrgu ühe jooksva meetri kohta on viimase kümne aasta jooksul oluliselt vähenenud ja on praegu $2,8 \text{ MWh}/\text{m}$ aastas (2000. aastal oli $\sim 3,8 \text{ MWh}/\text{m}$). [3]

Tarbimistihedus 2012. aastal oli $2,3 \text{ MWh}/\text{m}$. Kogu tarbijaskonna liitumisvõimsuseks on arvestatud $44,4 \text{ MW}$, millest $28,1 \text{ MW}$ on kütte tarbeks ning $16,3 \text{ MW}$ sooja tarbevee jaoks. Need suurused on arvestatud varuga ning summaarne tegelik tiputarbimine 24 MW jääb liitumisvõimsustele tublisti alla. Liitumisvõimsuste järgi arvestatud tarbimisvõimsus jooksva meetri kohta on $1,90 \text{ kW}/\text{m}$. Kui võtta reaalse mõõdetud tiputarbimise järgi, siis tuleb tarbimisvõimsuse tiheduseks $1,03 \text{ kW}/\text{m}$.

Tabel 3.2 Võru kesklinna kaugküttevõrgu näitajad [3]

Näitaja	Väljastus Q	Tarbimine Q_t	Soojuskadu Q_{sjk}	Soojuskadu Q_{sjk}	Soojuskao- tegur q_{sjk}	Temp. Integraal
Ühik	MWh	MWh	MWh	%		$\times 10^{50} \text{Ch}$
Võrk (2012)	66480	53664	12816	19,3%	0,193	5,317
Näitaja	Keskmine diameeter	Võrgu pikkus L	Võrgu maht V	Eriväljastus Q/L	Erisoojus- kadu Q_{sjk}/L	Eriväljastus Q/V
Ühik	m	m	m^3	MWh/m	MWh/m	MWh/m^3
Võrk (2012)	0,149	23341	1068	2,85	0,55	62,25
Näitaja	Pindala A	Eripind A/L	Erimaht V/L	Üldine soojusläbi- kandetegur Kü	Jaotustegur q_{jt}	
Ühik	m^2	m^2/m	m^3/m	$\text{W}/(\text{m}^2 \text{ K})$	$(\text{m}^2 \text{ K})/\text{W}$	
Võrk (2012)	21804,30	0,93	0,046	1,105	0,174	

3.3 Katlamajad

Kesklinna võrku varustatakse soojusega kahest katlamajast: aastaringselt linna servas asuvast Võrusoo katlamajast ning talvisel tipukoormuse ajal kesklinnas asuvast konteinerkatlamajast Vabaduse tänaval. Vabaduse katlamaja on kaugjuhitav Võrusoolt ning ühendatud täielikult samasse võrku, seega võib neid kahte katlamaja ja ühte kaugküttevõrku vaadata tervikliku süsteemina. Kesklinna võrgu katlamajade maksimaalne väljundvõimsus on 58 MW, mis ületab ligi kahekordselt tiputarbimise ning tagab seega suure varustuskindluse. Võrusoo katlamaja territooriumil asub kaks hoonet: vana katlamaja aurukateldega (üks hakkpuidu küttel) ning uus hakkpuidukatlamaja. Täpsem ülevaade kesklinna võrgu katlamajadest antakse järgnevas tabelis (Tabel 3.3). Katlamajade aastane kütusevajadus on ligikaudu 105 000 pm³ hakkpuitu ning 675 tonni põlevkiviõli. Sisseostetud primaarenergia järgi on biomassi ja põlevkiviõli osakaalud vastavalt 86% ja 14%.

Tabel 3.3 Danpower Eesti AS katlad kesklinna kaugküttevõrgus

Parameeter	1	2	3	4	5
Asukoht	Võrusoo	Võrusoo	Võrusoo	Võrusoo	Vabaduse
Kütus	Naturaalne hakkpuit	Naturaalne hakkpuit	Põlevkiviõli	Põlevkiviõli	Põlevkiviõli
Võimsus (MW)	10	7	14	14	8
Soojuskandja	Vesi	Aur	Aur	Aur	Vesi
Ehitusaasta	2005	1988/1995	1988	1988	2001
Tüüp	Danstoker	DE-25-14-GM + Järnforsen eelkolle	DE-25-14-GM	DE-25-14-GM	Danstoker
Koormus	Baas	Baas + suvi	Reserv	Reserv	Tipp + reserv

Veebruaris 2014 algas Võrusoo vana katlamaja renoveerimine, mis peaks lõppema sama aasta sügisel, seega eelnevalt kirjeldatud olukord muutub töö kirjutamise ajal. Renoveerimise käigus demonteeritakse kõik aurukatlad, alles jääb vaid hakkpuitu kasutatav eelkolle, mille külge ühendatakse uus 6 MW kuumavee katel. Tipu- ja reservkatlana paigaldatakse uus 10 MW põlevkiviõlikatel. Käesoleva töö analüüs põhineb siiski ajaloolistel kindlatel andmetel, mitte prognoosil pärast renoveerimist. Pärast renoveerimistöde lõppu ning piisavate andmete olemasolul, tuleks antud töö analüüsi täpsustada ning kaasajastada.



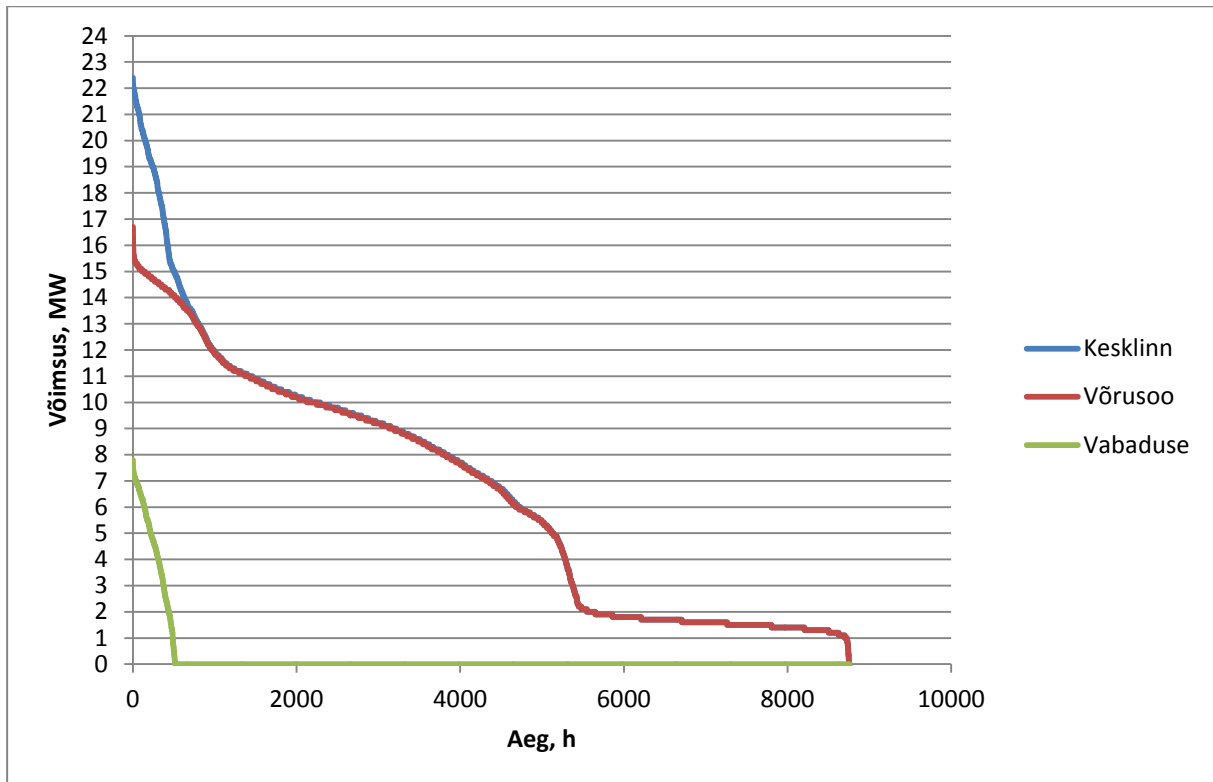
Sele 3.1 Võrusoo katlamaja. Esiplaanil paremal 10 MW uus hakkpuidu katlamaja. Esiplaanil vasakul vana hakkpuidu katla ladu. Tagaplaanil vana katlamaja.

3.4 Tarbijad

Kaugküttetarbijad jagatakse reeglina kolmeks: kortermajad, teenindus/tööstuskliendid ning eramajad. Neist viimaseid on Võrus kaugküttega ühendatud üksikuid. Enamik tarbijatest on kortermajad, millele lisanduvad avalikud hooned (koolid, spordihall, linna asutused) ning ettevõtted (kaubanduskeskused, töökojad, tööstuste administratiivhooned). Mitmed avalikud asutused on oma hoonekarpe renoveerinud, kuid elamud ning ettevõtted on sellele Võrus vähe tähelepanu pööranud. Märkata on olnud väikest tarbimise vähenemist aja jooksul, kuid siiski hetkel veel marginaalset.

Võru kesklinnavõrgu koormusgraafikult (Sele 3.2) on näha tavapärasest suurt aastast võimsuste erinevust. Tipukoormus jäi 23 MW alla (ebatavaliselt soe talv) ning suvine madalaim veidi üle 1 MW. Keskmine suvine koormus on 1,5 MW. Suur osa aastast töötatakse vaid hakkpuidu katlaid kasutades, millele praktiliselt vastab toodud koormusgraafikul „Võrusoo“ kõver. Tipu katmiseks kasutatakse ligikaudu 800 tundi aastas Vabaduse katlamaja ning vaid mõned

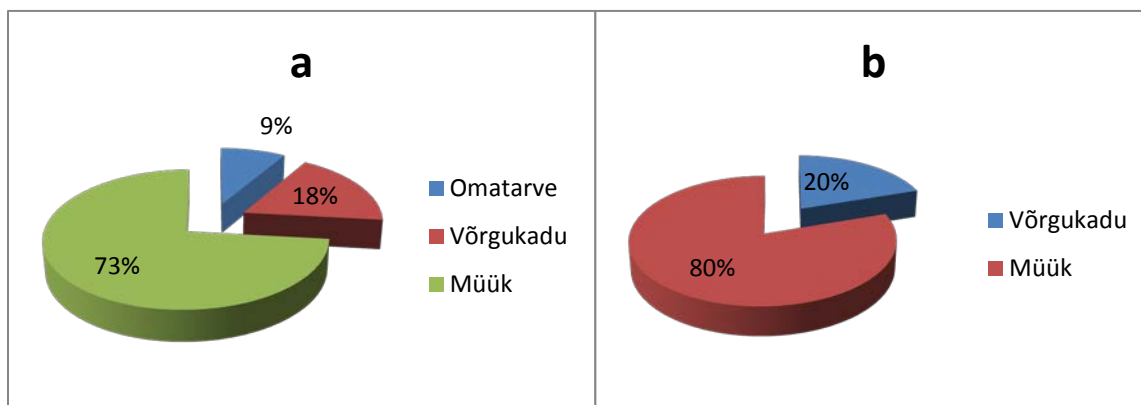
kümned tunnid Võrusoo õlikatlaid (koormusgraafiku „Võrusoo“ kõvera kõrgeim vertikaalne ots).



Sele 3.2 Võru kesklinnavõrgu koormusgraafik perioodil aprill 2013 – märts 2014

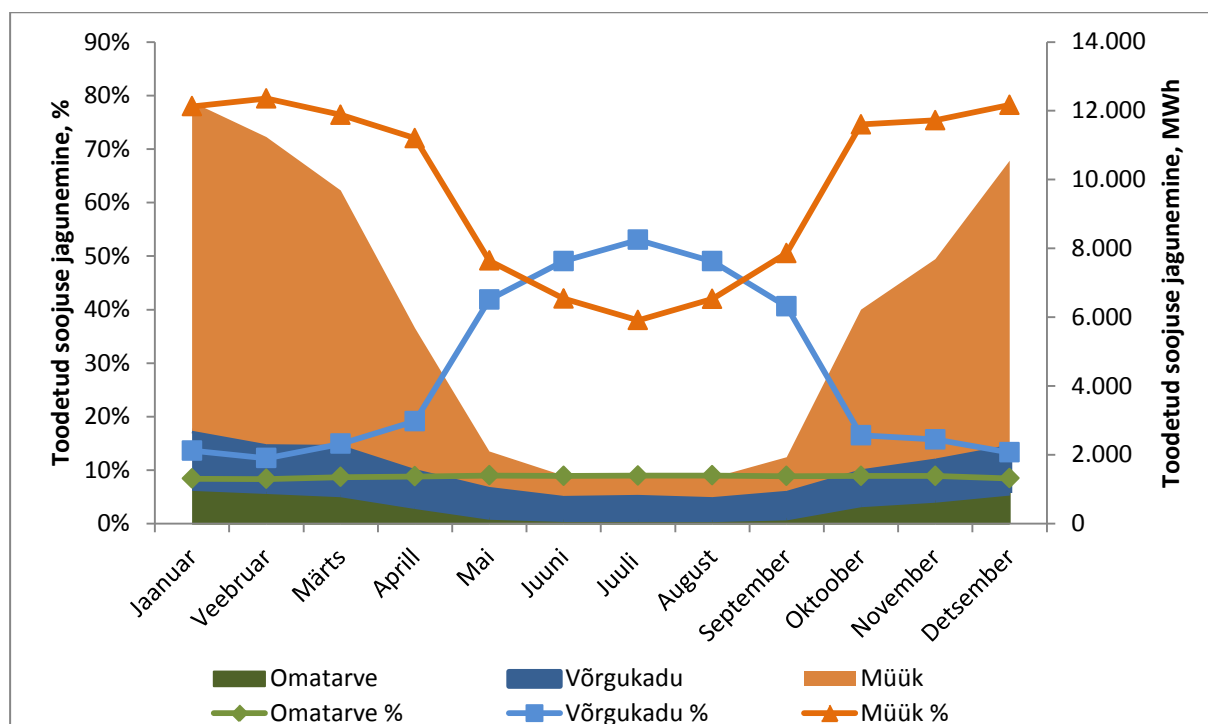
3.5 Energiabilanss ja tulukus

Kaugküttesüsteemi energiavoogu saab jälgida alates kütusega sissetulnud energiast kuni soojuseni tarbija radiaatoris või muus soojusvahetis. Kuna Danpower Eesti AS-i Võru katlamajades ei mõõdata täpselt katlasse sisse antud kütuse koguseid ning ei omata täpset infot kütuse reaalse kütteväärtuse kohta ega ka katelde kasuteguri kohta, siis hinnatakse neid vastavalt TTÜ Soojustehnika Instituudi juhistele, mis on ka Konkurentsiameti poolt heaks kiidetud. Samuti puudub adekvaatne info selle kohta, kuidas jaguneb energia pärast soojusarvesteid tarbijate soojussõlmedes (st kui palju kütteks, kui palju sooja tarbevee valmistamiseks ning kui suured on tarbijate individuaalsed tarbimiskogused). Antud töö raames ning konkreetses peatükis on kasutatud soojushulki mõõdetuna kateldest väljumisel ja soojushulki mõõdetuna tarbijate soojussõlmede soojusarvestites.



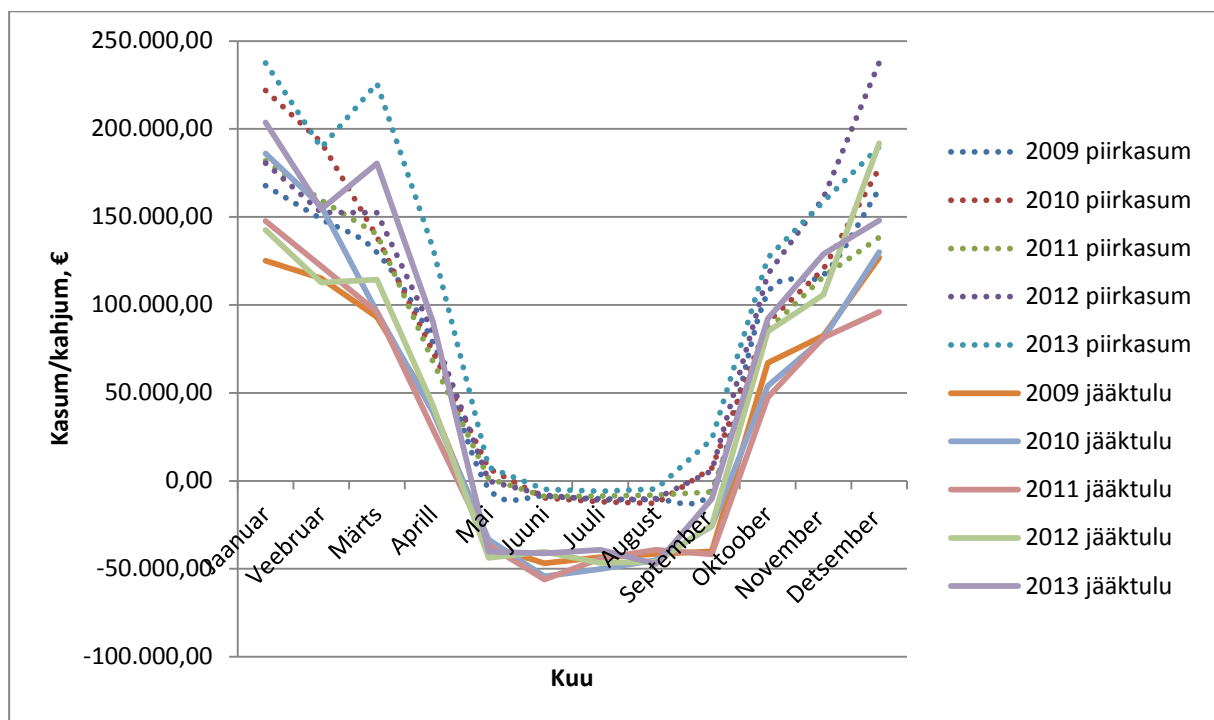
Sele 3.3 a – Soojuse jagunemine tootmise baasil. b – Soojuse jagunemise võrku väljastamise baasil. Perioodi 2009-2013 keskmised väärtused.

Diagrammid (Sele 3.3) näitavad, kuidas jaguneb toodetud soojus (Sele 3.3 a) ning kaugküttevõrku väljastatud soojus (Sele 3.3 b). Toodetud soojus on kateldest väljuv soojuse hulk, omatarbe all on peetud silmas katlamaja hoonete kütet, sooja tarbevee vajadust ning kadusid katlamajas. Müüdnud soojus on tarbijate arvestite näitude summa ning võrgukadu on väljastatud ja müüdnud soojuse vahe, mis väljendab soojuse edastamisel katlamajadest tarbijateni väliskeskkonda hajunud soojuse hulka.



Sele 3.4 Võru kesklinna kaugküttevõrgus toodetud soojuse jagunemine MWh-s ja protsentides. Perioodi 2009-2013 keskmised näitajad.

Olgugi, et aasta keskmisena müügiks mitte jõudnud toodangu osa (omatarve ja võrgukadu) ei ole märkimisväärselt suur, ca 27% kogu toodangust, siis kuude lõikes on näitajad hoopis erinevad (Sele 3.4). Kütteperiood algab tavaliselt septembri keskel ning lõpeb mai keskel, sinna vahele jääb suvine periood, mil tarbitakse kaugkütet vaid tarbevee soojendamiseks. Suvisel perioodil väheneb kuine tarbimine kuni 500...600 MWh-ni, moodustades kogu suve läbimüügiks nelja kuu jooksul 2200 MWh, mis on ligi veerand talvel ühe kuu jooksul müüdüd soojuse kogusest. Omatarbe osakaal on aasta läbi stabiilselt 8,8% ümber, tõustes suvel küll veidi kõrgemale, kuid siiski mitte üle 9%. Võrgukaod naturaalhikutes (MWh) on aastaringi suhteliselt stabiilsed, protsentuaalselt (kadu võrku sisestatud soojuse suhtes) erinevad aga aasta jooksul oluliselt. Kui talvekuudel on võrgukadu keskmiselt u 1300 MWh, siis suvine keskmine ulatub 750 MWh kuus. See viitab sellele, et suurem osa toodetud soojusest läheb suvel kadudeks ning vaid ligikaudu 40% jõuab tarbijateni.



Sele 3.5 Perioodi 2009-2013 piirkasum ja jääktulu kuude lõikes

Eelneval joonisel (Sele 3.5) on toodud Danpower Eesti AS-i viimase viie aasta (2009-2013) majandustulemused kesklinna võrgus. Sellelt joonistub selgesti välja kaugkütte tootmise kahjumlikkus suvisel perioodil – piirkasum on negatiivne, st tuludega ei suudeta katta isegi

muutuvkulusid. Vaadates jääktulu, mis näitab tulude ja kogukulude vahet, on suvine miinus veel suurem. Kui soojusettevõtja ei oleks vastutustundlik ning kehtestatud kaugküttepiirkonnas ei oleks kohustust tarbijaid varustada aastaringselt soojusega, siis esmapilgul võib tunduda, et majanduslikust aspektist oleks mõistlik suveks tegevus katkestada, mida paljudes kohtades tehaksegi (peamiselt seal, kus puudub suvine tarbimine tarbijate soovil).

4 KAUGKÜTTE OPTIMEERIMISVÕIMALUSED

4.1 Euroopa eesmärgid

Euroheat & Poweri tellimisel valminud kaheosaline uurimistöo kaugkütte tulevikust „Heat roadmap Europe 2050“ [4, 5] toob välja peamised suunad ning eesmärgid Euroopa Liidu kaugkütte arendamiseks. Uurimuse andmeil on praegu kaugkütte osakaal 12% kogu Euroopa (EL 27 liikmesriigi) soojuseturust elamu- ja teenindussektoris ning kui vaadata ainult elamispindu, siis on kaugkütte 15% tarbijatest. Töös prognoositakse, et kaugkütte hakkab laiemalt levima ning aastaks 2030 on osakaal tõusnud 30%-ni ning aastaks 2050 50%-ni. Nende väärtuste saavutamiseks nähakse ette kahte etappi. Esimese etapina suurendatakse energia kasutamise efektiivsust uute koostootmisjaamade rajamise ning nende kaugküttevõrku ühendamise. Teises etapis suurendatakse tööstusliku jääksoojuse, jäätmepõletuse, geotermaal- ning päikeseenergia kasutust (Tabel 4.1).

