



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
MEHAANIKATEADUSKOND

Soojustehnika instituut

MSJ70LT

Anton Rohusalu

**Kaugkütte lõpptarbijate parameetrite mõju kaugküttevõrgu
efektiivsusele AS Tallinna Kütte näitel ning nende parendamine**

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..... juhendamisel

“.....”201...a.

Töö autor

..... allkiri

Töö vastab magistritööle esitatavatele nõuetele.

“.....”201...a.

Juhendaja

..... allkiri

Lubatud kaitsmisele.

..... õppekava kaitsmiskomisjoni esimees

“.....”201... a.

..... allkiri

TTÜ soojustehnika instituut
MAGISTRITÖÖ ÜLESANNE

2014 aasta kevadsemester

Üliõpilane: Anton Rohusalu 111764
Õppekava MASM02/09
Eriala Soojusenergeetika
Juhendaja: dotsent Aleksandr Hlebnikov
Konsultandid: (nimi, amet, telefon)
.....

MAGISTRITÖÖ TEEMA:

„Kaugkütte lõpptarbijate parameetrite mõju kaugküttevõrgu efektiivsusele AS Tallinna Kütte näitel ning nende parendamine“

"Influence of district heating end-user parameters on efficiency of district network in AS Tallinna Kütte and improvement of them"

Lõputöös lahendatavad ülesanded ja nende täitmise ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Täitmise tähtaeg
1.	Algandmete kogumine	31.02.14a
2.	Tutvumine programmiga Termis	31.03.14a
3.	Kaugküttevõrgu mudeli täiendamine