Tabel 4.1 Võtmetehnoloogiad ja eesmärgid soojusvarustuses aastaks 2050 [5]

Meede	2010 tegelik	2050 eesmärk
Energiatarve elamutes	Vähendamine 34%	
Kaugkütte osakaal	12%	50%
Koostootmine	41 GW _e	205 GW _e
Suured soojuspumbad	0 GWe	40 GWe
Soojuse salvestamine	160 GWh	750 GWh
Tsentraalkatlad (peamiselt biomass)	132 GW _{th}	532 GW _{th}
Jäätmetest toodetud soojus	50 TWh	200 TWh
Suured päikese soojuse jaamad	0 TWh	100 TWh
Individuaalne päikese soojus	22,5 TWh	130 TWh
Tööstuslik jääksoojus	7 TWh	105 TWh
Geotermaal soojus	2 TWh	100 TWh
Individuaalsed soojuspumbad	40 GW _e	175 GW _e
Tuuleenergia	150 TWh	1490 TWh

Kahe etapi kokkuvõttes peaksid nimetatud tegevused vähendama primaarenergia tarbimist 7%, fossiilsete kütuste tarbimist 13% ning süsihappegaasi heitmeid 17%. Lisaks energeetilistele kasudele kaasneb nende tegevustega ka positiivne sotsiaalmajanduslik efekt uute töökohtade, varustuskindluse ning madalamate küttehindade näol. [4]

Iseloomustamaks kui palju on Euroopas potentsiaali nende eesmärkide täitmiseks, on toodud välja järgnevad näitajad:

- Ligikaudu 17% ülejäävast soojusest elektritootmisel kasutati ära kas kaugkütteks või otseselt tööstuslikuks vajaduseks.
- Vaid 1% Euroopa biomassi potentsiaalid kasutati kaugküttes elamute soojusvajaduse rahuldamiseks.
- Ligikaudu 7% taaskasutamata jäätmete kütteväärtusest kasutati ära kaugküttes.
- Vaid 3% tööstuslikust jääsoojusest kasutati ära kaugküttesüsteemides.
- Vähem kui 0,001% otseseks kasutamiseks sobivast geotermaal energiast kasutati ära kaugküttesüsteemides. [5]

Suur tähtsus pannakse kaugküttevõrkude laienemisele, kuna palju lihtsam ning odavam on arendada edasi ning laiendada olemasolevat süsteemi, kui hakata looma täiesti uut. Paljudes Euroopa Liidu riikides on selleks juba olemas vajalik kohalik tehnoloogiate oskusteave, seadmete tootjad ning toimivad ärimudelid. Mitmetes Euroopa riikides nähakse võimalust kolmekordistada kaugkütte osakaalu praeguselt 20%-lt 60%-ni. Peamisi põhjusi selle elluviimiseks on suur hindade vahe praegu populaarsete imporditud fossiilsete kütuste ning modernsete keskkonnasõbralike tehnoloogiate vahel. On leitud, et kaugkütte arendamisel ning fossiilsete kütuste (nafta, maagaas) asendamisel, on võimalik saavutada sotsiaalmajanduslik tasuvusaeg 2-3 aastat. [5]

Üleeuroopalises uuringus on keskendutud peamiselt Kesk-Euroopa riikidele, kus nähakse kaugküttes suurimat arengupotentsiaali. Eestit ning ülejäänud Ida-Euroopat ei nähta kui kaugkütte arengu „kuumi kohti“, kuna siin on kaugkütte niigi laialt levinud ning jääsoojus suures osas ära kasutatud. Suurimat potentsiaali tööstusliku jääsoojuse suuremal ära kasutamisel Eestis nähakse peamiselt Ida-Virumaal ning teistes Põhja-Eesti maakondades. [5]

4.2 Päikeseenergia

Päikesekiirguse intensiivsus ja kestus sõltuvad laiuskraadist, kohaliku kliima iseärasustest, aastaajast, ööpäevast ning õhu puhtusest. Eesti laiuskraadidel on võimalik kasutada

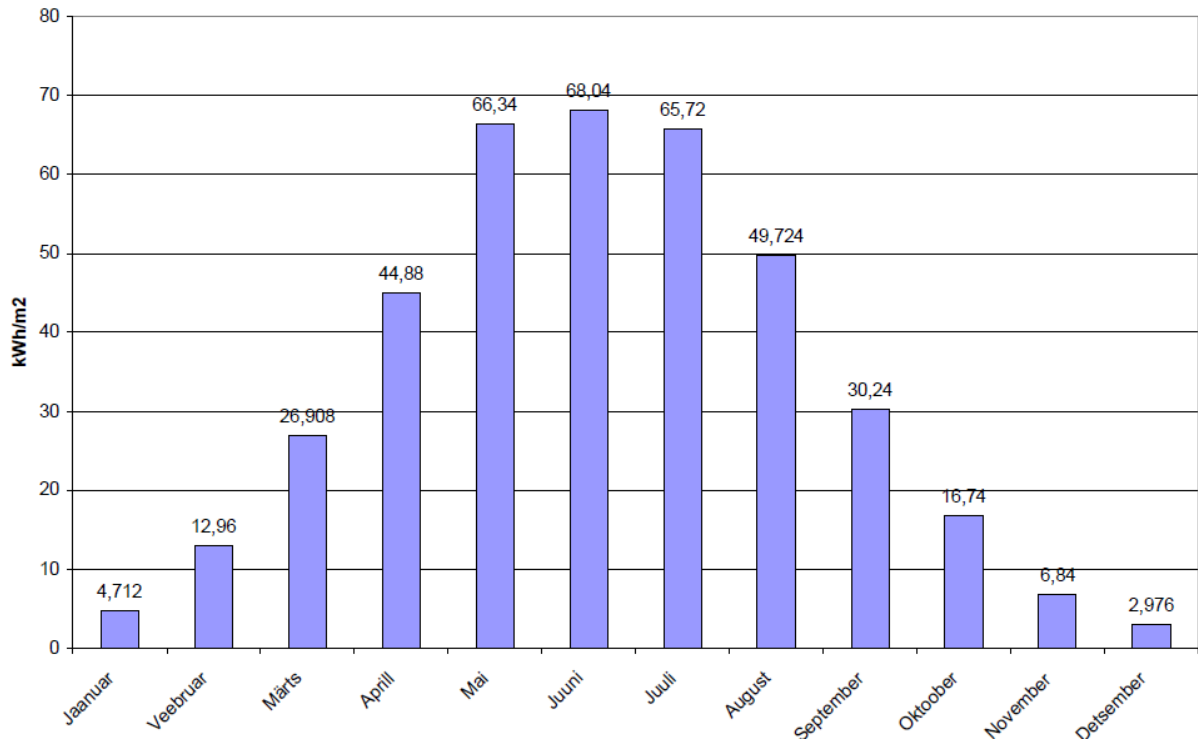
päikesekütet kombineeritult koos teiste soojusallikatega, kuna siinsed päikesekiirguse ressursid on küllaltki väikesed ning mitteregulaarsed. Päikesekollektori töö tõhusus sõltub mitmetest asjaoludest: hoonete soojustuse tasemest, kollektori pinna suuruselt, kollektori suunast ilmakaarte suhtes, samuti kollektori kaldenurgast: väikseim 30°, maksimaalne 70°. Päikesekollektori optimaalseks orientatsiooniks loetakse lõunasuunda, kaldenurgaga, mis vastab asupaiga laiuskraadile (Eesti asub 58-ndal laiuskraadil). Eestis loetakse sobivaimaks kaldenurgaks 45-60° (sellise kalde vahemikus aastane toodetud energiahulk oluliselt ei muutu). [6]

Tabel 4.2 Eesti ilmastiku keskmised andmed [6]

Kuu	Aktinomeetriline resurss [kWh/m ²]	Päikeseline aeg [tundi]	Keskmine päevane õhutemperatuur [°C]	Päikeselisel ajal maapinnale langev soojusvoog [W/m ²]
Jaauar	13,2	30,5	-2,6	432,8
Veebruar	31,58	60,5	-5,38	522,0
Märts	78,2	127,5	-0,75	613,3
Aprill	111,2	183	5,93	607,7
Mai	152,5	269	11,15	566,9
Juuni	172	292,5	15,15	588,0
Juuli	163	278,5	18,4	585,3
August	125,9	231	18,23	545,0
September	75	150	13,93	500,0
Oktoober	35,22	87	8,13	404,8
November	12,75	31,5	2,8	404,8
Detsember	7,75	21	1,63	369,0

Eestis on määratud 1 m² tasapinnalise (lame) päikesekollektori keskmiseks tootmisvõimsuseks 300...450 kWh soojust aastas (Sele 4.1). Vaakumtorutüüpi kollektori korral 550...650 kWh. Eesti laiuskraadidel on realselt võimalik päikese soojuse kasutamine alates märtsi algusest kuni septembri lõpuni, intensiivsemalt suve keskepaigal. [6]

Päikeselt Maale kiirguse teel jõudvaks energiavooks Maa lähikosmoses, nn solaarkonstandiks, on mõõdetud väärtusi 1322 – 1395 W/m², kuid ametlikult aktsepteeritavaks peetakse väärtust 1367 W/m². Tartu aktinomeetriaajaama pikaajaliste mõõtmiste põhjal on aktinomeetriliselt määratud summaarse kiirguse aastane resurss 977 kWh/m² (Tabel 4.2). [6]

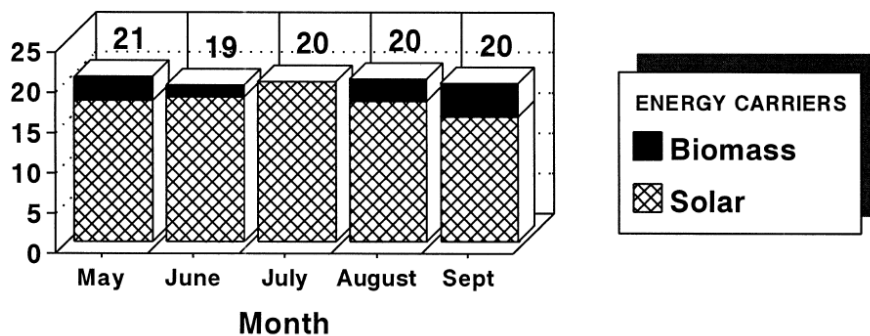


Sele 4.1 Päikesekollektori (1 m²) poolt toodetud energiahulk kuude lõikes [6]

4.2.1 Kombineeritud päikese-biomassi kaugküte

Kuna Päikeselt saadav energiahulk on kindlas piirkonnas aasta lõikes väga ebaühtlane, siis ainult päikeseenergia põhinevad küttesüsteemid ei saa töötada põhjapoolsetes regioonides aastaringselt. Päikeseenergiat tuleb kombineerida koos selle hooajalise salvestamise või teiste energialiikidega, mida saab aasta läbi kasutada. Üks variant selleks on biomassi põletamine, mis on keskkonnasõbralik ning samuti päikeselt pärineva energia kasutamine.

Nüüdseks juba 20 aastat töös olnud päikeseenergiaga toetatud biomassil põhinev kaugküttesüsteem Austrias Deutsch Tschantschendorfis on edukas näide, mis oli ka järgnevate sarnaste projektide eeskujuks Austrias. Deutsch Tschantschendorfi soojusvajadus on ca 900 MWh aastas. Biomassi katla juurde installeeriti 307 m² päikesekollektoreid. Aastasest vajadusest kaetakse ligikaudu 14% päikeseenergiaga. Peamine periood, mil päikeseküte toodab vajaliku soojuse on mai kuni september, mil päikese osakaal kogu toodangust ületab 80% ning praktiliselt kogu sooja tarbevee vajadus kaetakse päikesekollektoritega (Sele 4.2). [7]



Sele 4.2 Soe tarbevesi ja võrgukaod (MWh) suvekuudel Deutsch Tschantschendorfis [7]

Aastas toodetakse 129 MWh päikese kiirgusel põhinevat soojust, mis teeb aasta keskmiseks kollektorite tootlikkuseks 420 kWh/m^2 . Suvisel perioodil toodetakse keskmiselt 20 MWh kuus, mis teeb ühe kollektori pinna ühiku tootlikkuseks 65 kWh/m^2 . [7]

4.3 Pikaajaline energiasalvestus

Pikaajalise või hooajalise energiasalvestuse temaatika on peamiselt uurimise all seoses päikeseenergia laiema rakendamisega. Päikese intensiivsuse ja seega soojustootmise ebahühtlus on suur nii ööpäevas kui ka aastas. Eriti silmatorkav on tarbimise ja tootmise erinevus kaugküttes aastaringsest, kus suvel on tootmisvõimsust enamasti üle ning talvel on omakorda nõudlus soojuse järele palju suurem. Pikaajaline soojussalvestus on väljakutsuv võtmetehnoloogia, mis võimaldaks päikeseenergia ning muude taastuvate energiaallikate laiemat kasutamist kütteks. [8]

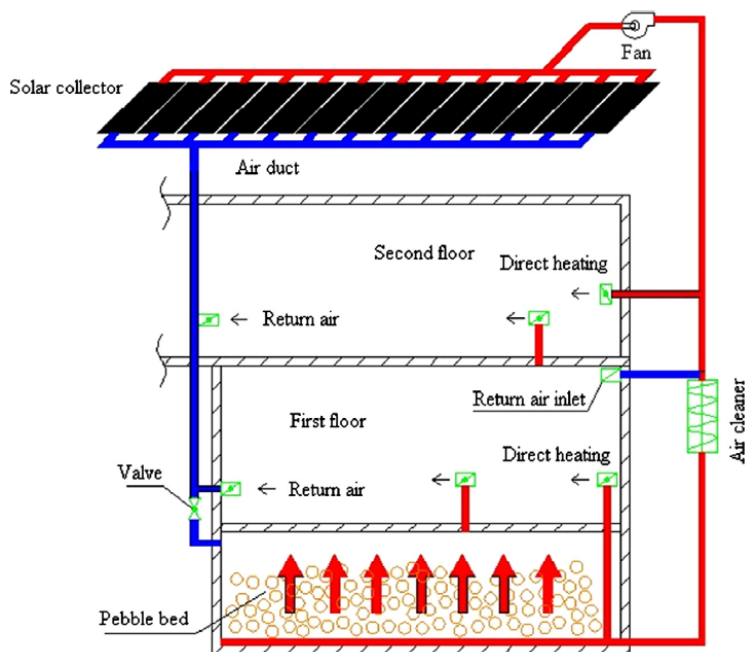
Praegu kasutatakse lühiajalisi soojussalvesteid, peamiselt koostootmisjaamade juures, et tagada ühtlane soojuskoormusest sõltumatu elektritootmine. Teisalt pakub lühiajaline salvestus võimaluse toota elektrit koostootmisjaamas siis, kui elekter on turul kallis. Soojus salvestatakse ning seda tarbitakse elektri odava börsihinna juures, mil ei ole otstarbekas jaama tööle panna.

Kui tänu lühiajalisele soojussalvestusele suudetakse katta 10-20% aastasest soojuskoormusest, siis hooajalisega koguni 50-70%. Olgugi, et hooajaline salvestamine pakub suuremat potentsiaali praktilistes rakendustes, on see tehnoloogiliselt palju väljakutsuvam kui lühiajaline salvestus. Pikaajaline salvestamine vajab suuri salvestusmahte ja omab

potentsiaalselt suuri soojuskadusid. Lisaks peab salvestav materjal olema majanduslikult mõistliku hinnaga, töökindel ja keskkonnasõbralik. [8]

4.3.1 Tehnoloogiad

Pikaajaline soojuse salvestamine jagatakse kolmeks liigiks: otsene (ingl. k *sensible*), latentne ehk varjatud (ingl. k *latent*) ja keemiline (ingl. k *chemical*) salvestamine. Neist ainus laias kasutuses olev tehnoloogia on otsene salvestamine, mis tähendab, et soojus salvestatakse mingis aines või materjalis selle kuumutamisel ning vallandatakse taas jahutamisel. Energia salvestub puhtalt temperatuuride vahe ulatuses. Seda tehnoloogiat peetakse lihtsaks, odavaks ja suhteliselt väljaarendatuks võrreldes alternatiividega. Kuna see on odav ja töökindel, siis on seda mitmetes projektides rakendatud (ligi 50 üle maailma). [8]

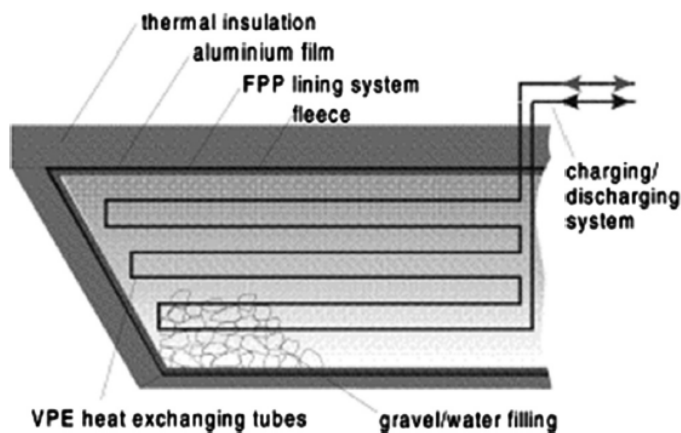


Sele 4.3 Kividega ja õhk soojuskandjaga sojussalvesti, mis on integreeritud hoone küttesüsteemiga ning päikesepaneelidega [8]

Peamiselt kasutatakse nelja tüüpi materjale soojuse salvestamiseks: vesi, kruus, kuiv pinnas, pinnas-vesi. Vett peetakse heaks energia salvestamise materjaliks, kuna tal on võrreldes teiste

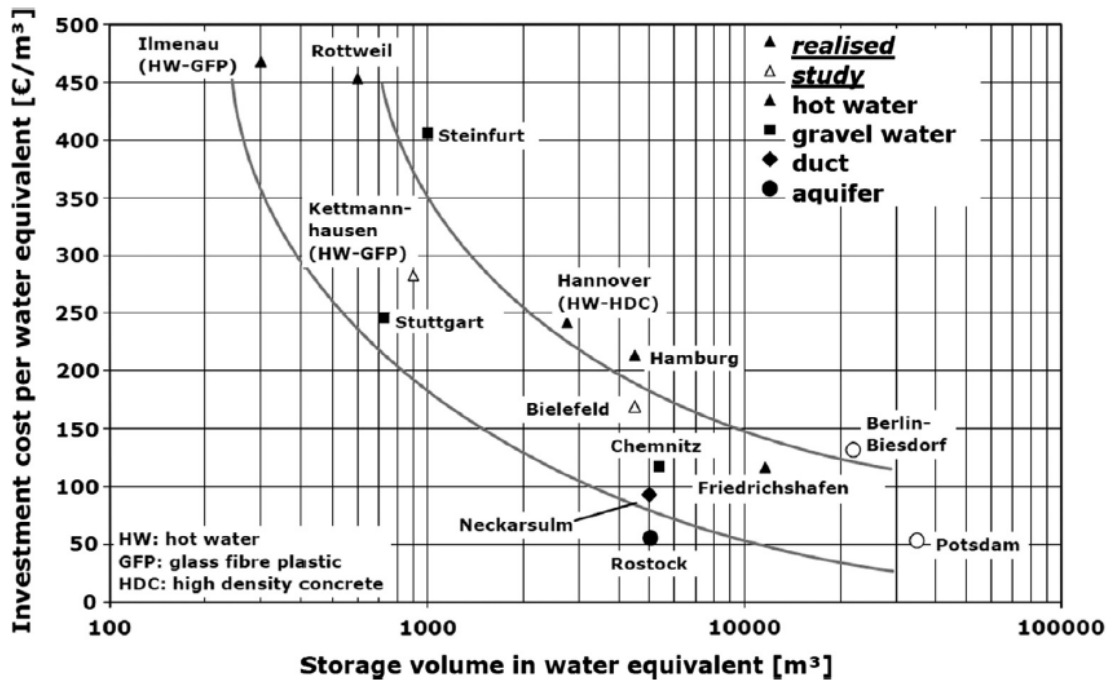
materjalidega kõrge salvestusvõime ($60-80 \text{ kWh/m}^3$) ning on kiiresti üles kuumutatav ning maha jahutatav. Veepõhised salvestid on lihtsa ülesehitusega – vett kasutatakse otseselt salvestamiseks ning soojuse transportiks. Veosalvesteid saab jagada kaheks: kunstliku mahutiga ning loodusliku mahutiga. Kunstliku jaoks ehitatakse kas paak maa peale või hoidla nõgusasse pinnasesse. Loodusliku salvesti puhul kasutatakse põhjavett maa sees. Veepõhiste salvestite kasutegur ehk kättesaadud soojuse suhe algselt sisestatud soojusesse jääb alla 50%. [8]

Kruusa, killustikku või muudesse kividesse salvestamisel juhitakse soojuskandja (vesi või õhk) läbi kivide nende ülessoojendamiseks suvel ning talvel soojuse kättesaamiseks. Võrreldes veepõhiste salvestitega saab killustiku salvestites rakendada kõrgemaid temperatuure, teisalt on salvestusvõime väiksem ($30-50 \text{ kWh/m}^3$). Tihti kasutataksegi väiksemates rakendustes (eramajad) soojuskandjana õhku, kuna seda saab otse juhtida ruumidesse kütteks (Sele 4.3). Suuremates salvestites kasutatakse soojuskandjana pigem vett (Sele 4.4). [8]



Sele 4.4 Killustik-vesi 1500 m^3 energiasalvesti läbilõige [8]

Pinnase energiasalvestite puhul salvestatakse soojus otse pinnasesse läbi maasse puuritud soojuskandja torude. Kõige paremad on savised pinnased, kuna neil on kõrge salvestusvõime ($15-30 \text{ kWh/m}^3$) ning võime takistada soojuskadu suurendavat põhjavee liikumist. Pinnase salvesti vajab sama energia koguse salvestamiseks 3-5 korda rohkem mahtu kui veepõhised salvestid. Sellised salvestid on investeringumahukad ning raskesti hooldatavad. [8]



Sele 4.5 Saksamaal realiseeritud hooajaliste soojussalvestite projektide alginvesteeringud [8]

Erinevate füüsikaliste salvestite alginvesteeringute suuruste võrdlus on toodud graafikul, kus investeeringu kulud on taandatud vee-ekvivalentidele (Sele 4.5). Nagu näha, on kuuma vee projektid kallimad, kuna veepaakide ehitamine on suurim osa salvesti hinnast. Odavamad on pinnase ja põhjavee salvestid, kuid neid piiravad rangemad nõudmised asukoha geoloogia suhtes. Investeeringukulude juures tuleb arvestada ka soojuspumbaga, kuna suurte soojuskadude tõttu ei ole väljuval soojuskandjal enam piisavalt kõrge temperatuur, et seda otse küttesüsteemis kasutada. [8]

Lisaks kirjeldatud praktilist lahendust leidnud tehnoloogiatele on arendamises veel latentne ning keemiline soojuse salvestamine. Latentne soojussalvestamine pakub suuremat energiatihedust ning seda peetakse efektiivseks energiasalvestamise tehnoloogiaks. Selles tehnoloogias kasutatakse salvestava materjalina faasi muutvaid aineid ning kogu soojus omandatakse ning väljastatakse isotermselt faasimuutusel. Salvestavateks aineteks sobivad mitmed orgaanilised ained (nt. parafiinid ja rasvhapped) ning anorgaanilised ained (erinevad soolad, tseoliidid). Latentsete salvestite puhul on vaja veel teha uurimistööd optimaalsete protsesside ja paremate materjalide leidmiseks. [8]

Kõige potentsiaalsemaks soojussalvestamise tehnoloogiaks peetakse keemilist salvestamist, kuna see võimaldab salvestada suuri energiahulki väikeste soojuskadudega võrreldes teiste

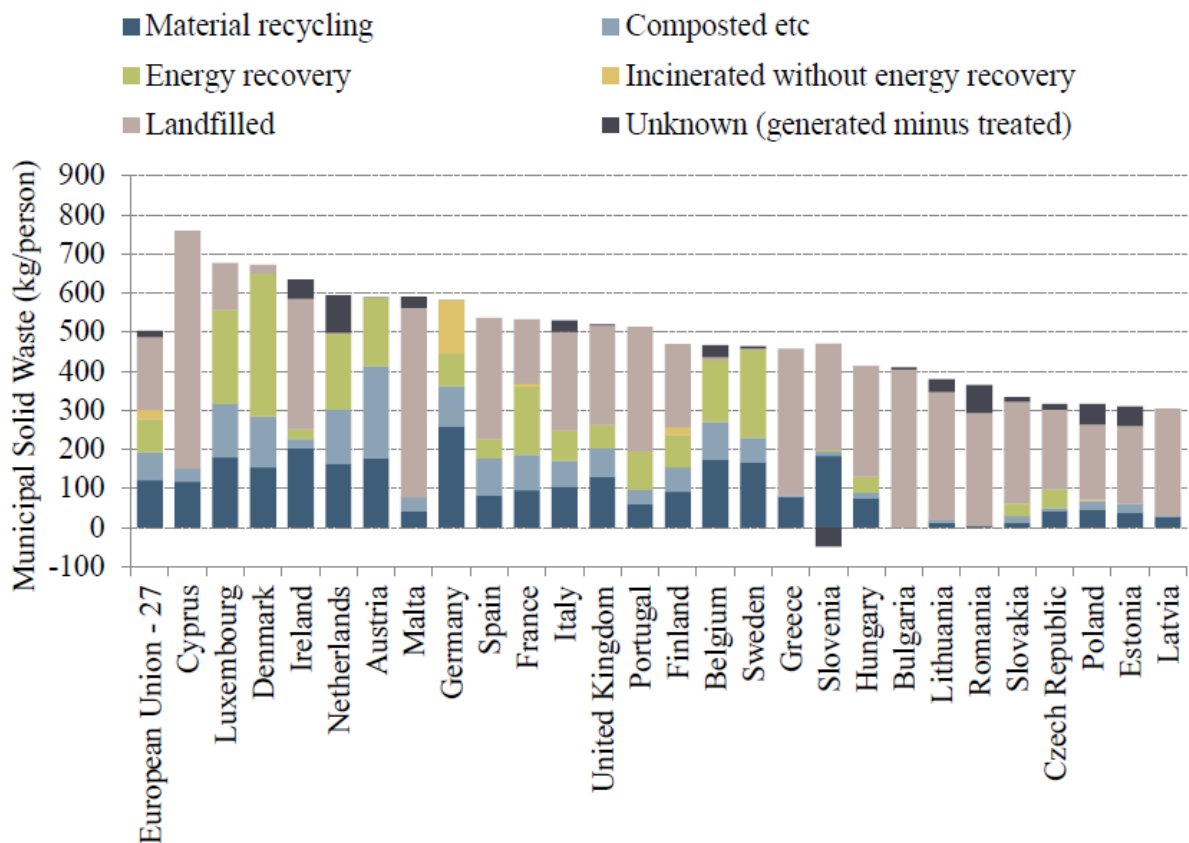
tehnoloogiatega. Vajalik maht sama energia koguse salvestamiseks on 34 korda väiksem kui veepõhistel salvestitel. Keemiline salvestamine toimib pöörataval reaktsioonil kahe aine, A ja B, vahel, mille lagunemine on endotermiline ning ühinemine eksotermiline. A ja B hoiustatakse eraldi, katkestades ühenduse nende vahel salvestamise perioodil. Energia vajaduse korral viiakse ained taas kokku. Keemilised energiasalvestid on hetkel veel teoreetiliste ning laboratoorsete katsete staadiumis. Probleemne on ühtlase soojuskoormuse saamine ainete ühendamise reaktsioonil. [8]

Olgugi, et soojusesalvestamise tehnoloogiad on vajalikud ja potentsiaalsed, siis nende kõrge maksumuse tõttu ei ole nad laialt levinud. Pikas perspektiivis on keemilised ning faasi muutvate materjalidega salvestid kõige suurema potentsiaaliga, kuid kuni nende kitsaskohtadest pole veel jagu saadud, on lähiajal otsesed salvestid (vee- ja pinnasepõhised) domineerivad tänu töökindlusele ning kulu-efektiivsusele. [8]

4.4 Jäätme põletus

Jäätmete põletamine ei ole jäätmekäitluse hierarhia järgi soosituim lahendus. See on eelistatud alles pärast tekke vältimist, mitmekordset kasutamist ning taaskasutust. Peamine eesmärk jäätmete põletamiseks on vältida jäätme hierarhia viimase astme – lõppladustamisega – kaasnevaid kahjulikke keskkonnamõjusid. [5] Olgugi, et taaskasutus ning jäätme põletus on Euroopa Liidus levinud, läheb siiski suurim osa olmejäätmeid lõppladustamisele (Sele 4.6). Väikseimate lõppladustajatena paistavad silma Rootsi, Belgia, Holland, Saksamaa ja Austria.

Nüüdseks on Eestis avatud esimene jäätme põletusjaam Iru (sorteerimata olmejäätmete masspõletusplokk), mis vähendab Eestis lõppladustamisele minevate olmejäätmete hulka poole võrra. Viimaste andmete kohaselt toodetakse Eestis 371 000 tonni [9] olmejäätmeid aastas (2012. a), millest 220 000 t [10] suudab põletada Iru jäätme põletusplokk. Kui ASi Eesti Energia Iru jäätme põletusplokk tarbib peamiselt Põhja-Eesti ja Harjumaa naabermaakondade prügi [10], siis teoreetiliselt on potentsiaal Eestis veel teise, poole väiksema, Lõuna-Eestis asuva jäätmeenergiajaama jaoks, kuigi selle majanduslik põhjendus on küsitav.



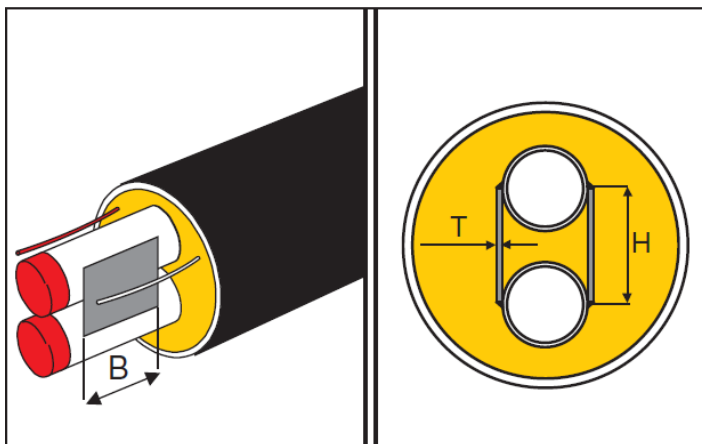
Sele 4.6 Olmejäätmete käitlus Euroopa Liidus 2010. aastal [5]

Iru jäätme põletusploki soojuslik võimsus on 50 MW ning elektriline 17 MW [10], seega sobiks id poole väiksemale jaamale võimsused *ca* 25 MW_{th} ja 8 MW_{el}. Ainus Lõuna-Eesti linn, mis on valmis vastu võtma sellist soojuskoormust on Tartu, kus praegune installeeritud soojusvõimsus on ligi 500 MW [11]. Suuruselt järgmised linnad Viljandi, Võru ja Valga jäävad juba suurusjärgu väiksemasse võimsuspiirkonda. Võru linna maksimaalse soojustarbimisega 24 MW kaugküttevõrk suudaks vastu võtta Iru jaamast ligikaudu 4 korda väiksema võimsusega jaama soojustoodangu. Võimalik variant Eesti jaoks on ka mitme väikese prügi põletusjaama rajamine, kuid arvestades nende elektrijaamade suitsugaaside puhastussüsteemi kapitalimahukust, ei ole see perspektiivne.

4.5 Madal temperatuurirežiim kaugküttevõrgus

4.5.1 Erinevad temperatuurirežiimid kaugküttevõrgus

Süsihappegaasi emissiooni vähendamiseks minnakse üha enam üle fossiilsete kütuste vabadele küttesüsteemidele. Taani on seadnud omale eesmärgiks minna üle aastaks 2035 100% fossiilsete kütuste vabale küttele. Peamise lahendusena eesmärgi saavutamisel nähakse kaugkütet, kuna see pakub võimalust integreerida kiiremini ja odavamalt taastuvaid energiaallikaid, erinevalt lokaalsetest kütelahendustest. Laiaulatuslik taastuvate energiaallikate liitmine vajab kaugküttevõrgu peale- ja tagasivoolu temperatuuride alandamist. Lisaks on vajalik vähendada võrgukadude ja hoonete soojustarbe suhet. Praegu on see suhe tõusmas, kuna üha enam renoveeritakse hoonete väliskarpe ja soojussüsteeme ning rajatakse mitmeid madala energiatarbega maju. Lahendus võrgukadude vähendamiseks on kasutada kaksik-toru geometriat (ingl. k *twin-pipe geometry*), kus peale- ja tagasivoolu torud on ühes kestas (Sele 4.7), ning vähendada võrgu temperatuurirežiimi. Madalatemperatuuriline kaugküttevõrk on optimaalne lahendus integreerimaks maksimaalselt taastuvaid energiaallikaid küttes. [12]



Sele 4.7 Lögstõri *twin-pipe* eelisoleeritud soojustorud [13]

Kaksik-torud on väiksemate energiakadude ja investeerimiskuludega kui üksikud torud. Üksikud torud tasub paigaldada juhul, kui toru läbimõõt ületab DN200. Isolatsiooni klassi (1., 2. ja 3. seeria) kasvamine ei õigusta tavaliselt suuremat investeringut. [14] Võrdlus erinevate

isolatsiooni klasside, tarbimistiheduste ja üksik/kaksiktorude vahel on toodud allolevas tabelis (Tabel 4.3) Kanada katsepiirkondade empiiriliste andmete põhjal.

Tabel 4.3 Kahe piirkonna erinevate torutüüpide soojuskadude ja investeeringusummade võrdlus [14] (* vahetuskursiks EUR/CAD võetud 1,52 – Euroopa Keskpanga kurss)

Soojusvajadus GWh/a	Torustiku süsteem	Materjal	Isolatsioon	Soojuskadu MWh/a	Investeering tuhat €*
11,4 Kõrge tarbimistihedus	Üksikud torud	Teras	Seeria 1	316,1	826
		Teras	Seeria 2	265,7	938
		Teras	Seeria 3	246,7	1000
	Kaksik-torud	Teras/Aluflex	Seeria 1	205,6	757
		Teras/Aluflex	Seeria 2	164,1	832
8,8 Madal tarbimistihedus	Üksikud torud	Teras	Seeria 1	1186,8	3340
		Teras	Seeria 2	995,6	4035
		Teras	Seeria 3	891,4	4735
	Kaksik-torud	Teras/Aluflex	Seeria 1	735,2	2733
		Teras/Aluflex	Seeria 2	604,8	2927

Järgnevas tabelis (Tabel 4.4) on näidatud temperatuurirežiimide mõju võrgu tööle. Kapitalikulud keskmisel ja kõrgel temperatuurirežiimil on võrreldavad. Torude suurused on samad ning ainus erinevus on toru materjal. Kõrgel temperatuuridel tuleb kasutada teras- või vasktorusid, aga keskmise ja madala temperatuurirežiimi korral saab kasutada ka plastist torusid. Keskmise temperatuurirežiimi osutus kõrgest paremaks, kuna soojuskadusid vähendati ligikaudu 40% ning pumpamiskulud on peaaegu samad. Madalatemperatuursed võrgud saavutasid isegi veel madalamad soojuskaod, kuid vajasisid rohkem energiat pumpamiseks ning suuremaid kulutusi investeeringuteks, mis tulenesid vajadusest kasutada suurema läbimõõduga torusid, et kompenseerida vähenenud temperatuurivahet suurema voluluhulgaga. Sotsiaalmajanduslikus perspektiivis tasub madalat temperatuurirežiimi silmas pidada, kuid puht majanduslikult ei ole see kasulik, kuna vaja oleks teha ka suuri investeeringuid mitte ainult kaugküttevõrgus, vaid ka tarbijate juures. [14]

Tabel 4.4 Temperatuurirežiimide mõju võrgule kahes erinevas piirkonnas Kanadas [14]
 (* vahetuskursiks EUR/CAD võetud 1,52 – Euroopa Keskpanga kurss)

Soojusvajadus GWh/a		Peale/tagasivoolu temperatuurid (°C)		
		120/70	90/40	60/30
12,3 Kõrge tarbimistihedus	D_{ekv} (mm)	58,2	57,9	59,1
	Soojuskadu (MWh/a)	371,3	233,1	184,1
	Pumpamisenergia (MWh/a)	33	36,7	60,9
	Investeering (tuhat €*)	895	897	1010
	Hind lõpptarbijale (€/MWh*)	18,55	18,42	19,08

8,8 Madal tarbimistihedus	D_{ekv} (mm)	28,1	25,9	29,6
	Soojuskadu (MWh/a)	1155	735,2	484,6
	Pumpamisenergia (MWh/a)	35,9	35	58,3
	Investeering (tuhat €*)	2752	2733	2908
	Hind lõpptarbijale (€/MWh*)	32,76	31,97	32,89

4.5.2 Üleminek madalamale temperatuurirežiimile

Minnes üle madalamale temperatuurirežiimile kaugküttes, tuleb pidada silmas, et kaugkütet kasutatakse ka sooja tarbevee valmistamiseks. Minimaalseks pealevoolu temperatuuriks loetakse 50 °C, kuna see tagab vajaliku 45 °C tarbijate segistites. Üleminekul pealevoolu temperatuurile alla 60 °C on vaja välja vahetada tarbijate sooja tarbevee valmistamise soojussõlmed spetsiaalsete madala-temperatuuriliste soojussõlmede vastu. Ainus erinevus, mida tarbijad tunnevad, on alandatud maksimaalne sooja tarbevee temperatuur (umbes 47 °C), mis on siiski piisav. Kuna tarbevee temperatuur jääb alla 55 °C, siis tuleb tähelepanu pöörata bakterite tekkele, eriti 30 ja 50 °C vahel. Enamikud ohutusstandardid nõuavadki seetõttu soojatarbevee temperatuuri minimaalselt 55 °C, mis aga ei ole saavutatav madalatemperatuursete kaugküttega. Seega saab madalatemperatuurset sooja tarbevee valmistamist kasutada vaid vastava desinfitseerimise olemasolul. Alternatiivne võimalus on kasutada sooja tarbevee tootmiseks vesi-vesi soojuspumpasid, mis saavad energia kaugküttevõrgust. [12, 14]

Lihtsaim viis hoonetes minna üle madalamale temperatuurirežiimile on vahetada välja olemasolevad radiaatorid suuremate vastu, kusjuures jättes küttekehade pikkuse ja kõrguse

samaks ning muutes vaid sügavust, sest siis saab kasutada olemasolevaid kinnitusi ja ühendusi. Sama vooluhulga juures võimaldavad suuremad radiaatorid kasutada madalamat pealevoolutemperatuuri. Selliselt on suudetud vähendada maksimaalset vajalikku pealevoolu temperatuuri 78 °C-lt kuni 67,3 °C-ni. Kaalutud keskmine tagasivoolu temperatuur küttes vähenes 32,9 °C-lt 27,6 °C peale. [12]

Tüüpilisi 1970ndatel ehitatud renoveerimata maju on võimalik madala temperatuurirežiimiga kütta. Pealevoolutemperatuuri 50 °C juures on võimalik hoida toatemperatuuri 22 °C peal ligikaudu 59% (3600 h) aastast. Tegemata järeleandmisi soojuslikus mugavuses või ületamata kaugküttevõrgu nominaalset vooluhulka, tuleks pealevoolu temperatuuri tõsta üle 60 °C ligikaudu 8% (700 h) aastast. Siiski kuna paljud majad on juba mingil määral renoveeritud (näiteks vahetatud vähemalt aknad), siis tähendab see, et kõrgendatud pealevoolu tuleb kasutada 8% asemel vaid 2% (175 h) aastast. Seega on võimalik enamikes majades kasutada madalatemperatuurilist küttegaafikut ning integreerida maksimaalselt taastavaid energiaallikaid. [12]

4.6 Soojuspumbad

Soojuspumbad on tuntud ning palju kasutust leidnud tehnoloogia individuaalses küttes. Õhk-õhk soojuspumpi kasutatakse kohtades, kus peale elektri ei ole muid mugavaid küttevõimalusi. Vesi-vesi soojuspumpi kasutatakse suurte veekogude lähedal või põhjavee kaevude kaudu. Maa-vesi soojuspumbad on levinud lahendus, kui on piisavalt maad, kuhu primaarkontuuri torustikku paigaldada. Põhjamaises kliimas soojuspumbad ei suuda enamasti katta kogu aastast vajadust ning tuleb kütta lisaks elektriga või alternatiivsete kütustega.

Kaugküttes omavad perspektiivi vesi-vesi soojuspumbad juhul, kui lähedal on suured veevarud. Eesrindlik näide on Stockholmi linna kaugküttesüsteem, kus kogu soojuse toodangust (5700 GWh/a) 26% tuleb kas mere- või kanalisatsiooniveest suurte soojuspumpade vahendusel. Kusjuures elektrit (MWh-des) kulub soojuspumpade käitamiseks 1/3 soojuse lõpptoodangust. Stockholmi on installeeritud soojuspumpasid koguvõimsusega 420 MW, millest väikese temperatuurilangu saamiseks (2 K) pumbatakse läbi suuri merevee koguseid. [15]

4.7 Kaugkütte tarbijate hulga suurendamine

Turul on saadaval mitmeid alternatiive kaugküttele, mille müüjad üritavad mõjutada potentsiaalseid kliente erinevate meetoditega. Sellisel tiheda konkurentsiga turul on raske motiveerida koduomanikke kaugküttele üle minema. Peab tundma nende vajadusi, suhtluseelistusi ning seda, kuidas nad saavad aru erinevate kütteallikate eelistest ja puudustest. Eelkõige on oluline eeldus kaugküttele üleminekuks, et tarbija tunneb selleks vajadust. Paljud koduomanikud eelistavad jääda olemasoleva küttesüsteemi juurde või võtta kasutusele mõni innovaatilistest kütteallikatest (soojuspump, puitpelletikatel). [16]

Paljud kaugkütte ettevõtted mõtlevad, et nad peavad keskenduma ainult oma loomulikule turule – kortermajadele, sotsiaal- ja ärihoonetele, mitte eramajadele. Põhjus selleks võib olla suur alginvesteeringu vajadus ühenduse rajamiseks, kuna eramajad paiknevad tihti hajusalt ning kaugel linna keskusest. Enamasti ei ole ka kaugkütteetevõtetel arusaamist koduomanike käitumisloogikatest ja eelistustest küttesüsteemi osas. Uuringud on näidanud, et tihti on kaugkütte ettevõttel parem ülevaade potentsiaalsete tarbijate hoonete seisukorrast, kui nende elanikest. [16]

Rootsis läbi viidud empiiriliste uuringute tulemusel leiti, et soojuspumbad on eelistatud küttelehendus eramajade jaoks, kuna neil arvati olevat enam eeliseid võrreldes teiste kütteleikidega. Enamasti on kütteleiigi valikul peamiseks argumendiks majanduslik kasu ning mingil määral keskkonnakaitse. Nii soojuspumpi kui ka kaugkütet peeti mugavamaks lahenduseks kui näiteks puitpelletikatelt. Malmö linna elanikud leidsid, et enam tõstab hoone väärtust üleminek elektriradiaatoritelt soojuspumbale kui kaugküttele. Need koduomanikud, kes läksid elektriküttelt üle kaugküttele tõid välja põhjendusena, et kaugküte oli majanduslikult ning keskkonnakaitseks parem, pakkudes sealjuures paremat soojuslikku mugavust. Inimesed, kes ei olnud huvitatud kaugküttele üleminekust, põhjendasid, et nad olid äsja paigaldanud muu küttesüsteemi, ei soovinud füüsilist tööd ja tüli, mis kaasneb majasisese küttesüsteemi ümberehitamisega või pidasid veepõhist küttesüsteemi ebaesteetiliseks. [16]

4.7.1 Kaugkütte laiendamiskampaania Östersundis

Rootsi linna Östersundi Odensala linnaosas viidi läbi kaugkütte laiendamise projekt ning uuring selle kohta. Laienemisel keskenduti just elektriradiaatoritega eramajade rajoonile, kus ei olda tavaliselt huvitatud kaugküttega liitumisest. Uuritavas piirkonnas oli 691 koduomanikku, kelle hulgas viidi esmalt läbi uuring algse olukorra kaardistamiseks (baasuuring). Pärast kampaania läbiviimist tehti teine küsitlus hindamaks kampaania mõju (kordusuuring) 456 koduomaniku hulgas, kellele kampaania suunatud oli. Kampaania raames pakuti riiklikku toetust kütтелиigi vahetusel ning tehti teavituskampaania kaugküttest kohaliku kaugkütte ettevõtte Jämtkraft poolt. [16]

Rootsi valitsuse toetusraha oli ette nähtud eramutele üleminekuks elektriradiaatoritelt innovaatilistele kütteallikatele (soojuspumbad, kaugküte, puitpelletid). Toetus kehtis ainult olemasolevatele hoonetele ning võimaldas katta 30% sisseseade paigaldamise töödest ja materjalidest, kusjuures ületamata 30 000 SEK (3386,39 €¹). Samuti on nõutud, et uus kütteallikas katab vähemalt 65% (soojuspump) või 70% (kaugküte, pelletikatel) kogu soojusvajadusest. [16]

Jämtkrafti turunduskampaania koosnes kahest osast: informatsiooni jagamine ja kaugkütte tervikpakkumise esitamine. Koos kaugküttega pakuti tarbijatele fiiberoptilise kaabliga ühendamist, mis võimaldab liitumist kiire internetiühendusega. Jämtkraft alustas oma kampaaniat Odensala linnaosa koduomanikele lendlehe saatmisega, milles teatati oma plaanist laiendada kaugküttevõrku. Lendlehega tagati elanikele tasuta sissepääs messile, kus oli ka Jämtkrafti boks. Seejärel saadeti kutse infotunnile ning hiljem sellekohane meeldetuletus. Meeldetuletusega oli kaasas kaheksaleheküljeline brošüür, mis sisaldas kaugkütte eeliste selgitusi, kuidas kaugküte töötab, selgitusi sisseseadest majja, näiteid kodudest, kus oldi ülemindud elektriradiaatoritelt kaugküttele ning korduma kippuvaid küsimusi. Korraldati kolm õhtust infotundi (ning hiljem veel kaks neile, kellele esimesed ajad ei sobinud), kus osales ka vesi-keskkütte süsteemi paigaldusfirma esindaja, kelle Jämtkraft oli palganud uute tarbijate majades töid läbi viima. Lisaks osales ka panga esindaja, kellega Jämtkraftil oli kokkulepe koduomanike investeringute finantseerimiseks. Kuu aega pärast infotunde saadeti koduomanikele ametlik paketi pakkumine, mis sisaldas infot alginvesteeringu ning riikliku toetuse, kaugkütte hinna, elektriradiaatorite asendamise

¹ Vahetuskursiks siin ja edaspidi EUR/SEK võetud 8,859 – Euroopa Keskpanga kurss

kaugküttega majanduslike eeliste ning pangalaenu saadavuse kohta. Hiljem tutvustati kaugkütte tööpõhimõtteid ka spetsiaalselt esitlusautolt, mis oli neljaks päevaks pargitud Odensala linnosasse. [16]

Jämtkrafti kaugkütte ülemineku pakett sisaldas:

- olemasolevate elektriradiaatorite demontaaži,
- vesi-keskküttesüsteemi sisseseadet,
- soojusvaheti paigaldust,
- ühendust kaugküttevõrguga,
- garanteeritud kuuma vee, soojuse ja elektri varustust demontaaži/paigaldustööde ajal,
- kahe-aastast garantiid paigaldatud küttesüsteemile ning
- võimalust ühendada maja kiire interneti saamiseks fiiberoptilise kaabliga soodushinnaga (kolmandiku võrra soodsam kui ilma kaugkütteliitumiseta). [16]

Paketiga pakuti järgnevat eelarvet:

- Fikseeritud hind küttesüsteemi renoveerimisele 4900 SEK (553,11 €/radiaator).
- Fikseeritud hind maja ühendamiseks kaugküttevõrguga 30 000 SEK (3386,39 €).
- 30-aastane laen investeringuteks 2,5% intressimääraga.
- Fikseeritud kaugküttehind 470 SEK/MWh (53,05 €/MWh) järgmiseks viieks aastaks, kui pakett tellitakse enne kindlat kuupäeva. [16]

Elanikele selgitati, et kui nad valivad pakutud paketi, võivad nad aastas säästa ligikaudu 5500 SEK (621 €), kui elektri hinnaks võtta 0,75 SEK/kWh (8,5 € sent/kWh) ning maja soojustarbeks 20 MWh aastas. Tähtaja määramine liitumiseks, et saada fikseeritud soojuse hinda, töötas, kuna ligikaudu 75% uutest liitujatest tegi paketi tellimuse enne määratud kuupäeva. [16]

Kampaaniat peeti väga edukaks. Kui baasuuringus vastas 84% küsitletutest, et nad ei plaani paigaldada uut küttesüsteemi, siis pärast kampaaniat otsustas ligikaudu 78% koduomanikest liituda kaugküttega. Peaaegu võrdselt oluliseks mõjutajaks otsustamisel peeti Jämtkrafti pakkumist ning riiklikku toetust, vastavalt 81,4% ja 80,8% vastanutest pidas neid olulisteks mõjutajateks. Inimeste osakaal, kes soovitsid oma tuttavatele kaugkütet tõusis pärast kampaaniat 65% peale (baasuuringus 40%). [16]

4.8 Kaugjahutus

Kuna paljudes kaugküttesüsteemides kasutatakse soojusallikana tööstuslikku jääksoojust, jäätmepõletust või koostootmist, siis läheb tihti soojus raisku madala tarbimisega ajal (suvisel perioodil). Suured koormuse kõikumised ei põhjusta ainult ressursside ebaefektiivset kasutamist, vaid pärsvad ka keerulisemate tehnoloogiate investeeringute tasuvust. Madala soojuskoormusega perioodidel on võimalik tõsta kaugkütte soojuse tarbimist kasutades kaugjahutust. Kaugjahutuse jaoks saab kasutada soojusega käitatud absorptsioonjahuteid ühendatud kaugkütte ja -jahutuse süsteemides. Lisaks kaugkütte tarbimise tõstmisele, panustab kaugjahutus ka efektiivsemasse ressursside kasutamisse ning CO₂ emissioonide vähendamisse. [17]

Vajadus jahutuse järele on vaikselt tõusmas ning mitte ainult troopilistel ning subtroopilistel aladel (Euroopa lõunaosas), vaid ka põhjapoolsetes maades. Põhjused selleks ei peitu mitte ainult kliimatilistes tingimustes, vaid ka suurenevas elanikkonnas, kõrgemates elustandardites ning suurenenud elektroonikaseadmete levikus. Enamasti kasutatakse kompressoriga elektrit kasutavaid jahuteid, mis tihti on suviste elektritarbimise tippude põhjustajaks. Absorptsioonjahutid võimaldavad kütuse säästu võrreldes kompressoriga jahutitega. Eriti ilmekas on efektiivsus juhul, kui rakendada nn tritootmist ehk elektri, soojuse ning jahutuse koostootmist võrreldes nende kõigi eraldi tootmisega. Mõningate uurimuste tulemusel on leitud, et absorptsioonjahutid on 10% efektiivsemad kütuse kasutamisel, kuid arvestades, et kui soojuse allikaks kasutatakse niikuinii ülejäävat soojust, siis kuluefektiivsuse seisukohalt on absorptsioonjahutuse kasutamine parimaid viise CO₂ emissiooni vähendamiseks. [17]

Kaugjahutust on rakendatud ja uuritud Rootsis. Eesrindlik selles vallas on Göteborgi linn Rootsi edela osas. Linnas on kaugkütte- ja jahutussüsteem (KKJ), millele ennustatakse laienemist. Praegu toodetakse 80% kaugküttest tööstuslikust jääksoojusest ning jäätmeid ja maagaasi kasutavates koostootmisjaamades. 2010. aastal oli Göteborgis 100 erinevat kaugjahutuse tarbijat, sealhulgas äri- ja büroohooneid ning haiglaid. Tarbijad on ühendatud kas suurde kaugjahutuse võrku, lokaalsesse väikesesse võrku või omavad individuaalseid jahuteid, mida haldab kaugkütteeettevõtja. Kesktes kaugjahutusvõrgus on veetemperatuur reeglina 6 °C, kuid mõningatel juhtudel kuni 12 °C. Talvisel perioodil kasutatakse tasuta jahutuse allikana lähedalasuva jõe vett ning jahutustorne saavad samal ajal kasutada kohalikud tööstused jääksoojuse utiliseerimiseks. Laienemise tulemusena prognoositakse

Göteborgi kaugjahutuse tipuvõimsuseks 100 MW ning aastaseks tarbimiseks 198 GWh. Kusjuures laienemises on arvestatud vaid majanduslikult mõistlike uute klientidega, kes asuvad olemasoleva võrgu lähedal. [17]

Võrreldes kompressorjahutitega on absorptsioonjahutid kallimad paigaldada ning ka hooldada (Tabel 4.5). Analüüsis Göteborgi kohta leiti, et absorptsioonjahutid on kasulikumat vaid siis, kui on üleliigset jääksoojust või biomassil või jäätmetel põhineva koostootmisjaama soojust. Selline olukord on tavaliselt ainult suvekuudel (juuni, juuli, august), mil võimalik soojuse tarve kasvaks 30% absorptsioonjahutite tõttu. Aasta peale summaarselt tähendab see siiski vaid mõneprotsendist soojuse tarbimise tõusu. Seega aastasele tootmisefektiivsusele ja CO₂ vähendamisele omab kaugjahutuse kasutuselevõtt marginaalset mõju. [17]

Tabel 4.5 Erinevate jahutite kulude ja kasutegurite võrdlus [17, 18]

Jahuti tüüp	Investeering (€kW)	Aastane hooldus (€kW)	Soojustegur (COP)
Absorptsioonjahuti	120	3,6	0,78
Kompressorjahuti	60	3	5
Jahutustorn	30	4,5	

5 ALTERNATIIVID VÖRU KAUGKÜTTES

5.1 Tasuvusanalüüsi meetoodika

5.1.1 Tasuvusanalüüsi teoreetilised alused

Kasutatud tasuvusanalüüs põhineb sisemise tulukuse määra ehk sisemise tasuvuslavi ehk tulunormi arvutusel (edaspidi: IRR). Sisemine tasuvuslavi (inglise keeles *internal rate of return – IRR*) on intressimäär, mis võrdsustab projekti esialgsed väljaminekud (väljaminekute nüüdisväärtuse) sissetulekute nüüdisväärtusega. Teisiti öeldes on sisemise tulukuse määr diskontomäär, millega tuleks diskonteerida tulevasi laekumisi, et projekti puhasnüüdisväärtus (ingl. k *net present value – NPV*) oleks null. Sisemist tasuvuslave iseloomustatakse valemiga:

$$CF_0 = \sum_{t=1}^n \frac{CF_t}{(1 + IRR)^t}$$

kus CF_t – perioodil t laekuv rahasumma,
 CF_0 – esialgne investeering,
 n – perioodide arv. [19]

Ajalooliselt leitakse IRR antud valemist katse-eksituse meetodil, kuid levinum on kasutada selleks Microsoft Exceli vastavat arvutusfunktsiooni „IRR“, kuhu saab sisestada alginvesteeringu ning tulevaste perioodide rahavood, et leida protsendina sisemise tulukuse määr. Teisiti võib öelda, et IRR iseloomustab, kui palju projekt teenib vastavalt investeeringult kasu. Ettevõtete jaoks on oluline, et projektide IRR oleks mitte ainult positiivne, vaid ka piisavalt suur. Kui suur peab IRR vähemalt olema, näitab ettevõtte kapitali hind.

Kapitali hind (edaspidi: WACC) on ettevõtte poolt kasutatud kõigile finantseerimis- ja kapitaliallikatele tehtud kulutused (võlg ja aktsiakapital). Arvestamaks kõiki kapitali allikaid, kasutatakse kapitali kaalutud keskmist hinda (ingl. k *weighted average capital cost – WACC*), mis võtab arvesse eri kapitaliliikide osatähtsuse ja väljendub suurusel, mis on aktsepteeritav kõigile investoritele. Praktikas väljendatakse kapitali hinda konkreetse arvuga, harilikult

protsendina. WACC sõltub individuaalsete finantseerimisallikate hindadest ja osatähtsusest kapitali struktuuris. WACC-i arvutus põhineb järgneval valemil:

$$WACC = w_d k_d + w_c k_c + w_e k_e$$

kus k_d – laenu hind,

k_c – aktsiakapitali hind,

k_e – eelisaktsia hind,

w_d, w_e, w_c – vastavad kaalud. [20]

IRR ja WACC omavaheline võrdlemine määrab projekti sobivuse ettevõtte jaoks. Kui firma teenib oma investeeringuprojektist täpselt oma kapitali hinna (s.o. $IRR = WACC$), siis tema lihtaktsia hind ei muutu sõltuvalt selle projekti elluviimisest, kui aga mitte, siis aktsia hind muutub. Kui projekti tulunorm on kõrgem kapitali hinnast ($IRR > WACC$), siis aktsia hind tõuseb, vastasel juhul langeb. [20]

5.1.2 Arvutusmudel

Rakendatav tasuvusanalüüs koosneb peamiselt kolmest osast: lähteandmete kogumine, energiabilansi koostamine ning IRR leidmine. Lähteandmete kogumine hõlmab endas vastava projekti investeeringute ning käitamiskulude (kulu kütusele, elektrile, kemikaalidele, tööjõule jm) leidmist. Energiabilanss koostatakse vastavalt sellele, kuidas analüüsitav tehnoloogia muudab praegust olukorda: mis kütustest kui palju energiat toodetakse, kui suured on kaod ning tarbimine. IRR arvutatakse asendusprojekti põhiselt, võrreldes olemasolevaid kulusid uutega ning investeeringuga. Kusjuures tasuvusanalüüsi kaasatakse vaid need kulutused, mis on otseselt seotud selle projektiga.

5.1.2.1 Lähteandmed

Algandmete kogumisel tasuvusanalüüsi jaoks lähtutakse avalikult saadaval olevast informatsioonist ning Danpower grupi ettevõtete (Danpower Eesti AS-i emaettevõttega seotud ettevõtted) empiirilistest andmetest. Kui töös kasutatavad maksumused on pärit

konkreetsetest kirjalikku taasesitamist võimaldavatest allikatest, on neile viidatud. Paljude vajalike lähteandmete jaoks aga puudub avalikult leitavalt piisavalt informatsiooni ning sellisel juhul on tuginetud Danpower grupi töötajate kogemustele. Järgnevalt on esitatud, mis tüüpi algandmeid on vaja tasuvusanalüüsi läbiviimiseks ning iseloomustatakse neid.

Alginvesteeringu suuruseid saab tihti leida vastavast teaduskirjandusest või tehtud projektide pressiteadetest. Leitud investeeringusummasid korrigeeritakse vastavalt vajalikule võimsusele lineaarselt ning arvestatakse samuti raha väärtuse muutumisega, kui allika projekt on toimunud ammu. Lisaks tehnoloogia enda maksumusele tuleb arvestada investeeringukulutuste sisse ka seadmete transport, paigaldus ning vajadusel ettevalmistustööd (uue maatüki ost, pinna ettevalmistus jm.). Võimalusel toetutakse viimati loetletud kulude hindamisel Danpower Eesti AS-i töötajate kogemusele. Kui see pole võimalik, siis arvestatakse investeeringusummale juurde muude või ettenägematute kulutuste koefitsient ($\sim +10\%$). Kõik analüüsis kasutatud hinnad on ilma käibemaksuta.

Käitamiskulude kohta on osade projektide puhul olemas kas kogemuslikud andmed Danpower grupist või leituna kirjandusest. Peamised käitamiskulude artiklid on elektrienergia, kemikaalid (juhul kui toimub ohtlike ainete käitlemist), personalikulu (juhul kui lisandub personal või uus tehnoloogia võimaldab vähema personaliga hakkama saada) ning seadmete hooldus ja remont. Kui ei ole täpseid lähteandmeid käitamiskulude hindamiseks, siis lähtutakse koefitsiendist, kui suured on iga-aastased käitamiskulud alginvesteeringust. Mitmed avalikud allikad ning seadmete pakkujad esitavad oma seadmete käitamiskulusid sellisel kujul. Reeglina jäävad aastased käitamiskulud investeeringusummast 0,5...2% vahele.

Praegu Võru katlamajades kasutusel olevate kütuste hinnad ning reaalsed kulutused kütustele on saadud Danpower Eesti AS-i raamatupidamisest. Täpseid kasutatavaid kütuste (sh. elektrienergia) hindu ei saa siin avaldada, kuna seda ei luba kütuste ostulepingud. Järgnevas tabelis (Tabel 5.1) on toodud katlamajade kütuste hinnad Statistikaameti andmeil, mis on võrreldavad Võrus kasutusel olevate kütuste hindadega. Võrus kasutatavast biomassist on ligikaudu 72% hakkpuitu ning 28% metsa- või puidutööstusjäätmed. Tasuvusanalüüsis kasutatakse sekundaarenergia hinda, mis on katlast väljuva energia hind, võttes arvesse Danpoweri grupi empiirilisi andmeid katelde kasutegurite ning kütuste kütteväärtuste kohta.

Tabel 5.1 Kütuste hinnad 2013/2014 kütteperioodil [9]

Parameeter	Hakkpuit		Puidutööstusjäätmed		Põlevkiviõli	
Sisseostu hind	11,24	€/m ³	9,13	€/m ³	447,71	€/t
Kütteväärtus	0,67	MWh/m ³	0,67	MWh/m ³	11,1	MWh/t
Katla kasutegur	85	%	85	%	90	%
Primaarenergia hind	16,78	€/MWh	13,62	€/MWh	40,33	€/MWh
Sekundaarenergia hind	19,74	€/MWh	16,03	€/MWh	44,82	€/MWh

5.1.2.2 Energiabilanss

Tasuvusanalüüsi puhul koostatakse energiabilanss olemasoleva olukorra kohta, mis võetakse baasiks võrdlusele. Energiabilansi aluseks on Danpower Eesti AS-is kogutud andmed kuude lõikes soojuse toodangu, võrgukadude ning müüdnud soojuse koguse kohta (vt punkt 3.5). Analüüsitava projekti energiabilanss koostatakse vastavalt projekti kütusetarbele (või selle vähenemisele/puudumisele), soojuskadudele ning müügikogusele (juhul kui see erineb). Enamasti on tehnoloogiate juures antud pakutav võimsus ning prognoositav toodang, mis tuleb kohandada vastavalt Võru tingimustele. Selle korrigeerimise aluseks on ajalooliselt kogutud andmed koormuste ning nendele vastavate töötundide kohta.

5.1.2.3 Tasuvuse määramine

IRR leidmiseks tuleb vastavalt kogutud andmetele sisestada valemisse alginvesteeringu suurus ning iga-aastased rahavood. Iga-aastased asendusprojekti rahavood saadakse, kui lahutatakse praeguse olukorra kulude summast projekti alustamise järgse olukorra kulude summa. Nii praeguse kui ka tulevase rahavoo summad koosnevad eelpool nimetatud maksumustest/kuludest energiaühiku või kuu/aasta kohta. Energiaühiku kohta tehtud kulutused korrutatakse vastavalt energiabilansist saadud suurustele, et saada aastased kogukulud.

Antud töös arvutatakse kõik tasuvusanalüüsi projektid 20-le aastale. See tähendab, et investering tuleb teenida tagasi maksimaalselt 20 aasta jooksul ning IRR näitab, kui suurt tulukust antud projekt omab. Tihti valitakse rakendusperioodiks lühemaid kestuseid, kuid energeetikaprojektide juures, mille seadmete eluiga enamasti jääb 20 aasta juurde, ei ole see ebatavaline. Projekti kestus valitakse põhiseadmete eluea järgi ehk kuni järgmise sarnase investeringuni. Üldine praktika Danpower Eesti AS-is on teha projektide arvutused 20 aasta peale, kui just seadme spetsiifika ei näe ette lühemat eluiga.

Erinevaid kuluridasid saab täiendada inflatsiooni väärtusega, mis iseloomustab hindade ning kulutuste muutust ajas järgmise 20 aasta jooksul. Inflatsioonimäära lisamine on oluline nende ettevõtete analüüsis, kelle hind ei ole reguleeritud. Kuna kaugkütte soojuse hind on Eestis reguleeritud Konkurentsiameti poolt vastavalt Kaugkütteseadusele (vt punkt 2), siis üldised hinnatõusud ning -langused põhjustavad korrigeerimise ka koheselt kaugküttehinnas. Seega inflatsioon ei oma Eestis kaugkütte kontekstis ettevõtjale märkimisväärset mõju.

Kui IRR on leitud, siis esimesena tuleb vaadata, kas saadud väärtus on positiivne või negatiivne. Negatiivse väärtuse korral ei ole projekt tasuv ning positiivse väärtuse puhul tuleb vaadata, kas see on piisavalt suur. Konkurentsiamet arvestab lubatud kasumi suuruseks ca 7,5–9%, mis arvestatakse investeeritud põhivaralt Saksamaa riigi võlakirjade tootluse, riigi riski ja muude näitajate põhjal (WACC). Tihti aga ei suuda eesti kaugkütteeetevõtjad lubatud maksimaalset ärikasumit saavutada ning vastavalt raamatupidamise aastaaruannetele saadakse tihti vaid 30...70% lubatud kasumist. Antud töö raames arvestatakse, et projekt on piisavalt tulukas, kui projekti sisemine tulumäär IRR on vähemalt Konkurentsiameti poolt lubatud 7,5%. Projektide omavahelises võrdluses saab järjestada projekte nii IRR suuruse kui ka IRR ja alginvesteeringu suhte järgi (ehk kui palju teenitakse tulu vasta alginvesteeringu pealt). Kui projektides saavutatakse suurem tulumäär kui Konkurentsiamet aktsepteerib, siis tuleb analüüsida projekti mõju kogu ettevõtte tegevusele ning kui muutus on suurem kui 5% kehtivast kaugküttehinnast, on kaugkütteeetevõtja kohustatud tarbijate jaoks hinda alandama. [21]

Projektide tulukuse hindamisel ei võeta arvesse projektide finantseerimise kulutusi ning otseselt projektiga mitte seotud kulutusi. See tähendab tegevusi, mida tehti või tehakse niikuinii vaatamata sellele, kas projekt saab teoks või mitte.

5.2 Energiabilansi muutmine

Oluline on leida müüdava soojuse kogus, alates millest on ettevõtte tegevus kasumlik ka suvisel perioodil, ning seada see piirkogus sihiks edasisele optimeerimisele. Kasutades viimase viie aasta majandustulemusi, saab leida müüdava soojuse koguse, mille juures kasum/kahjum on võrdne nulliga. Teades viimase viie aasta majandustulemusi, saab kanda need graafikule, iseloomustamaks kasumi/kahjumi suuruse sõltuvust müüdüd soojuse kogusest (Sele 5.2). Tasuvusanalüüsiks võib kasutada piirkasumit ja/või jääktulu. Piirkasum iseloomustab tulude ja muutuvkulude vahet (graafikul vasakul, tähistatud „piir“), jääktulu aga tulude ja muutuv- ning püsikulude vahet (graafikul paremal, tähistatud „jääk“). Leides nendele sõltuvustele lähendusfunktsioonid (toodud graafikul), saab leida 0-punktid, mis iseloomustavad müüdüd soojuse kogust antud aastal, mis vastaks vastavalt piirkasumile või jääktulule 0 € Leitud kogused on toodud järgnevas tabelis (Tabel 5.2). Võib näha selget tendentsi vajaliku müügikoguse vähenemises, seda kasutades saab teha prognoosi tulevaste aastate vajaliku müügikogusele, eeldades sarnase tendentsi jätkumist (Tabel 5.2 prognoosid – 2014 ja 2015 a.). Vastav trend ja kasutatud lähendusfunktsioonid on toodud mõlemaid suuruseid aasta lõikes iseloomustaval graafikul (Sele 5.1).

Selgelt eristub 2013. aasta oma tulemuste poolest eelnevatest. Peamine põhjus paremates majandustulemustes on kokkuhoid kütuste kulus, mis tuleneb suuremast hakkpuidu kasutamise osakaalust ning asjaolust, et kadude arvestus on katlamajas arvestuslik, mis võib põhjustada erinevusi kütuste tarnijatega arveldamises ning tegelikus kulus.

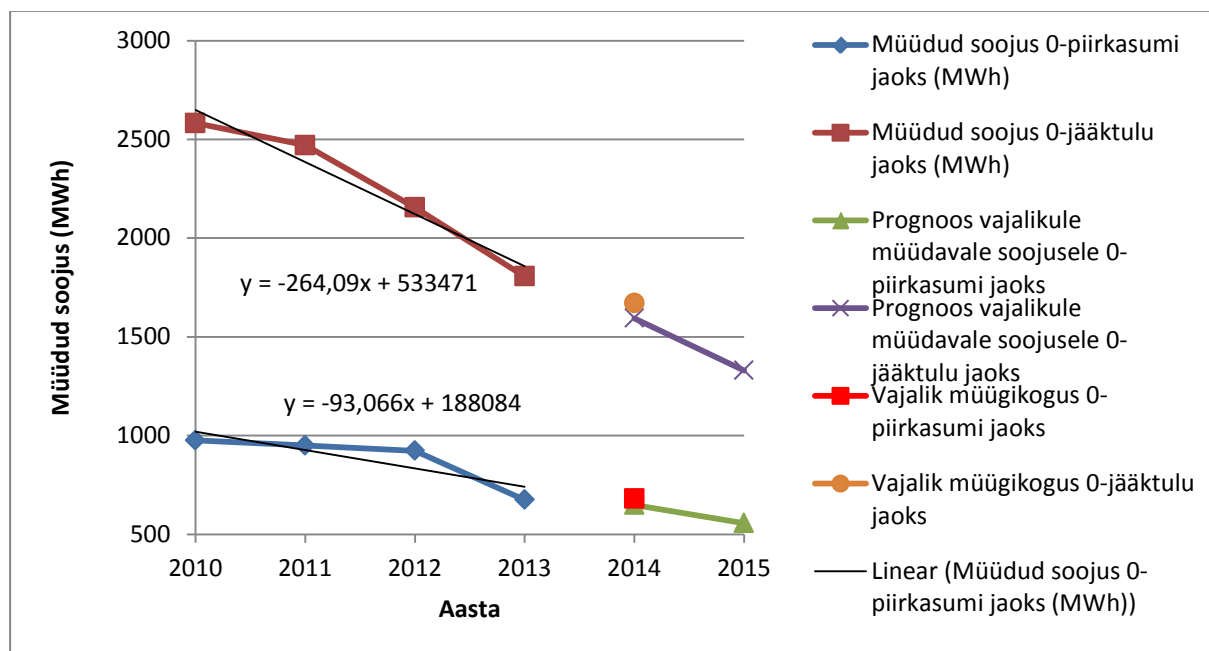
Tabel 5.2 0-piirkasumile ja –jääktulule vastavad müügi kogused (* prognoos)

Aasta	Müüdüd soojus 0-piirkasumi jaoks (MWh)	Müüdüd soojus 0-jääktulu jaoks (MWh)
2009	982	2410
2010	976	2582
2011	950	2470
2012	923	2155
2013	674	1807
2014*	649	1594
2015*	556	1330

Toodud andmete järgi saab öelda, et muutuvkulude katmiseks on 2014. aastal vajalik soojuste müügi kogus 649 MWh kuus. Püsikulude ületamiseks tuleks müüa minimaalselt 1594 MWh kuus. Kuna neid koguseid mõjutavad paljud välised tegurid (kütuste ja teenuste hinnad) ning tegemist on ligikaudse lähendusarvutusega, siis edaspidises analüüsis on eesmärgiks valitud suurused varuteguriga (+5%) ning sellele vastavad suurused on 680 MWh/kuu muutuvkulude ületamiseks ning 1670 MWh/kuu püsikulude ületamiseks. Võrdlus praeguse keskmise müügi kogusega suvekuudel on toodud kokkuvõtvas tabelis (Tabel 5.3).

Tabel 5.3 Vajalikud kuise müügi koguse muutused

Parameeter	0-piirkasum	0-jääktulu
Vajalik müügi kogus (MWh)	680	1670
Praegune keskmine müügi kogus suvel (MWh)	554	554
Müügi koguse kasv (MWh)	126	1116
Müügi koguse kasv (%)	23%	201%



Sele 5.1 Vajalik kuine soojuste müügi kogus saavutamaks 0-piirkasumit ja 0-jääktulu aastate lõikes.

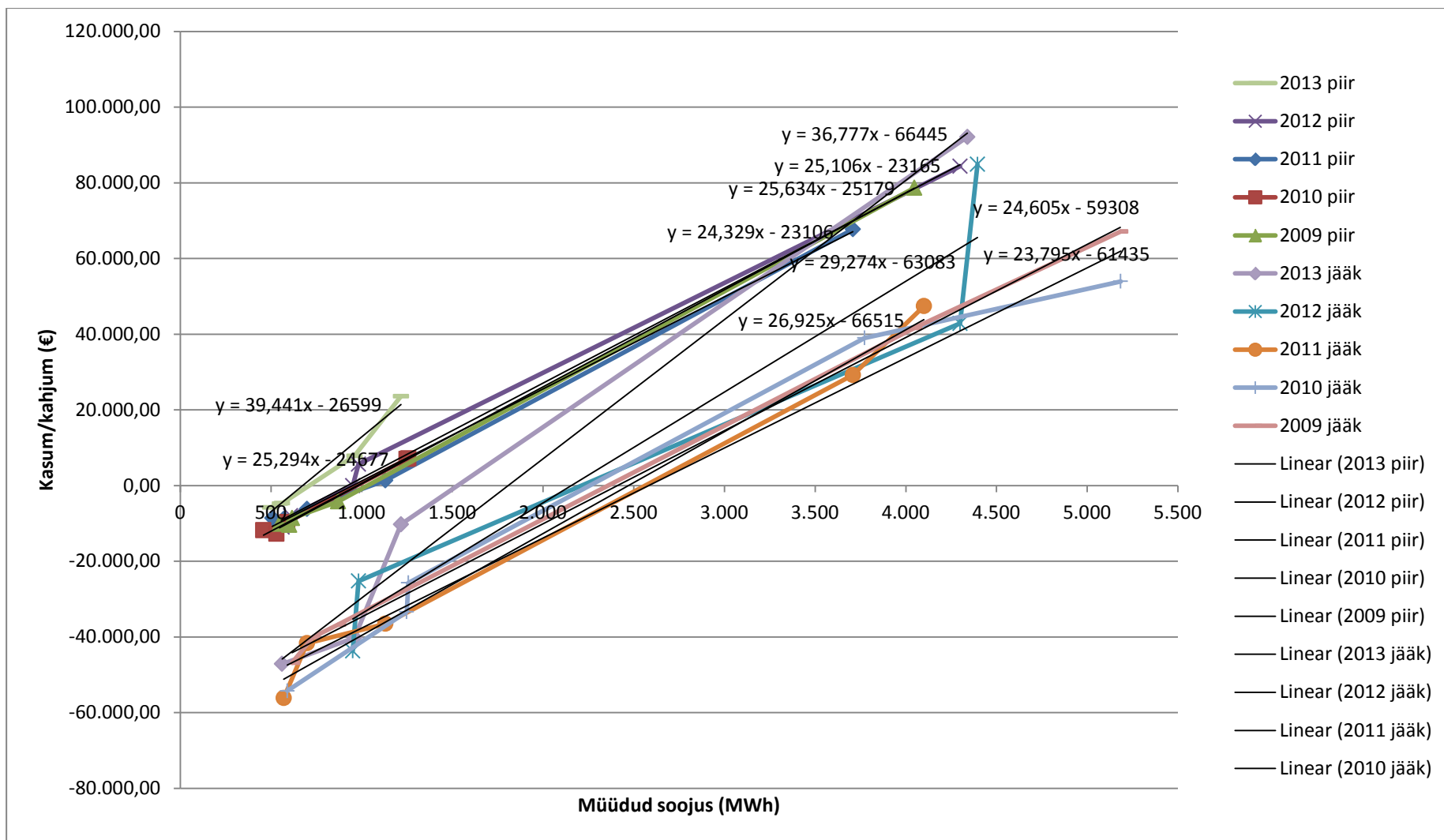
Teine võimalus null-kahjumini jõudmiseks oleks vähendada kulusid. See tähendaks, et kas kütuse asendamisega, uute tehnoloogiate kasutuselevõtu või muu lahendusvariandiga tuleks

iga kuu säästa 0-piirkasumi saavutamiseks 8 892 eurot ning 0-jääktulu saavutamiseks 45 384 eurot (Tabel 5.4). Peamine säästmise koht on võrgukaod, mis torkavad silma suvisel perioodil eriti suure osakaaluga toodangu jaotuses. 0-piirkasumi saavutamiseks peaks võrgukadusid vähendada 34%-ni, eeldusel, et muud tingimused jäävad samaks. 0-jääktulu pole aga võimalik võrgukadude vähendamise abil saavutada. Kui võtta aluseks keskmine talvine (13%) võrgukadude osakaal, on võimalik saavutada jääktulu -30 053,42€ Andmed ning tulemused on toodud kokkuvõtvas tabelis (Tabel 5.4).

Kuna tänu võrgukadude vähendamisele ei ole võimalik kahjumit nullini vähendada ehk saavutada 0-jääktulu, siis järelikult ei lahenda käesoleva töö probleemi madalamale temperatuurirežiimile üleminek. Võimalik, et madalamatele võrgutemperatuuridele üleminek on tasuv projekt, kuid kuna eesmärk ei ole täidetav, ei ole mõttekas seda antud töö raames detailsemalt uurida. Küll aga võrgukadude osakaalu vähenemine suvel 34%-ni (vajalik 0-piirkasumi jaoks) võib olla võimalik, täpsemalt tuleb sellest ning ka muudest võimalustest, kuidas suurendada müügikogust vajaliku suuruseni, juttu käesoleva töö järgnevates peatükkides.

Tabel 5.4 Piirkasum ja jääktulu viimaste aastate andmete põhjal ning erinevate optimeerimisvariantide korral.

Parameeter, suvekuud	Keskmine 2009-2013	Vähendatud võrgukadudega	Minimaalsete võrgukadudega
Toodang MWh	1360,36	1021,67	776,42
Omatarve MWh	121,89	121,89	121,89
Omatarve %	8,96%	12%	16%
Võrgukaod MWh	684,87	346,18	100,93
Võrgukaod %	50,35%	34%	13%
Müük MWh	553,60	553,60	553,60
Müük %	41%	54%	71%
Tulud €	26.823,04	26.823,04	26.823,04
Muutuvkulud €	35.715,07	26.823,03	20.384,33
Piirkasum €	-8.892,04	0,00	6.438,70
Püsikulud €	36.492,13	36.492,13	36.492,13
Kulud kokku €	72.207,20	63.315,16	56.876,46
Jääktulu €	-45.384,16	-36.492,13	-30.053,42



Sele 5.2 Kasumi/kahjumi suuruse sõltuvus müüdüd soojuse kogusest aastatel 2009-2013 Võru kesklinna kaugküttevõrgus

5.3 Alternatiivsed kütteallikad Võrus

Mitmed eelmises peatükis toodud kaugkütte arendusvõimalused ei ole Võrus rakendatavad või tasuvad. Peamiseks põhjuseks, miks ei saa enamikke projekte tasuvaks, on biokütuste odavus. Kui asendataks hakkpuidust umbes 2,5 korda kallimaid fossiilseid kütuseid, oleks projekte lihtsam tasuvamaks muuta. Võimalik, et kui hakkpuidu hinnad hakkavad tõusma, siis hakkavad siin peatükis käsitletud arendusprojektide variandid majanduslikult mõttekamaks muutuma. Selle peatüki alapunktides kirjeldatakse alternatiivsete kütteallikate või -viiside analüüsi Võru kaugkütte jaoks, mis paraku ei osutu erinevatel põhjustel tasuvaks või rakendatavaks.

5.3.1 Päikeseenergia

5.3.1.1 Tsentraalne päikeseпарк

Vastavalt eelpool toodud andmetele (vt punkt 4.2) varieerub päikesekollektorite tootlikkus Eestis vahemikus aprill kuni mai 30...68 kWh/kuu/m². Selleks et tagada Võru kesklinna võrgu vajalik suvine toodang (keskmiselt 1300 MWh/kuus), oleks vajalik päikesekollektorite park pindalaga 20 000 m² (Tabel 5.5). Selline pargi suurus vastab juuni ja juuli toodangutele ning päikese intensiivsusele, juba augustis jääb päikeseenergiast puudu, et tagada piisav soojusvarustus. Võimalik on paigaldada soojussalvesti, millega saab juulis salvestada soojust augusti tarbeks. Ülejäänud kuudel on Eestis päikesekollektorite tootlikkus väga väike ning panustab vähe üldisesse soojuse toodangusse. Sellise suurusega päikesekollektori parkide investeeringu suurus jääb 240 €/m² [22] lähedale, mis teeb pargi installeerimismaksumuseks ligi 5 miljonit eurot.

Esiteks ei ole Võru linnas kaugküttevõrgu lähedal sellise pindalaga vaba maad ning teiseks nii väikese müügi koguse puhul ei tasu nii suur investeering ära. Kui võtta vastavalt päikeseparkide haldajate soovitudele 1% [23] alginvesteeringu suurusest aastaseks käitamiskuludeks, siis saame toodangu 6440 MWh juures sisemise tulukuse määraks IRR = -8,35%. Olgugi et aastas saavutatakse kokkuhoid 85 000 €, ei ole see piisav nii suure investeeringu tagasi teenimiseks.

Tabel 5.5 Päikesekollektori park vastavalt Võru suvisele tarbimiskoormusele

Parameeter	Ühik	Aprill	Mai	Juuni	Juuli	August	September	Kokku
Tootlikkus	kWh/m ²	44	66	68	65	49	30	
Kollektori pindala	m ²	20000	20000	20000	20000	20000	20000	
Toodang	MWh	880	1320	1360	1300	980	600	6440
Müük	MWh	660	660	571	546	490	348	3275

Võimalik oleks rajada päikesekollektorid valitult võimsusele ja toodangule, mis vastaks kadude katmisele. Kuna investeeringu ja toodangu suurus on omavahel võrdelises seoses, siis projekti kaks korda väiksemaks viimine vähendab küll investeerimiskulusid kaks korda, kuid samas väheneb ka potentsiaalne toodang kaks korda. Seega annaks sarnaselt eelnevalt kirjeldatule ka see variant negatiivse tulemuse.

5.3.1.2 Hajusad päikesekollektorid

Alternatiivina tsentraliseeritud päikeseenergia tootmisele oleks võimalik rakendada hajusat päikesekollektorite paigutust tarbijate hoonete katustel. See võimaldaks vähendada võrgukadusid, kuna sooja vett tuleb edastada lühemate vahemaade taha – ühest hoonest teiseni, mitte katlamajast tarbijateni. Juhul kui seda lahendust rakendada täielikult – 100% vajalikust soojusest toodetakse tarbijate juures asuvates päikesekollektorites – siis saaks katlamaja suvel kinni panna.

Sellisel juhul võiksid võrgukaod väheneda peaaegu talvisele tasemele, jäädes 20% juurde. Arvestada tuleb ka lühiajalise energiasalvesti paigaldamisega, et rahuldada õhtust, öist ning varahommikust tarbimist. Salvesti kasutamine põhjustab jällegi täiendavaid kadusid (5% [24]). Olgugi, et päikeselt saadav energia on tasuta, siis kadude suurenemine suurendab vajalikku päikesekollektorite pindala, mis kajastub suuremates investeeringukuludes. Kuna kaod on siiski väiksemad kui tsentraalsel tootmisel (Tabel 5.6), siis läheb vaja väiksemat kollektorite pindala (ligikaudu 13 000 m²). Kuna aga kollektorid paigutatakse hajusalt väiksemate üksustena, siis nende paigaldamine ning käitamine nõuavad suuremaid kulutusi. Hajusalt saavutatakse igakuiselt isegi väiksem kokkuhoid (73 000 €) kui tsentraalse tootmise puhul. Investeering aga palju ei vähene, ulatudes 3,7 miljoni euroni. Kokkuvõttes teeb see

sisemise tulukuse määraks IRR = -7,66%, mis tähendab, et projekt ei ole majanduslikult mõttekas.

Tabel 5.6 Hajusad päikesekollektorid vastavalt Võru suvisele tarbimiskoormusele

Parameeter	Ühik	Aprill	Mai	Juuni	Juuli	August	September	Kokku
Tootlikkus	kWh/m ²	44	66	68	65	49	30	
Kollektori pindala	m ²	13000	13000	13000	13000	13000	13000	
Toodang	MWh	572	858	884	845	637	390	4186
Võrgukaod	MWh	114	172	177	169	127	78	837
Salvesti kaod	MWh	57	86	88	85	64	39	419
Müük	MWh	400	601	619	592	446	273	2930
Vajalik müügikogus	MWh	4092	1032	587	514	560	977	7762

Lisaks põhjustab hajus soojuse tootmine kaugküttevõrgus vajadust uute kahesuunaliste arvestite järgi tarbijate juures ning võrgu hüdraulilise režiimi muutmist ja tõenäoliselt ka kaugküttevõrgu torustiku rekonstrueerimist. Kõrvale ei saa jätta ka projekti elluviimise keerulist suhtluse ja sotsiaalset poolt – kas inimesed on huvitatud neid nii palju mõjutavas ja tüli tegevas projektis kaasa lööma.

5.3.2 Pikaajaline energiasalvesti

Kõige enam kasutatakse energiasalvesteid kombineerituna päikesekollektoritega või muude perioodiliselt töötavate energiaallikatega. Nagu eelmises punktis kirjeldatud sai, siis päikesekollektorid Võru linna kesklinna kaugküttevõrku ei sobi. Kuna ka Võrus põhikütusena kasutatav hakkpuit on keskkonnasõbralik taastuv energiaressurss, siis võiks ka seda salvestada hilisemaks kasutamiseks. Üks võimalus selleks on toota enne suve piisav kogus soojust ette, et siis suvel üldse mitte katlaid käitada ning ammutada soojust ainult salvestist. Teine variant on suvel toota suurema koormusega, kasutades võimsust, mis seisab suvel suures osas kasutamata ning rakendada suvel ületoodetud ja salvestatud soojust talvel tipukoormuste katmiseks, vähendades seejuures fossiilsete kütuste kasutamise nullini. Kumbki variant ei osutu positiivseks lahenduseks, kuna esiteks on vaja sellises mahus salvestite jaoks tohutult ruumi ning teiseks on salvestid veel praegu liiga kallid, et selline meetodika end ära tasuks.

Järgnevas tabelis (Tabel 5.7) on toodud prognoos, milline võiks välja näha energiabilanss, kui toota mai kuus ette vajalik soojus, mida kasutatakse kuni kütteperioodi alguseni septembri lõpus. Piisavalt soojust kogu suveks saab toota mai kuus vaba oleva võimsusega. Mingi osa mai kuu toodangust läheb otse võrku ning suurem osa salvestatakse. Järgnevatel kuudel tarbitakse salvestatud soojust kuni ressursi ammendumiseni tõenäoliselt septembri lõpus, olenevalt ilmast. Suur osa toodetud ja salvestatud soojusest hajub kadudena ümbritsevasse keskkonda. Kuna antud protsess läbimüüki ei suurenda ning kulude kokkuhoid on minimaalne võrreldes ennustatava investeeringu suurusega (üle 6 miljoni euro – vt Sele 4.5), siis ei ole ka antud projekt tasuv.

Tabel 5.7 Energiabilanss energiasalvesti kasutamisel, suveks ettetootmine

Parameeter	Ühik	Mai	Juuni	Juuli	August	September	Kokku	Osakaal
Toodang	MWh	10800	0	0	0	1100	11900	
Salvestisse	MWh	8700	0	0	0	0	8700	
Võrku	MWh	2100	1400	1400	1400	2000	8300	
Salvestist	MWh	0	1400	1400	1400	900	5100	59%
Salvesti kaod	MWh	1200	900	600	500	400	3600	41%
Võrgu kaod	MWh	1100	820	820	840	1030	4610	
Müük	MWh	1000	580	580	560	970	3690	
Salvesti jääk kuu lõpus	MWh	7500	5200	3200	1300	0		

Teise variandi kohaselt võiks suvel toodetud ning salvestatud biomassi energiat kasutada talvel tipukoormuste katmiseks. Vastavalt Danpower Eesti AS-i kogutud viimaste aastate andmetele, kulub tipukoormuse katmiseks ligikaudu 3200 MWh põlevkiviõli aastas, kuna hakkpuidu sisseostu hind Danpower Eesti AS-i jaoks on ligikaudu 2,5 korda väiksem kui põlevkiviõlil, saab arvutada, kas vastav investeering energiasalvestisse on majanduslikult mõttekas. Arvestades, et soojussalvesti kaod on *ca* 50% (vt punkt 4.3) on vaja järelikult suvel ette toota 6400 MWh soojust (Tabel 5.8), mille saab jagada suvekuudele võrdselt. Selliselt tootes suureneb seadmete eksploatatsioon suvel 2,5 korda. Kuna salvestatakse väiksem kogus soojust, siis investeeringu suurus (4,6 miljonit eurot) on väiksem kui esimese variandi puhul. Põlevkiviõli asendamisel hakkpuiduga hoitaks aastas kokku 36 000 € Siiski ei ole see piisav, et teenida 20 aasta jooksul projektiga kasumit, kuna projekti sisemine tulukuse määr tuleb $IRR = -13,46\%$.

Ühe alternatiivina on võimalik kasutada energiasalvestina olemasolevat kaugküttevõrgu vett. Seda saab kasutada siiski vaid väikeste koguste salvestamiseks, sest võrgu maht 1063 m³ on ligi 100 korda väiksem kui eelnevalt toodud kahes arvutuses vajalik salvesti maht. Samuti häirib võrgu vette salvestamine ühtlast temperatuurirežiimi.

Tabel 5.8 Energiabilanss energiasalvesti kasutamisel, talveks ettetootmine

Parameeter	Juuni	Juuli	August	Kokku
Toodang (MWh)	3533	3533	3533	10600
Võrku (MWh)	1400	1400	1400	4200
Salvestisse (MWh)	2133	2133	2133	6400

Võimalik, et soojussalvesteid saab Võrus rakendada, kui tehnoloogiad odavamaks lähevad ning fossiilsed kütused kallimaks, kuid praeguse seisuga ei ole majanduslikult otstarbekas soojussalvestit Võru kesklinna võrku rajada. Keskkonnasäästlikust aspektis on soojussalvesti hea vahend vältimaks täielikult fossiilsete kütuste kasutamist, kui salvestatud biomassi energiat kasutatakse tipukoormuste katmiseks.

5.3.3 Jäätmepõletus

Jäätmepõletusjaamade puhul on põhiline murekoht ohtlikest gaasilistest ning tahketest jäätmetest vabanemine. Jaamade juurde rajatakse suitsugaasidepuhastus, mis peab kinni püüdma suuremaid saasteainete koguseid kui muude kütuste põletamisel. Olgugi, et jäätmekütused on jõujaama jaoks negatiivse hinnaga, siis puhastuse käitamis- ning investeeringukulud on nii suured, et ainult soojuse tootmiseks baasil prügipõletusjaamad end ei õigusta. Iru jäätmepõletusploki eeskujul oleks võimalik Eestisse rajada veel jäätmeid kasutavaid koostootmisjaamu, kuid Võru jaoks koostootmine ei ole sobilik madala võimaliku aastase tootlikkuse tõttu.

5.3.4 Vesi-vesi soojuspump

Võru kesklinna võrgu jaoks vajaliku toodetava soojuse ning installeeritava võimsuse jaoks oleks mõistlik kasutada vesi-vesi soojuspumpa, mida selliste võimsuste juures üldiselt rakendatakse (vt punkt 4.6). Võru on merest kaugel ning linna servas asuva Tamula järve äärne ala on kasutuses üldkasutatava puhkealana või elamumaana, kuhu soojuspumbajaama rajamine tundub võimatu ning tõenäoliselt linna poolt vastuvõtmatu. Ülejäänud järve ümbrus on kaugkütetrassidest kaugel ning ühendus läheks väga kulukaks. Teine võimalus soojust saada on kasutada selleks linna reoveepuhastusjaama heitvett, mis paikneb aga linna servas ning kesklinna kaugküttevõrgust kaugel. Toetudes Danpower Eesti AS-i töötajate varasemale kogemusele, on ka reoveest saadava energia kogus nii väike (suurusjärgus 300 kW), et vajaliku jaama ning torustiku rajamine ei ole majanduslikult mõistlik.

Lähtuvalt eelnevalt toodud Stockholmi soojuspumpade näitest võib võtta vesi-vesi tüüpi suurevõimsusliku soojuspumba elektritarbeks kolmandiku väljundsoojusest. Arvestades, et elektrienergia hind (koos võrgutasude ja maksudega) Eestis jääb ligikaudu 120 €/MWh juurde tööstustarbija jaoks, siis teeks see ülekantult kütusekuluks elektri hinnast kolmandiku ehk 40 €/MWh, mis on sarnane põlevkiviõli hinnale. Seega ilma soojuspumpade täpsema spetsifikatsioonita ning maksumuseta saab väita, et soojuspumpade rakendamine hakkpuidul töötavate katelde asemel, ei ole tasuv tulenevalt suurest kütuse hindade erinevusest.

5.3.5 Tööstuslik jääsoojus

Tööstusliku jääsoojuse ärakasutamiseks ei ole Võrus potentsiaali. Suuremad tööstused on renoveeritud energiatagastusega ehk ülejääv energiahulk on minimaalne. Samuti on selliste lahenduste puhul alati problemaatiline tootlikkuse ebastabiilsus – soojuse tootmine sõltuks tööstuse toodangust ning see põhjustab vajadust täiendava kiiret koormuse muutmist võimaldava soojustootmisüksuse järele, mis omakorda põhjustab suuremat fossiilsete kütuste tarvet, mis on kahjulik keskkonnale.

5.4 Stabiilse tarbimisega tööstustarbija liitmine Võrus

Suvist tarbimist aitab väga hästi suurendada sellise tarbija (või mitme) liitmine kaugküttevõrguga, kes tarbivad stabiilselt soojust ka suvisel perioodil. Enamasti on selleks tööstustarbijad, kes vajavad tehnoloogilistes protsessides soojust või kasutavad seda jahutuse või kuivatamise jaoks. Selliste tarbijate puuduseks on see, et tihti on nende soojuste tarve väga ebahühtlane, kuna sõltub toodangust. Seetõttu eelistavad tööstusettevõtted enamasti endale vajaliku soojuste toota iseseisvalt. Selleks kasutatakse kiiresti muudetava koormusega tootmisüksusi, protsesside jääksoojust või põletatavaid toodangujääke. Koordineeritult kaugküttevõtjaga suudab kaugküttevõtte soojust olla tõsiseltvõetavaks alternatiiviks tööstustarbijate jaoks.

Kui aastaringse tarbimisega tööstusettevõtte liita kaugküttevõrguga, siis ühest küljest suurendab see tarbimist, kuid teisest küljest võib suurendada vajalikku katlaressurssi ning tipu- ja reservkütuste tarvet. Seega oleks kaugküttevõtte seisukohast kõige parem tarbija selline, kes sooviks kasutada kaugküttesoojust vaid siis, kui on olemasolevat võimsust üle. Periood, mil kasutatakse vaid biomassi ning on piisav varu, et saaks varustada veel 1...2 MW ulatuses lisatarbijad on Võru kesklinna võrgus umbes 7 kuud või 5000 töötundi (periood aprill kuni oktoober). Kui tarbimine toimuks vaid suvisel perioodil, 7 kuud, ei vajataks täiendavaid katlavõimsuseid ega peaks kasutama rohkem keskkonnale kahjulikke fossiilseid kütuseid. Kui üldse on raske leida uusi tööstusettevõtteid Võrru, siis kriteeriumid, et nad sooviksid kasutada kaugküttevõtet, asuks võrgule piisavalt lähedal ning sooviks soojust tarbida vaid 7 kuud aastas, teevad selle ülesande veelgi raskemaks.

Eeldusel, et selline tööstustarbija leitakse, on kaugküttevõtte jaoks ainus investeeringukulu kaugküttevõtte rajamine (sh. projekti koostamine), mis reeglina jagatakse tarbijaga. Täpne investeeringukulu jaotus oleneb projekti spetsiifikast, kliendi tarbimiskogusest ning torustiku pikkusest. Võru linna projektides on Danpower Eesti AS-il kujunenud välja reeglilik jagada uute liitujate ühenduskulud uue tarbija ja võrguettevõtte vahel vastavalt 70% ja 30%. Vastavalt Danpower Eesti AS-i inseneride kogemusele võib arvestada keskmiselt 450 €/jm kaugküttevõtte rajamiskuludeks.

See tähendab, et projekti tasuvus sõltub ainult sellest, kui kaugel on uus tööstustarbija katlamajast või kaugküttevõrgust. Kusjuures piiravaks teguriks on veel olemasoleva torustiku piisav soojuste edastamise võime (torudiameter) lisanduva tarbimise rahuldamiseks. Kui uus

tarbimisvõimsus on suur, võib see tähendada, et ühendamiseks tuleb rajada täielikult uus harutorustik magistraaltorustikust või katlamajast. Juhul kui lähedalasuv jaotustorustik vajab niikuinii välja vahetamist, saab ühendada renoveerimise toru diameetri suurendamisega.

Täiendavaks piiravaks teguriks on võrguvee temperatuurirežiim, mis suvisel perioodil jääb 75/50 °C lähedale, kuna tööstusseadmed võivad vajada kõrgemat pealevoolu temperatuuri. Võimalik on kasutada tarbija juures alati soojuspumpa, mis aga põhjustab kõrgemat investeringu- ning jooksevkulu. Madal pealevoolu temperatuur tähendab tarbija jaoks suuremat kulu soojusvahetitele või muudele küttepindadele, et anda edasi sarnane võimsus madalama maksimaalse temperatuuri juures.

5.4.1 Tehniline lahendus

Kuna pole teada potentsiaalse uue tööstustarbija asukoht, tema ühendusvõimsus, soojuse tarbimise graafik ning valmidus investeerida kaugkütteühendusse, saab luua analüüsiks eeldused ning neid muuta vastavalt projektile kui andmed täpsustuvad. Käesolevas töös saab võtta eesmärgiks, et tööstustarbija peaks ostma vähemalt varasemalt arvatatud soojuse koguse kuus (vt p. 5.2) seitsmel kuul aastas. Arvutustulemused on toodud allolevas tabelis (Tabel 5.9), kust on näha, et 100% täisvõimsusel kasutatavuse juures oleks vajalik ühendusvõimsus 1,55 MW, mis tähendaks aastaseks müügikoguseks (7 kuu jooksul) 7750 MWh.

Tabel 5.9 Tööstustarbija minimaalne ennustatav soojustarve

Soojusetarve kuus	1116	MWh
Töötunde	5000	h
Võimsus	1,550	MW
Soojustarve aastas	7750	MWh

Võru linn plaanib hetkel Võrusoo katlamaja lähedale rajada Võrusoo tehnoargi [25]. Planeeritav tööstus- ja ärimaa jääb vahetult Luha tänava äärde, kust kulgeb ka magistraaltorustik. Võimalik maksimaalne kaugus vastavalt projekti dokumentatsioonile kinnistute paiknemisest on ligikaudu 700 m. Võrusoo tehnoarg oleks analüüsitava projekti seisukohast väga hea asukoht potentsiaalsele tööstustarbijale.

5.4.2 Tasuvusanalüüs

Kui arvestada torustiku rajamise kuluga 450 €/m kohta ning pikkusega 700 m, tuleb kogu rajamiskuludeks 315 000 €, mille lisandub veel ligikaudu 5% projekteerimismaksumust. Arvestades antud juhul suurt ärilist potentsiaali Danpower Eesti AS-i jaoks ning potentsiaalse kliendi vastutulekut leppida madalate temperatuuriparameetritega, oletame, et ühenduskulud jagatakse omavahel pooleks. See teeb investeringu suuruseks 173 250 €

Projekti iga-aastased tulud on vastavalt müügikogusele (7750 MWh) praeguse soojuse hinna juures 428 000 €. Täiendava soojuse tootmise jaoks suurenevad iga-aastased kulud ligikaudu 154 000 € võrra. Seal hulgas on suurenenud võrgukaod, hakkpuidu-, elektri-, vee-, kemikaali- ja transpordikütuse tarve, vastavalt praegustele kuludele tootmisühiku kohta.

Vastavalt toodud andmetele ja eeldustele tuleb projekti tulukuse määraks $IRR = 158,8\%$, kuna suhteliselt väikeselt investeringult teenitakse suhteliselt suurt tulu. Tegemist on siiski väga optimistliku plaaniga, kuna võimalused sellise ettevõtte või ettevõtete grupi leidmiseks on väikesed. Tõenäoliselt vajavad enamik ettevõtteid soojust aastaringselt, mitte vaid 7 kuu jooksul, mis võib tähendada ka talveperioodil suuremat fossiilkütuse kasutust. Alternatiivne võimalus, kuidas sellises koguses soojust tööstustarbijale müüa, on olla ise sellise tarbija loojaks hakates tootma mingit kõrvalprodukti või pakkuma soojust vajavat teenust. See omakorda vajaks täiendavaid investeringuid, mis vähendaks projekti tulukuse määra. Sellise tootmise rajamine on aga täiesti eraldi küsimus, mille analüüsimine läheb käesoleva uurimuse temaatikast välja ning kõrvaltoodangu analüüs tuleks teha eraldi.

5.4.3 Projekti mõjud

Nii suur müügikoguse suurenemine (ca 8%) parandab ettevõtte majanduslikku seisukorda niivõrd, et on võimalik, et piiratud kasumi tingimustes on ettevõtte kohustatud soojuse müügihinda alandama. Seega olgugi, et protsentuaalselt jääb ettevõtte kasum piiratuks, suureneb tänu müügi koguse suurenemisele saadav kasum. Kui palju muutub projekti tõttu kaugkütte soojuse hind ning kuidas see mõjub ettevõtte üldisele seisukorrale, jääb antud uurimuse temaatikast välja, kuid seda tuleks kindlasti analüüsida enne projekti rakendamist. Lisaks kaugkütte hinna alanemisele on kohalikus mastaabis projektile positiivne mõju tööstuse

kaudu tekkivate uute töökohtade näol. Keskkonnakaitselisest aspektist on projektil neutraalne mõju, kuna soojuse tootmiseks kasutatakse kütusena vaid taastuvat biomassi, v.a. juhul kui väikeses mahus on vajalik kasutada tipu- või reservkütusena keskkonnakahjulikke fossiilseid kütuseid.

5.5 Endiste ja uute tarbijate liitmine Võrus

Olgugi, et üle poole Võru linna elanikkonnast on kaugkütte tarbijad, on veel kaugkütte laienemiseks arenguruumi. Esimene potentsiaalne grupp kaugkütte laiendamiseks on olemasolevad kortermajad, kus on ülemindud muude kütteallikate peale kas kogu küttevajaduse ulatuses või ainult sooja tarbevee valmistamisel. Varasemalt on mitmed hooned lõpetanud sooja tarbevee valmistamiseks kaugkütte tarbimise ning asendanud selle elektriküttega. Samuti on linnas maju, kus on täielikult väljavahetatud küttesüsteem, veepõhine keskküte on asendatud elektriradiaatoritega. On ka maju, kus kasutatakse küll keskkütet, kuid alternatiivseid kütuseid nagu halupuud või kütteõlid. Rääkides elanikega rahulolust muude kütteallikatega ollakse pigem positiivselt meelestatud kaugkütte, mitte olemasolevate osas. Peamiseks takistuseks kaugküttega liitumisel on vajadus küttesüsteem ümber ehitada ning kaugküttetorustiku hooneni rajamise suured kulutused. Otsustavaks saab siinkohal uute liitumiste hulk ühes piirkonnas, st mida rohkem tarbijad, seda odavamaks läheb ühenduse ehitamine ühe tarbija jaoks.

Teine potentsiaalne grupp on ühepereelamud (ehk eramud või eramajad), mille hulgas on Võrus vaid üksikud kaugküttetarbijad. Suur osa eramutest kasutab kütteallikaks odavaimat, kuid mitte mugavaimat halupuudega ahjukütet. Eramaju on Võrus palju, kuid mitmed on juba üle läinud muule säästlikule kütteallikale, näiteks on populaarsed õhk-õhk soojuspumbad.

Kolmas valdkond, mis võimaldaks suuremat soojuse müüki suvisel perioodil, on ruumide jahutuse pakkumine, eelkõige kontori- ja kaubanduspindadele. Klassikaliselt kasutatakse konditsioneerimiseks kompressioonjahuteid, mis kasutavad töötamiseks elektrienergiat. Alternatiivne võimalus on kasutada kaugküttesoojusel töötavaid absorptsioonsoojuspumpasid.

5.5.1 Sooja tarbevee kasutajaskonna suurendamine

Võru kesklinna võrgus on alla kümne eramajadest kaugküttetarbija. Ülejäänud eramajade omanike kütteviisidest ja seisukohtadest küteliikide kohta pole täpset infot. Enamasti jääb eramute küttevajadus liiga väikeseks, et üksikuid hooneid kaugküttevõrguga ühendada. Samas kui liitujate hulk on piisavalt suur, jagatakse torustiku investering paljude vahel ära. Olenevalt eramu praegusest küteliigist on peamiseks põhjuseks üleminekuks kaugküttele: halupuu kütteil olevatel hoonetel mugavus ning elektri- või õlikütteil olevatel hoonetel saadava soojuse odavus. Juba oma soojuspumbad paigaldanud koduomanikele on raske kaugkütet tasuvaks teha, kuna kaugkütte soojuse hind tarbija jaoks on suurem soojuspumba elektritarbe maksumusest ühiku kohta (vt punkt 5.3.4). Sobilikemad uued kliendid oleksid õli- või elektrikeskküttesüsteemidega majaomanikud, sest siis ei ole vaja teha täiendavat investeringut veepõhise keskküttesüsteemi väljaheitamiseks.

Täpsemalt eramajade omanike eelistuste ning praeguste kulutuste teada saamiseks tuleks sarnaselt Östersundi linnale (vt punkt 4.7.1) viia läbi küsitlus. Selle põhjal saab teha järeldusi, kas on mõttekas teha kaugkütte kasutuselevõtuks reklaamikampaaniat ning kui on, siis millele tuleks seal rõhku panna. Kogu reklaamikampaania võiks olla korraldatud Östersundi eeskujul, kuna seal saavutati vägagi positiivseid tulemusi. Erinevus Võru puhul on see, et ei ole riiklikku toetust kütteallika vahetamisele, kuid suure hulga majade ehitustööde puhul saab teha koostööleppe kohalike ehitusfirmadega, et saada üleminekutöödele soodsamaid tingimusi. Lisaks Östersundis tehtule võib pakkuda piisava hulga uute liitujate puhul ajutist kaugküttehinna langetamist suvisel perioodil. Sellega ei kaasne soojusettevõtja jaoks suurt kulu, kuna peamine tulu teenitakse uutelt klientidelt ikkagi talvel. Ajutine hinna langetamine vajab veel läbirääkimisi ja kooskõlastamist Konkurentsiametiga.

Antud alternatiivi analüüsimiseks koostatakse lisanduva soojustarbe prognoos vastavalt praeguste kaugkütet tarbivate eramajade tarbimisstatistikale. Keskmise eramaja tarve suvel on 300 kWh kuus ning talvel ca 3400 kWh kuus. Kui võtta aluseks varasemalt leitud vajalik müügikoguse suurenemine 1116 MWh kuus suvisel perioodil, siis oleks vaja toodud tarbimise juures liita kaugküttevõrku u 3720 eramaja, mis on ebarealistlik, kuna kui ka Võrus ja selle lähiümbruses oleks nii palju eramuid, siis oleks liiga palju oodatud, et nad kõik ka kaugküttega liituks. Kui võtta eesmärgiks suurendada müüki, et katta vähemalt muutuvkulud suvisel perioodil, on vaja täiendada müüki vähemalt 126 MWh kuus, mis tähendaks u 420

eramu liitmist. Sellise hulga majade leidmine Võru kesklinna võrgu lähedal on võimalik, kuid samuti vähetõenäoline. Seega saab sellise kampaania ja arenduse eesmärk olla üldiselt soojuse müüki suurendada ning vähendada suvist kahjumit, kuid sellega ei lahendata täielikult käesoleva uurimuse probleemi, vaid ainult leevendatakse. Siiski on see positiivne tulemus, tänu millele suureneb ka läbimüük talvel ning seda tuleks edasi uurida.

5.5.1.1 Tehniline lahendus

Sobivaid eramajade rajoone, kus saaks kaugküttevõrgu laienemiskampaaniat läbi viia, on Võrus kaks (Sele 5.3). Need piirkonnad on piisavalt lähedal magistraaltorustikule (toru läbimõõt vähemalt 250 mm), mis võimaldavad täiendavate võimsuste ühendamist ning neis on piisavalt suur hulk lähestikku paiknevaid maju, et ühenduse rajamine ära tasuks.

Kirsi tn piirkonnas asuvad ka kaks praegust kaugküttetarbijat (Tööstuse 8 ja 10), kes saavad olla positiivseks eeskujuks naabritele ning kelle juurde võimalusel saaks organiseerida külastusi näitamaks, kuidas ühendus kaugküttega eramajas välja näeb. Kõikide majade ühendamiseks tuleks torustik rajada Toome, Kesk, Veski ning väikeses ulatuses Vilja tänavale (kus toimuks ka ühendus magistraaliga), kogupikkusega umbes 830 m, millele lisanduvad majajühendused peatorustikuga. Sellise torustiku rajamismaksumus võib jääda 330 000 € juurde. Jagades Danpower Eesti AS tava kohaselt rajamiskulutused tarbijatega nii, et soojusettevõtja katta jääb 30% maksumusest, teeb see investeeringu suuruseks soojusettevõtjale 99 000 € Reeglina majajühenduste rajamine jääb kliendi katta, kuid finantseerimise selle jaoks võib tagada soojusettevõtja. Kirsi tn piirkonnas on 62 eramut, mille hinnanguline soojusatarve suvisel perioodil on 18 MWh ning talvel kuni 210 MWh kuus.

Olevi tn piirkond on Kirsi tn piirkonnast suurem, seal on 108 eramut, mille hinnanguline soojusatarve on suvisel perioodil 32 MWh kuus ning talvel kuni 367 MWh kuus. Uue piirkonna ühendamise magistraaltorustikuga saab teha Piiri ja Jüri tänava nurgal. Kõikide hoonete ühendamiseks tuleb rajada torustik Piiri, Olevi, Sulevi, Linda ja Salme tänavatele, kogupikkusega 1710 m, millele lisanduvad majajühendused. Vastavalt eelnevalt toodud põhimõttele jaguneksid Olevi tn piirkonnas torustiku rajamise kulutused kaugküttevõtja ja tarbijate vahel vastavalt 205 000 € ja 480 000 €



Sele 5.3 Sobivad eramute piirkonnad Võrus: sinisega Olevi tn piirkond; punasega Kirsi tn piirkond (paiknemist linnas vt Lisa 1: Võru kesklinna kaugküttevõrgu kaart)

On raske ennustada, kui paljud koduomanikud liituksid kaugküttevõrguga, seega võib seada prognoositava eesmärgi, et 50% majadest liitub pärast kampaania korraldamist. See tähendab müügikoguse kahekordset vähenemist, kuid torustiku rajamise kulu sellest tõenäoliselt palju ei vähene, kuna ühendus magistraaliga ning piirkonna jaotustorustikud tuleb rajada olenemata tarbijate arvust. Täpse torustiku rajamise kulu saab paika siis, kui on teada kõikide liitujate

asukohad ning ühendusvõimsused, kuid analüüsis arvestatakse 50% liitujate juures 10% vähenevate torustiku rajamise kulutustega.

5.5.1.2 Tasuvusanalüüs

Vastavalt eelmises punktis toodud eeldustele saadakse torustiku rajamise kulutuseks soojusettevõtja jaoks kahe piirkonna peale kokku 274 000 € Sellele lisandub veel reklaamikampaania hind, mille suurus on hinnanguliselt 40 000 € See kulub reklaammaterjalide koostamisele, infoõhtute organiseerimisele ning üldisele korraldusele.

Soojuse müük suureneb prognoositavalt 2295 MWh võrra aastas, mis toob lisatulu 127 000 € aastas. Arvestades soojuse tootmise kulutustega, peaks ettevõtte saama iga aasta täiendavat kasumit 52 000 € Selliste andmete korral on projekti sisemise tulukuse määraks IRR = 15,76%, mis on hea tulemus. See annab võimaluse väikesel määral projekti edukaks toimimiseks suurendada soojusettevõtja rahalist panust. Näiteks võib suurendada soojusettevõtja poolt tasutava torustiku rajamise kulutuste osa, et saada liitumistasu madalamaks ja seeläbi meelitada rohkem koduomanikke liituma. Teisalt võib jagada ka majajühenduste rajamise või hoonete küttesüsteemide vahetuse kulutusi uute tarbijatega. Milline on parim lähenemisviis pakkumise koostamiseks selguks pärast esmase küsitluse läbiviimist koduomanike hulgas, mil saab koostada turundusplaani kaugkütte laienemiseks.

5.5.1.3 Projekti mõjud

Projekt mõjutab otseselt kõiki uusi tarbijaid. Positiivse külje pealt on neil pärast kaugküttega liitumist kindel soojusvarustus, mis ei vaja praktiliselt mingit hooldust ega tarbija poolset tegutsemist. See tähendab, et tarbijal suureneb mugavus. Kui varem kasutati maja kütmiseks elektrit või õli, siis vähenevad küttekulud. Teisalt tuleb tasuda kaugküttevõrgu liitumistasu, mis on keskmiselt ühe tarbija jaoks Olevi tn piirkonnas ühekordse tasuna välja makstes u 8000 € ning Kirsi tn piirkonnas 6700 € Kui tasuda liitumistasu igakuiselt 6% aastase intressimääraga järgneva 10 aasta jooksul, tuleb kuiseks makseks Olevi tn piirkonnas 67 € ning Kirsi tn piirkonnas 56 € Sealt edasi kaugkütte soojuse tarbimine praktiliselt

lisainvesteeringuid ei vaja ning tarbija peab arvestama vaid tarbitud soojuste eest tasumisega erinevalt individuaalküttest, kus teatud aja tagant tuleb kütteallikas välja vahetada.

Kui asendatakse õli- ja elektriküttesüsteeme kaugkütte vastu, suurendatakse sellega kohalike taastuvate kütuste kasutamist, mis on hea nii keskkonnale kui ka kohalikele majandusele. Väheneb sõltuvus imporditavatest fossiilsetest kütusest ning suureneb kütte varustuskindlus. Kaugküte asendab väikesed, sageli mittereguleeritavad õhureostuse allikad suures osas või täielikult kontrollitud keskse(te) allika(te)ga. Kuigi õhukvaliteet keskse allika vahetus läheduses võib hetketi halveneda ja tekkida heitmete kontsentratsiooni suurenemine, on kaugküttele üleminek ja väikeste saasteallikate likvideerimine reeglina märgatavalt vähendanud õhureostust ja heitmete kontsentratsiooni kaugküttega tiheasustusega aladel. Samuti tekib majades rohkem vaba kasulikku ruumi, mille varasemalt võtsid enda alla kütteseadmed ning kütuse ladustamise kohad. [26]

5.5.2 Kaugküttele baseeruva jahutuse pakkumine

Absorptsioonsoojuspumpadega jahutamine veel tõsist konkurentsi kompressioonsoojuspumpadele ei paku (vt punkt 4.8). Alginvesteering on suurem ning soojustegur väiksem. Lõpuks sõltub tehnoloogia valik soojusallika ning elektrienergia hindadest. Tasuvusanalüüs antud juhul jaguneb kaheks osaks: soojusettevõtja ning kliendi oma, kuid neid tuleb vaadelda siiski koos, sest nad on omavahel tugevalt seotud. Paralleelse kaugjahutustorustiku ehitamine on väga tülikas, kui mitte võimatu linna piirkonnas, seega edasine analüüs baseerub eeldusel, et jahutusenergiat toodetakse kliendi juures kaugküttele töötava absorptsioonsoojuspumbaga.

Võttes aluseks suvel vajamineva lisamüügikoguse (1116 MWh/kuu), et saavutada 0-jääktulu, oleks vaja külmaseadmeid koguvõimsusega 1200 kW. Sellist jahutusvõimsust on vaja, et jahutada ligikaudu 12 000 m² [27] kaubandus- ja äripinda. Võrus omavad sellist jahutusvajadust summaarselt näiteks Kagukeskus, Maksimarket ja Maxima [28]. Jahutusvajadus ilmneb peamiselt suvisel perioodil, mingil määral ka ülejäänud aastal, sellele tuginedes oleks prognoositav kaugküttesoojuste aastane müügikoguse suurenemine klientide absorptsioonsoojuspumpade rahuldamiseks u 6600 MWh. Kui sellega projekt piirduks, siis

oleks see kaugkütteettevõtja jaoks väga tulus, kuna ilma investeeringuteta suurendatakse läbimüüki ning teenitavat kasu ligi 100 000 €

Toodud stsenaarium aga suure tõenäosusega ei saaks kunagi reaalsuseks, sest see ei ole kliendi jaoks võrreldes elektrienergia töötava soojuspumbaga tasuv. Kliendi tasuvusanalüüsi aluseks on eelnevalt toodud andmed (Tabel 4.5), kust on näha, et investeering on absorptsioonseadme puhul 2 korda suurem ning soojusteguri 6,4 kordne erinevus ei tee tasa kaugküttest ligikaudu 2 korda kallimat elektrienergia hinda. Olukorra lahendamiseks võib välja pakkuda, et seadmed ostab ning teostab neile hooldust hoopis kaugkütteettevõtja ning kliendile müüakse jahutusenergiat. Sellisel juhul langeb kliendilt ära investeeringukulu ning talle müüdava energia hinda saab langetada, kuna erinevalt kaugküttesoojusest, jahutuse hind ei ole Konkurentsiameti poolt (veel) reguleeritud.

Varasemalt toodud andmed (Tabel 4.5) sobivad hästi indikatiivseks võrdluseks, kuid on siiski määratud ühe suure seadme võimsuse kohta. Kuna Võru puhul tuleks installeerida vähemalt 3 eraldi seadet ning nende võimsused on suurusjärgu võrra väiksemad, kui kirjanduses toodud andmed, siis arvestatakse 3 korda suurema alginvesteeringu suurusega. Eeldusel, et kaugkütteettevõtte võtab kogu ligi 430 000 € investeeringu enda peale ning müüb vastavalt kaugkütte soojuse hinnale, siis oleks projekt soojusettevõtte jaoks tasuv sisemise tulukuse määraga $IRR = 30\%$.

Selline mudel ei ole endiselt tasuv aga kliendi jaoks, kelle aastased kulud jahutusele (isegi ilma investeeringu amortisatsioonita) ületavad kolmekordselt kulusid, mis oleksid kompressioonjahutusseadmega. Eeldades kompressioonjahuti 15 aastast eluiga ning muid eelnevalt toodud andmeid ja eeldusi, siis võiksid olla seadme aastased kulud u 140 000 €. Et klient oleks motiveeritud teist liiki jahutust eelistama, võiksid aastased kulud olla 10% väiksemad, võrdudes 126 000 euroga. Sellisel juhul peaks kliendile jahutust müüma hinnaga, millele vastav kulutatud soojus hind oleks 18,96 €/MWh (võrdluseks praegu kehtiv hind Võrus 55,27 €/MWh), mis on madalam kui katlamajade toodangu omahind ning tooks ettevõttele u 110 000 € aastas kahju. Kokkuvõtvalt ei ole võimalik antud tingimustel leida varianti, mis oleks tasuv mõlema osapoole jaoks.

5.6 Sooja tarbevee tootmisest loobumine Võrus

Suvel kasutatakse Võru kesklinna võrgus kaugküttesoojust vaid sooja tarbevee valmistamiseks. Juhul kui KKütS seda lubab, siis on kaugkütteeettevõtjal võimalik lõpetada sooja tarbevee valmistamiseks kaugküttesoojuse edastamine ning pakkuda soojust vaid ruumide kütmiseks. Ühest küljest võimaldab see suvisel perioodil neljaks kuuks kogu tootmise seisma panna, kuid teisalt väheneb sooja tarbevee tarbimise võrra müük kogu aasta jooksul. Kaugküttesoojuse edastamise lõpetamine suvisel perioodil toob kaasa selle, et elanikud peavad tegema uued investeeringud ning soetama endale kas elektriboilerid või muud kütteallikad. See võib tuua kaasa trendi, et installeeritakse päikesekollektoreid ja/või soojuspumpi, mis hakkaksid vähendama ka tarbitavat kaugküttesoojust ruumide kütmiseks kütteperioodil.

2013. aasta suvisel perioodil (8.05. - 20.09.) anti võrku 3216 töötunni jooksul 5019 MWh soojust, see teeb võrku antud keskmiseks võimsuseks sel perioodil 1,56 MW. Arvestades võrgukadusid on tegelik soojuse tarve ning müüdü kogus väiksemad. Samal perioodil müüdi sooja tarbevee tarbeks hinnanguliselt 2243 MWh soojust, mis teeb tarbimisvõimsuseks 0,70 MW, mille saab edaspidi võtta aluseks sooja tarbevee valmistamiseks kuluvaks võimsuseks. Arvestades, et sooja tarbevee tarbimine on aastaringselt ühtlane, siis saab arvutada, et täisaastal sama võimsuse juures on tarbitav ehk müüdav soojuse hulk 6110 MWh, millest talvisel perioodil müüakse 3867 MWh.

Kui suvisel perioodil lõpetada tootmine, siis hoitakse täielikult kokku muutuvkulud, kuid vaid osaliselt püsikuludelt. Püsikuludest väheneb kõige enam transpordikütuse kulu, mis kulub hakkpuiduetteandes traktori kütuseks, kuid ka mitte täielikult, sest personali sõiduautode kulu jääb. Tööjõudu saab vähendada, kuid mitte täielikult kaotada, sest seadmed ning katlamaja vajavad hooldust, mis teostatakse reeglina suvel, kui seadmed seisavad. Eeldatakse, et tööjõuga seotud kuludest jääb alles 40%. Osad püsikulud ei vähene üldse: kindlustus, amortisatsioon, valve ning seadmete hoolduseks kuluvad materjalid. Kokku on planeeritud suvisel perioodil kokkuhoiuks 195 000 € Kuid kuna ei müüda ka soojust, jääb tulusid 124 000 € saamata. Seega suvise kaugkütte lõpetamine annaks sel perioodil ettevõttele tulu võrreldes praeguse olukorraga 71 000 €

On tõenäoline, et kui suvisel perioodil lõpetatakse kaugküttesoojuse edastamine, siis tarbijad loobuvad täielikult kaugküttest sooja tarbevee valmistamiseks ning soetavad omale

elektriboilerid või muud veesoojenduseseadmed. Samas ei ole välistatud, et on kliente, kes saavad hakkama 4 kuud aastas ilma sooja veeta, elades tol perioodil näiteks oma suvekodus. Kui selliseid kliente on, siis pigem on nende hulk tühine võrreldes kogu tarbijaskonnaga. On mõeldav, et inimesed elaksid 1-4 nädalat täielikult ilma sooja veeta, kuid 4 kuud võib liiga paljuks jääda. Talvisel perioodil on suurema tootmise tõttu ühe müüdü ühiku jaoks kulutatud summa väiksem kui suvel ning ettevõtte teenib iga müüdü ühiku pealt kasumit. Kui sooja tarbevee valmistamise võrra müüakse talvisel perioodil vähem soojust, väheneb seetõttu sellest saadud kasum 85 000€

Kuna kütteperioodil väiksema soojuste müügi koguse tõttu saadud väiksema tulu suurus ületab suvel kokkuhoitud summat 14 000 euro võrra, siis järelikult tekitab projekt ettevõttele pigem kahju kui kasu. Kui arvestada veel lisanduva müügi koguse vähenemisega, mis on tingitud sellest, et tarbijad võivad paigaldada päikesekollektoreid, siis muutub projekt veel kahjumlikumaks. Negatiivse mõjuna kerkib esile ka ebameeldiv käitumine töötajate poolt, kus nende töö jääks hooajaliseks ning nad oleksid suvisel perioodil sunnitud omale muud tööd otsima või halvemal juhul lahkub osa väljaõppinud ning kogemustega personalist lõplikult.

Kulude poolest ei oleks elektriboileriga sooja tarbevee valmistamine ka klientide jaoks kasulik, kuna praegune kaugküttesoojuste hind Võrus on ligi kaks korda odavam elektrienergia hinnast lõpptarbijate jaoks (koos käibemaksuga vastavalt 66,32 €/MWh ning u 130 €/MWh). Sarnasel põhjusel ei ole mõistlik ka kaugküttesüsteemidega pakkuda tarbijatele lokaalselt elektri baasil toodetud sooja tarbevett. Lokaalselt tootes väheneks tarbitav energiahulk umbes poole võrra, kuna kokkuhoitavad võrgukaod kaugküttesüsteemis on suvekuudel keskmiselt 50,35%. Kui aga võrrelda soojuste tootmise omahinda (koos võrgukadudega) ning elektrienergia hinda, siis ei ole see tasuv isegi investeeringukulusid arvestamata.

6 ALTERNATIIVIDE VÕRDLU

Erinevate arendusalternatiivide analüüsil Võru kesklinna kaugküttevõrgu jaoks selgus, et üheselt parimat lahendust ei ole. Igal alternatiivil on mingi puudus, mis ei tee temast täielikult ideaalset lahendust töös lahendatavale probleemile, vähendada suvist kahjumit vähemalt nullini, olles sealjuures koheselt rakendatav. Käsitletud alternatiivid on kokku võetud järgnevas tabelis (Tabel 6.1), kus erinevate värvidega on tähistatud nende variantide sobivus.

Tabel 6.1 Töös käsitletud alternatiivide võrdlus

Alternatiiv	IRR	Täiendav müügi-kogus	Inves-teering	Eelised	Puudused
Ühik	%	MWh/a	tuhat €		
Tsentraalne päikesepark	-8,35		5000	Keskkonnasõbralik Kütusevaba	Suur investeering Ebaühtlane toodang
Hajusad päikesekollektorid	-7,66		3700	Keskkonnasõbralik Kütusevaba	Suur investeering Ebaühtlane toodang Tülikas hooldada
Pika-ajalise energiasalvesti kasutamine suviseks kütmiseks			6000	Kulude kokkuvõid suvel	Suured soojuskaod Suur investeering
Pika-ajalise energiasalvesti kasutamine talviste tippude katmiseks	-13,46		4600	Põlevkiviõli kasutamise vähenemine	Suured soojuskaod Suur investeering
Jäätme põletus				Odav kütus	Suur investeering Kulukas suitsugaaside puhastus
Vesi-vesi soojuspump				Keskkonnasõbralik Kütusevaba	Elektri kõrge hind Puudub sobiv asukoht Puudub piisav võimsus
Tööstuslik jääsoojus				Madala hinnaga soojus	Puudub sobilik allikas
Stabiilse tarbimisega tööstustarbija liitmine	158,80	7750	173	Väike investeering Vähe vaevanõudev	Raske leida sobivat klienti
Sooja tarbevee kasutajaskonna suurendamine	15,76	4300	314	Väike investeering Keskkonnasõbralik	Raske leida uusi kliente Tülikas torustiku rajamine
Kaugküttele baseeruva jahutuse pakkumine	30,03	6600	430	Väike investeering	Pole kliendi jaoks tasuv Tundmatu tegevusvaldkond
Sooja tarbevee tootmisest loobumine			0	Kulude kokkuvõid suvel	Klientide rahulolematuse suurendamine

Punane värv tabelis näitab, et projekt praeguste tingimuste juures ei ole kas teostatav või majanduslikult tasuv. Kollasega on tähistatud osaliselt sobivad alternatiivid ning roheline tähistab sobivaid projekte.

Päikesekollektorite projektid on küll positiivsed keskkonnakaitselisest aspektist, kuid tegemist on hetkel veel liiga kalli tehnoloogiaga Eesti oludes, kus Päikeselt saadav energiahulk on väga väike ning ebaühtlane. Need projektid ei ole praegu tasuvad, kuid võimalik, et tehnoloogia populariseerudes muutub ka alginvesteering väiksemaks ning sellisel juhul hakataks ka Eestis enam päikesekollektoreid paigaldama.

Pikaajalised energiasalvestid on väga kulukad ning suurte soojuskadudega, nende rakendamiseks saadav võit ettevõtte jaoks on väga väike ning seega rakenduslikku potentsiaali ei oma. Küll tehakse aga soojussalvestite vallas suuremahulist arendustööd järgmise generatsiooni (keemiliste) salvestite kasutuselevõtuks. Nii pea kui uued tehnoloogiad on jõudnud tööstuslikku faasi ning nende hind on vastuvõetav, võib see muuta suuresti kogu kaugkütte toimimispõhimõtteid.

Jäätmepõletus koos muude koostootmistehnoloogiatega ei paku lahendust töö põhiprobleemile, pigem suurendab vajadust suurema suvise soojuskoormuse järele. Danpower grupis on leitud, et koostootmine Võru linna jaoks ei ole praegustel tingimustel tasuv. Samuti vajab prügipõletus enamasti suuremat mastaapi ning on väga kapitalimahukas, millest suure osa panustab suitsugaaside puhastus.

Nii vesi-vesi soojuspumba kui ka tööstusliku jääsoojuse kasutamiseks Võrus ei ole sobivat allikat. Soojuspumpade praeguste soojustegurite juures ei paku nad konkurentsi ka hakkpuidule, mille hind on üle kahe korra madalam tarbitava elektri hinnast toodetava soojuse ühiku kohta. Jääsoojuse ära kasutamise tasuvuse ja hinna kohta on võimatu hetkel kindlat hinnangut anda, kuna selleks puudub sobilik tööstusettevõtte, mille jääsoojust saaks ära kasutada. Kui sarnane tööstusettevõtte peaks Võrru tulema või selleks plaane tegema, siis kindlasti on kaugkütteettevõtja ning –tarbijad koostööst huvitatud.

Ühe alternatiivina kaalutud sooja tarbevee tootmise lõpetamine ei ole samuti kaugkütteettevõtja jaoks tasuv, kuna suvel kokkuhoitud kahjum ei ole suurem kui talvel teenitu. Kaugkütte lõpetamine tähendaks ka tarbijatele ebamugavust ning täiendavat väljaminekut uue sooja tarbevee valmistamise seadme jaoks. Kulude kokkuhoid personali

arvelt antud juhul ei ole sotsiaalselt vastutustundlik tegevus ning põhjustaks inimestes pahameelt.

Kaugkütel töötava jahutuse pakkumine on teoreetiliselt üks ideaalsemaid lahendusi soojusettevõtte jaoks, kuna suureneb soojuse müük sel perioodil, kui on kliimaatiliselt soe aeg ning soojust ostetakse vähem. Tehnoloogia selle jaoks on absorptsioonsoojuspumpade näol olemas, kuid see ei ole tarbija jaoks võrreldes kompressioonsoojuspumpadega konkurentsivõimeline. Seega olgugi, et soojusettevõtte jaoks oleks tegemist hea lahendusega, ei leiduks sellele praeguse tehnoloogia juures tarbijaid. Tehnoloogia edasi arenedes ning soojusteguri paranedes muutub see arendusvariant atraktiivsemaks.

Sooja tarbevee kasutajaskonna suurendamine on hea, kuid osaline lahendus probleemile. Kasutajate hulga suurendamine on küll ettevõtte jaoks tasuv projekt aasta lõikes, kuid antud töö spetsiifikale vastates probleemi vaid leevendatakse, kuna nii palju ei suudeta tarbimist suurendada, et saavutada 0-kahjum. Samas on endiselt ka küsitav, kui hästi turunduskampaania töötaks, kui palju uusi kliente leitakse ning kas nad on huvitatud ikka sooja tarbevee kasutamisest, mitte ainult ruumide kütmisest. Kindlasti võib ettevõtte sarnase projektiga proovi teha, kuna kui ka ei saada suvel kasumit, siis tervikuna on tegemist ikkagi majanduslikult tasuva projektiga, millele lisanduvad veel väiksemad heitmed linnas ning potentsiaalselt madalamad küttekulud eramajaomanikele.

Kõige paremaks lahendusvariandiks kaugkütte optimeerimise jaoks on püsiva tarbimisega tööstustarbija liitmine kaugküttevõrku, omades kõige kõrgemat, peaaegu 160% sisemise tulukuse määra. Antud projekti negatiivne pool on see, et on vähetõenäoline, et juhuslikult tuleb täpselt selline ideaalselt kaugkütteeetevõtjale sobiv tööstusettevõtte sobivasse kohta. Pigem tuleb selle jaoks vaeva näha, et selline ettevõtte leida ning meelitada ta Võrusse oma tootmist rajama. Teine võimalus on ise investeerida mingi tööstuse rajamisse, kuid see nõuab täiendavat investeeringut ning siis väheneb selles osas tõenäoliselt suuresti projekti sisemine tasuvuslävi IRR, olenevalt rajatava tööstusettevõtte tulukusest. Sellise tööstusettevõtte rajamine nõuab omaette analüüsi ning mahukat tööd. Kuid kõikide tingimuste sobimise korral on tegemist parima lahendusega kaugkütteeetevõtte suvise kahjumi kaotamiseks. Võrreldes teiste alternatiividega on see ainus projekt, mis on koheselt rakendatav ning millel on eelduste täitmisel ettevõttele positiivne mõju.

KOKKUVÕTE

Käesoleva uurimistöö eesmärgiks oli leida kaugkütte optimeerimisviis, millega vähendada suvise perioodi kahjumit. Kuna kaugküttesüsteemid on dimensioneeritud katma ka kõige külmemate ilmade korral tarbijate soojuse vajadust, siis ainult suvise sooja tarbevee tootmise jaoks on kogu süsteem liialt suur, et kasumlikult opereerida. Kütteperioodi välisel ajal ehk enamasti mai keskelt kuni septembri lõpuni, ületavad kaugkütteeettevõtte muutuv- ja püsikulud müügitulusid. Nii ka Danpower Eesti AS-i Võru kesklinna kaugküttevõrgus, mille põhjal on tehtud töö analüüs.

Võru kesklinnavõrk on 24 MW tiputarbimisega linna põhiline kaugkütteepiirkond, mille aastane tarbimiskogus on ligikaudu 51 000 MWh. Soojusega varustatakse linna peamiselt Võrusoo katlamajast, kus põhikütusena kasutatakse hakkpuitu. Võrusoo katlamaja toetab tipu- ja reservkatlamaja Vabaduse tänaval, kus kütuseks on põlevkiviõli. Suvine katlamaja koormus jääb vahemikku 1,2...2 MW ning keskmine müügikogus on 554 MWh kuus. Selleks et suvekuudel tulud võrduksid muutuvkuludega (0-piirkasum), tuleks keskmist müügikogust suurendada 680 MWh-ni kuus. Selleks, et täielikult kaotada kahjum ehk tulud võrduksid kogukuludega (0-jääktulu), tuleks suurendada müügikogust 1670 MWh-ni kuus.

Kaasaegsel kaugküttemaastikul eksisteerib palju erinevaid tehnoloogiaid ja meetodeid, kuidas kaugkütet parendada. Käesolevas analüüsis võeti aluseks Euroheat & Poweri poolt esitletud prioriteetsed valdkonnad Euroopa kaugkütte arenguperspektiivides ning tehti nende tehnoloogiatest, rakendusmetoodikatest ning kaasnevast lühiülevaade. Seejärel testiti erinevate võimaluste rakendatavust Võru kesklinna võrgu jaoks. Prioriteetsena käsitleti tasuvusanalüüsi ning selle peamist mõõdikut sisemist tasuvusläve IRR 20 aasta jooksul. Selle kõrval vaadeldi ka tehnoloogia rakendamise võimalikkust Võru jaoks ning projektiga kaasnevaid mõjusid.

Analüüsist selgus, et üheselt parimat lahendusvarianti ei leidunud. Kõikidel alternatiividel on mingi põhjus, miks see ei ole kas tasuv või rakendatav. Siiski sai potentsiaalsed projektid jagada kolme gruppi vastavalt nende õnnestumise tõenäosusele: mittedsobivad, osaliselt sobivad ja sobivad. Praegustes oludes on enamik vaadeldud tehnoloogiatest esimeses grupis ehk mittetasuvad või –rakendatavad. Päikesekollektorid on hetkel endiselt liiga kallid, et suures mastaabis tasuvaks osutada ning tehnoloogia suur miinus on tootmise suur perioodilisus nii aasta kui ka ööpäeva lõikes. Pikaajalised ehk hooajalised soojussalvestid

muudab mitte tasuvaks nende suur alginvesteering ning üle 50%-lised soojuskaod. Koostootmine ei sobi Võru linna jaoks madala suvise koormuse tõttu ning seega selle rakendamine vaid suurendab käesolevas töös lahendatavat probleemi. Jäätme põletus vajab suuremat mastaapi või koostootmise rakendamist, samuti on tegemist väga kapitalimahuka jaama ehitamisega, mille jäätmekäitlus vajab suurt tähelepanu. Vesi-vesi soojuspump, mille saaks paigaldada näiteks Tamula järve vee toitele, ei võistle elektrienergia kõrge hinna tõttu praegu kasutusel oleva hakkpuiduga. Tööstusliku jääksoojuse rakendamine kaugküttes on teoreetiliselt väga eelistatud ja hea lahendus, kuid Võru linnas ei eksisteeri sobivat jääksoojuse allikat. Sooja tarbevee tootmisest ehk suvise kaugkütte pakkumisest loobumine ei ole tasuv, kuna ülejäänud aastal jääb seetõttu läbimüük väiksemaks, ega sotsiaalselt vastutustundlik, kuna mitmed tarbijad ei pruugi sellise muudatusega rahul olla.

Sobivaks ja osaliselt sobivaks osutusid lahendused, mille kõigi läbiv mõte on tarbimise suurendamine. Esimene osaliselt sobiv variant on kaugküttele baseeruva jahutuse pakkumine kaubandus- ja äripindadele kasutades selleks absorptsioonjahuteid, mis töötavad kaugküttesoojusel. See on soojusettevõtja jaoks küll kasumlik projekt, kui jahutust müüa selleks tarbitud soojuse hinnaga, kuid sellisel juhul ei ole see tasuv jahutuse tarbijale, kellele on odavam kasutada klassikalist kompressioonjahutust, mis kasutab toiteks elektrit. Teine osaliselt töö probleemi lahendav võimalus on suurendada kaugkütte tarbijaskonda eramajade arvelt, mida hetkel on võrgus vähe. Kui ka ühendada piisavalt eramuid kaugküttega, ei ole neid ikka vajalikul määral, et täielikult kaotada suvine kahjum. Siiski vähendab see kahjumit suvekuudel ning kuna tänu sellele suureneb müük ka talvel, on tegemist siiski tervikuna kasumliku projektiga. Samas on küsitav, kui paljud inimesed on sellest huvitatud ning kui paljud soovivad lisaks ruumiküttele ka sooja tarbevett.

Käsitletud variantidest täidab kõige enam töö eesmärki lahendus, kus kaugkütte tarbimine suureneb stabiilse koormusega tööstustarbija liitumise läbi. Selle lahenduse rakendatavust piirab sellise ettevõtte puudumine Võrus, kuid pakub siiski võimaluse kaugküttesettevõtjal selle nimel edasi töötada, et selline tarbija leida. Ideaalseim tarbija oleks selline, mis kasutab soojust vaid siis, kui vaba võimsust üle on, sest siis ei vajata täiendavat soojuse tootmisvõimsust. Minimaalsele täiendavale müügikogusele kuus (1116 MWh) vastab tarbimine koormusega 1,55 MW. 7-kuusel perioodil, mil on piisavalt vaba võimsust, suureneks müügikogus 7750 MWh. Selliste näitajatega projekt pakub sisemise tulukuse määra $IRR = 158,8\%$. Tegemist on ideaalolukorraga, mille realiseerumine on küsitav, kuna ei pruugita ideaalselt sobivat ettevõtet leida ja/või peab selleks tegema täiendavaid kulutusi.

Kaugkütteettevõttel tasuks edasi uurida sooja tarbevee kasutajate hulga suurendamise ning tööstustarbija liitmise võimalusi. Need pakuvad ettevõttele majanduslikku tulu ning tarbijad, kes lähevad üle õli- või elektriküttelt kaugküttele, võivad kodukulude vähenemise läbi. Kaugkütet tarbiva tööstusettevõtte mõju võib olla positiivne ka ülejäänud tarbijatele, kuna suurenenud müüginahku kaudu võib väheneda üldine soojuse hind. Lisaks loob tööstus tõenäoliselt uusi töökohti ning suurendab piirkonna konkurentsivõimet.

Sooja tarbevee tarbimise laiendusprojektiga saab praktiliselt koheselt alustada. Esmaselt tuleb alustada suhtlust potentsiaalsete uute tarbijatega, et koguda informatsiooni nende küttesüsteemi hetkeolukorrast ja eelistustest. Kogu kampaania läbi viimiseks saab kasutada edukalt Rootsi linna Östersundi eeskujut, kus sarnane kampaania lõppes väga tulemuslikult. Tööstuse leidmisega saab samuti kaugkütteettevõtte koheselt algust teha. Tuleb pidada läbirääkimisi erinevate kohalike institutsioonidega, mis tööstusparkide arendamisega tegelevad. Paralleelselt võib mõelda ka soojusettevõtja ise mõne kõrvalprodukti tootmise peale. Igat laienemise projekti tuleb analüüsida eraldi, vaadeldes konkreetse juhtumi tingimusi. Oluline on jälgida, et kõik projekti osalised sellest võidaksid.

Töö tulemusena sai võrreldud mitmeid olemasolevaid kaugkütte arendusvariante ning seda analüüsi saab edaspidi võtta aluseks kaugküttevõrkude optimeerimisvariante kõrvutades. Eelkõige on sellel väärtus Võru linna kaugkütteettevõttele Danpower Eesti AS-ile, kuid mõningate kohandustega saab esitletud infot edukalt rakendada ka mujal. Töös püstitatud eesmärgid võib lugeda täidetuks, kuna leiti viise, kuidas on võimalik suvist kahjumit nullini viia. Nende kohene rakendatavus Võrus on küll küsitav, kuid tasub kindlasti kaalumist tulevikus või teiste kaugkütte ettevõtjate juures.

SUMMARY

The objective of this thesis was to find a way to optimize the production of district heating so that the loss in the summer period would be minimal. The district heating systems are designed to operate during the coldest weathers and because of this the system is too large to operate profitably for only domestic hot water preparation in the summer. Outside of the heating period, mostly from the middle of May until the end of September, the variable and fixed costs are higher than sales revenues. This is also the case in Danpower Eesti AS's district heating network in the city of Võru, which is the basis of the analysis of this thesis.

The center network in Võru is the largest district heating network in the city, its peak capacity is 24 MW and its consumption about 51 000 MWh per year. The main boiler house is Võrusoo that uses wood chips as the main fuel. Võrusoo boiler house is supported by the peak and reserve boiler house on the Vabaduse Street, where shale oil is used as fuel. The heat output of the boiler houses in the summer is about 1.2 ... 2 MW and the average sales amount is 554 MWh per month. For the revenues to equal the variable costs in the summer, an increase in the average sales amount of up to 680 MWh per month is needed. For totally compensating the loss (revenues are equal to all costs), the sales amount should be increased up to 1670 MWh per month.

In the modern district heating field there are lots of different technologies and methods, how to make the district heating more efficient. In this analysis the most important fields in district heating development in Europe were taken from Euroheat & Powers works and a brief overview of the technologies, applications methods and other important factors was compiled. Then the different possibilities were tested for the center heating network in Võru. The profitability analysis and its main factor internal rate of return (IRR), calculated for 20 years, were handled as priorities. Moreover the realizability of the technology in Võru and the impacts of the project were analyzed.

It was concluded from the analysis that there is no one best solution for the problem. All the alternatives had some reason, why they were not profitable or feasible. Nevertheless it was possible to divide the potential projects in to three groups according to their probability of success: not suitable, partially suitable and suitable. In current conditions most of the viewed technologies are in the first group, i.e. not profitable or feasible. The solar collectors are still too expensive for large scale use and furthermore one big negative factor is the periodicity of

the heat production per day and per year. Seasonal or long-term heat storages are not profitable because of the large initial investment and great heat losses (more than 50%). Combined heat and power (CHP) solutions are not suitable for Võru because of the low heat demand in the summer and because of that the problem of this thesis only increases if CHP is applied. Waste-to-energy solutions need a larger scale or the implementation of CHP, also this technology needs large investments and a lot of attention is needed for the flue gas cleaning and ash disposal. A water-water heat pump that can be installed by Lake Tamula is no competition for the wood chips that are used now, because of the high price of electricity. The use of industrial waste heat is theoretically a preferred and good solution, but in the city of Võru there are no such suitable industrial companies. The ending of the domestic hot water preparation and therefore the ending of district heating supply in summer is also not profitable because the amount of heat sales will get lower all year around. Moreover it's not socially responsible because the consumers may not be satisfied with this change.

The suitable and partially suitable alternatives consist of solutions that all have in common the idea of increasing the heat demand. The first partially suitable solution is to offer cooling to commercial customers that is based on absorption heat pumps that run on heat got from district heating network. This is a profitable solution for the district heating company if the cooling is sold with the price of heat that is used for its production, but it's not profitable for the consumer compared to compression chillers that run on electricity. The second partially suitable solution for solving the problem of this thesis is increasing the heat demand through connecting of private houses with the district heating network which is rarely used. Even if enough private houses are connected to the district heating network, it is still not enough to totally compensate the loss in summer. Nevertheless it decreases the loss in summer and increases the sales in winter too and because of that this project could be profitable. Still the question remains, how many people are interested in connecting with the district heating network and if they only want space heating or domestic hot water also.

From all the analyzed alternatives the goals of the thesis are best solved through connecting a new industrial consumer with stable heat demand to the district heating network. This solution is limited because there is no such industrial company in Võru, but this still gives the opportunity to keep working with the aim of finding a suitable company. An ideal industrial consumer would need heat only then, when there is free boiler capacity, because then there would be no need for an extra boiler. The minimal additional heat consumption per month (1116 MWh) is consistent with the heat load of 1.55 MW. During the 7 month period, when

there is enough free boiler capacity, the heat sales would increase by 7750 MWh. This project has an internal rate of return $IRR = 158.8\%$. It is important to see, that this is an ideal solution, which may not realize as planned because one may not find a suitable company and/or additional investments are needed.

Based on the analysis the best solutions for the district heating company are to continue the analysis for increasing the amount of the domestic hot water consumers and for the connection possibilities of industrial consumers. These projects offer an economical benefit for the company and on the other hand provide the consumers who are using oil or electrical heating, with cheaper heating price. The influence of the industrial consumer can be positive for the other consumers as well because through increased heat sales, the price of heat may decrease. In addition the new industry would probably create new jobs and improve the competitiveness of the area providing both economic and social benefits for the region.

It is possible to start with the project for the expansion of the domestic hot water demand practically right away. First, one should begin conversing with the potential new consumers to find out the situation of their current heating system and to get to know their preferences for heating. The campaign for the expansion could be made using the example of the Swedish city of Östersund, where a similar campaign was very successful. The district heating company can also start looking for suitable industrial consumers right away. One should discuss this topic with the local authorities, who develop local industry areas. At the same time, the district heating company could think about creating a byproduct manufacturing that uses heat. Every expansion project should be analyzed separately in detail using the actual conditions. It is important to assure that all participants would benefit from the project.

As a result, different existing development alternatives were compared and this analysis can be used as basis for other district heating optimization comparisons. This thesis has the most value for the district heating company in the city of Võru, Danpower Eesti AS, but with some small changes it can be applied for other networks as well. The goals of this thesis were fulfilled through the identification of several ways to minimize the loss in summer. It is still arguable if it can be applied in Võru, but it's definitely worth looking into in other networks.

ZUSAMMENFASSUNG

Das Ziel dieser Masterarbeit war solche Optimierungsmöglichkeiten der Fernwärme herauszufinden, die den Verlust des Unternehmens während der Sommerperiode vermindern könnten. Weil die Fernwärmesysteme für die kältesten Tage eingerichtet sind, ist das System für Warmwasseraufbereitung einfach zu groß, um profitabel zu funktionieren. Außerhalb der Heizperiode, d.h. meistens ab Mitte Mai bis Ende September, sind die variablen und fixen Kosten größer als die Verkaufserträge. So ist es auch in der Innenstadtnetz von Danpower Eesti AS in der Stadt Võru, worauf auch die vorliegende Arbeit basiert.

Das Innenstadtnetz in Võru mit Spitzenleistung von 24 MW ist das größte Netz in der Stadt. In diesem Netz wird jedes Jahr ungefähr 51.000 MWh Fernwärme verbraucht. Der größte Teil von Wärme wird in dem Võrusoo Kesselhaus, wo der Hauptbrennstoff Holzhackschnitzel ist, erzeugt. Neben Võrusoo wird für Spitzen und Reserve das Schieferölkesselhaus in Vabaduse Straße benutzt. Das Kesselhaus hat im Sommer die Leistung von 1,2...2 MW und es werden durchschnittlich 554 MWh Wärme pro Monat verkauft. Damit die Erträge im Sommer den variablen Kosten gleich werden könnten, sollte man die Verkaufsmenge auf 680 MWh pro Monat erhöhen. Um den Verlust ganz abzubauen, d.h. die Erträge werden den gesamten Aufwendungen gleich, sollte man die Verkaufsmenge auf 1.670 MWh pro Monat erhöhen.

Heutzutage gibt es viele unterschiedliche Technologien und Methoden, wie man Fernwärme verbessern kann. Die vorliegende Analyse basiert auf den wichtigsten Bereichen in Fernwärmeentwicklung, die von Euroheat & Power herausgegeben worden sind. Über die Technologien, Anwendungsmöglichkeiten und anderen damit zusammenhängenden Themen wurde ein Überblick gegeben. Danach wurde die Anwendbarkeit der verschiedenen Möglichkeiten für das Innenstadtnetz von Võru untersucht - ob die dahin passen und wirtschaftlich sind. Vorrangig wurden die Rentabilitätsanalyse und der interne Zinsfuß (IRR), der für 20 Jahre kalkuliert wurde, behandelt. Daneben hat man auch die Realisierbarkeit der Technologien für Võru und die Nebenwirkungen des Projektes untersucht.

Aus der Analyse ist ersichtlich geworden, dass keine Lösung die beste Lösung ist. Alle Alternativen haben irgendwelchen Grund, warum die nicht profitabel oder anwendbar sind. Doch konnten die potenziellen Projekte in drei Gruppen geteilt werden: nichtpassend, teilweise passend und passend. Im jetzigen Zustand sind fast alle untersuchten Technologien in der ersten Gruppe – nicht profitable oder anwendbar. Die Solarkollektoren sind zurzeit zu

teuer, um im großen Ausmaß rentabel zu sein und ein wichtiger Nachteil der Technologie ist noch die pulsierende Leistung während des Tages und Jahres. Langfristige oder saisonale Wärmespeicher sind wegen großer Investition und wegen Wärmeverluste von über 50% nicht rentabel. Kraft-Wärme-Kopplung passt für Vöru nicht, weil der Wärmebedarf im Sommer zu niedrig ist und dementsprechend wird das Problem dieser Arbeit nur größer. Für Abfallverbrennung ist Vöru zu klein oder man benötigt die Anwendung von KWK und es braucht eine teure Anlage, wobei die Asche- und Abgasentsorgung viel Aufmerksamkeit braucht. Wasser-Wasser Wärmepumpe, die man an Tamula See einrichten könnte, bietet mit hohen Strompreisen keine Konkurrenz zu dem jetzigen Brennstoff Holzhackschnitzel. Theoretisch ist die Nutzung der industriellen Abwärme in Fernwärme eine bevorzugte und gute Lösung, aber in Vöru gibt es keine passende Quelle für Abwärme. Verzicht auf Produktion des Warmwassers d.h. auf Anbieten der Fernwärme im Sommer ist weder rentabel (weil dadurch im Rest des Jahres die gesamte Verkaufsmenge kleiner wird) noch sozial verantwortungsvoll, weil es viel Unzufriedenheit unter den Verbrauchern verursachen kann.

Als passend oder teilweise passend haben sich die Lösungen erwiesen, deren Ziel war, den Wärmebedarf zu erhöhen. Die erste teilweise passende Variante ist das Anbieten der auf Fernwärme basierenden mit Absorptionswärmepumpe erzeugten Kühlung für Gewerbekunden. Dieses Projekt würde für das Fernwärmeunternehmen lohnend sein, wenn die Kälte mit dem Preis von dafür gebrauchter Wärme verkauft wird. In diesem Fall ist es aber für die Kunden, für die es billiger wäre eine klassische mit Strom zu betreibende Kompressionswärmepumpe zu benutzen, nicht rentabel. Die zweite Möglichkeit, die teilweise das Problem der vorliegenden Arbeit lösen könnte, liegt an Erhöhung der Anzahl an Fernwärmeverbraucher in den Privathäusern. Wenn man auch genügend Privathäuser in Vöru ans Netz anschließt, reicht es immer noch nicht aus, um den Verlust im Sommer abzuschaffen. Doch es wird den Verlust in den Sommermonaten verkleinern und weil dadurch der Verkauf im Winter sich erhöhen wird, ist es ein lohnendes Projekt. Dabei ist natürlich fraglich, wie viele Menschen daran interessiert sind und wie viele neben der Heizung auch warmes Wasser möchten.

Von den behandelten Varianten wird am meisten diese Lösung das Ziel der Arbeit erfüllen, bei der der Verbrauch der Fernwärme durch Anschließen der Gewerbeverbraucher mit dem stabilen Bedarf erhöht wird. Die Anwendbarkeit dieser Lösung ist begrenzt, da es in Vöru zurzeit kein solches Unternehmen gibt. Dem Wärmeunternehmen ermöglicht es aber, in dieser Richtung weiterzuarbeiten, um einen passenden Verbraucher zu finden. Ideal wäre solcher

Verbraucher, der die Wärme nur dann braucht, wenn es freie Leistung in den Kesselhäusern gibt, weil dann keine zusätzliche Erzeugungskapazität der Wärme nötig ist. Der minimalen Wärmemengenerhöhung im Monat (1.116 MWh) entspricht die Verbrauchsleistung von 1,55 MW. Während der Periode von 7 Monaten, wenn es genug freie Kesselleistung vorhanden ist, wird der Wärmeverkauf sich um 7.750 MWh erhöhen. Ein Projekt mit diesen Bedingungen hat einen internen Zinsfuß (IRR) von 158,8%. Das ist ein Idealzustand, dessen Verwirklichung fraglich ist, weil das passende Unternehmen möglicherweise nicht gefunden werden kann und/oder man soll dafür zusätzliche Kosten tragen.

Für das Fernwärmeunternehmen lohnt es sich, die Möglichkeiten von Warmwasserbedarfserhöhung und Industriekundenanschluss weiter zu untersuchen. Die Möglichkeiten bieten für das Fernwärmeunternehmen einen wirtschaftlichen Gewinn und die Verbraucher, die Öl- oder Stromheizung durch Fernwärme ersetzen, werden kleinere Hauskosten haben. Industrie, die Fernwärme benutzt, kann einen positiven Einfluss auf die Verbraucher haben, weil es den Wärmepreis wegen höherer Wärmeerzeugung in dem Netz reduzieren kann. Weiterhin bringt die Industrie wahrscheinlich neue Arbeitsplätze und vergrößert die Konkurrenzfähigkeit des Gebiets.

Man kann fast gleich mit dem Warmwasserbedarfserhöhungsprojekt anfangen. Zuerst sollte man mit den potenziellen neuen Kunden Besprechungen durchführen, um über den Zustand des Heizsystemes und deren Vorlieben zu erfahren. Für die Aktion kann als Vorbild die schwedische Stadt Östersund, in der die Kampagne sehr erfolgreich war, genommen werden. Auch mit der Suche nach Industrie kann das Fernwärmeunternehmen gleich anfangen. Man sollte mit lokalen Behörden, die sich mit den Technoparksentwicklungen beschäftigen, besprechen. Daneben könnte das Fernwärmeunternehmen auch darüber denken, ob man selber ein Nebenprodukt herstellen könnte. Für jedes Erweiterungsprojekt sollte man eine separate Analyse machen, bei der die entsprechenden Bedingungen beachtet werden. Es ist wichtig zu berücksichtigen, dass das Projekt für alle Beteiligten nützlich wird.

Als Ergebnis wurden mehrere unterschiedliche Entwicklungsmöglichkeiten für Fernwärme verglichen und diese Analyse kann zukünftig als Basis für weitere Vergleiche von Fernwärmeoptimierungsvariante genommen werden. Die vorliegende Arbeit hat vor allem für Danpower Eesti AS, die das Fernwärmesystem in Võru betreibt, eine große Bedeutung, aber mit einigen Änderungen kann es auch für andere Netze benutzt werden. Man kann sagen, dass die Ziele von dieser Arbeit erfüllt sind, weil einige Möglichkeiten gefunden worden sind, wie

man den Verlust im Sommer abschaffen kann. Deren sofortige Anwendung in Vöru ist zwar fraglich, aber es lohnt sich darüber nachzudenken, ob die für andere Netze anwendbar sind.

KASUTATUD KIRJANDUS

1. Riigikantselei Eelnõude infosüsteem, Kaugkütteseaduse muutmise seadus, <http://eelnoud.valitsus.ee/main#p4ch9TX1>, 26.03.2014.
2. Danpower Eesti AS, Üldinfo, <http://danpower.ee/voru-ettevotest>, 25.03.2014.
3. Hlebnikov, A. Võru kaugkütte võrgu trassilõikude soojuskadude vähenemise potentsiaali hinnang : uurimistöö. Tallinna Tehnikaülikool, Tallinn, 2013.
4. Euroheat & Power, Heat Roadmap Europe 2050 Prestudy I, <http://www.euroheat.org/Downloads-167.aspx>, 16.02.2014.
5. Euroheat & Power, Heat Roadmap Europe 2050 Prestudy II, <http://www.euroheat.org/Downloads-167.aspx>, 16.02.2014.
6. Reinu Reklaamibüroo, Päikeseküttesüsteem, <http://www.rrb.ee/loodusenergia/skin/files/paikesekyttesysteem.pdf>, 23.02.2014.
7. Faniger, G. Combined solar-biomass district heating in Austria. – *Solar Energy*, 2000, 69 (6), 425-435.
8. Xu, J., Wang, R.Z., Li, Y. A review of available technologies for seasonal thermal energy storage. – *Solar Energy*, 2013, <http://dx.doi.org/10.1016/j.solener.2013.06.006>.
9. Eesti Statistikaamet, Statistika andmebaas, <http://www.stat.ee>, 16.03.2014; 01.04.2014.
10. Eesti Energia AS, Iru elektrijaama jäätmeenergiaplokk, <https://www.energia.ee/jaatmeenergiaploki-rajamine>, 23.02.2014.
11. Fortum Tartu, Üldinformatsioon, http://www.fortumtartu.ee/page.php?lang=1&action=show_page&page_id=51, 23.02.2014.
12. Brand, M., Svendsen, S. Renewable-based low-temperature district heating for existing buildings in various stages of refurbishment. – *Energy*, 2013, 62, 311-319.
13. Logstor A/S, The TwinPipe System Overview, https://www.logstor.com/Catalogs/District%20Heating/en/Catalogue/6_0%20TwinPipes.pdf, 25.02.2014.
14. Dalla Rosa, A., Boulter, R., Church, K., Svendsen, S. District heating (DH) network design and operation toward a system-wide methodology for optimizing renewable energy solutions (SMORES) in Canada: A case study. – *Energy*, 2012, 45, 960-974.
15. Friothers AG, Värtan Ropsten – The largest sea water heat pump facility worldwide, with 6 Unitop® 50FY and 180 MW total capacity, http://www.friothers.com/webautor-data/41/vaertan_e008_uk.pdf, 03.03.2014.

16. Mahapatra, K., Gustavsson, L. Influencing Swedish homeowners to adopt district heating system. – *Applied Energy*, 2009, 86, 144-154.
17. Fahlén, E., Trygg, L., Ahlgren, E.O. Assessment of absorption cooling as a district heating system strategy – A case study. – *Energy Conversion and Management*, 2012, 60, 115-124.
18. Heat Pump Centre, Electrical compression cooling versus absorption cooling - a comparison, <http://www.heatpumpcentre.org/en/projects/completedprojects/annex24/Documents/Annex24ArticleNewsletter18.4.pdf>, 18.04.2014.
19. Alver, J., Reinberg, L. Juhtimisarvestus: Teine, täiendatud väljaanne. Tallinn: Deebet, 2002.
20. Raudsepp, V. Finantsjuhtimise alused: Ettevõtte rahandus. Tallinn: Külim, 1999.
21. Riigikontroll, Kontrolliaruanne „Riigi tegevus soojusvarustuse jätkusuutlikkuse tagamisel“, <http://www.riigikontroll.ee/tabid/206/Audit/2169/Area/4/language/et-EE/Default.aspx>, 31.03.2014.
22. State of Green, Gram District Heating, <http://www.stateofgreen.com/en/Profiles/SolarCAP/Solutions/Gram-District-Heating>, 09.03.2014.
23. Solar Energy Partners, Investment Overview, <http://solareenergypartners.co.uk/investment-overview>, 10.05.2014.
24. SpiraxSarco, Energy Consumption of Tanks and Vats, <http://www.spiraxsarco.com/resources/steam-engineering-tutorials/steam-engineering-principles-and-heat-transfer/energy-consumption-of-tanks-and-vats.asp>, 10.05.2014.
25. Võru linn, Võrusoo tööstusala detailplaneeringu ja eskiislahenduse ja keskkonnamõju strateegilise hindamise programmi avalikustamine, <http://voru.ee/index.php?Menu=98&ID=78>, 13.04.2014.
26. Eesti Jõujaamade ja Kaugkütte Ühing, Kaugküte – mugav, tõhus ja soodne, http://epha.ee/images/docs/Kaugkutte_teatmik_EJK.pdf, 20.04.2014.
27. Kliimakeskus.ee, Konditsioneerid, <http://www.kliimakeskus.ee/?p=konditsioneerid>, 18.04.2014.
28. Võru linn, Võrus avas ukсед Kagu-Eesti suurim kaubanduskeskus - Kagukeskus, <http://www.voru.ee/?Menu=2&ID=1036>, 18.04.2014.

LISA 1: VÕRU KESKLINNA KAUGKÜTTEVÕRGU KAART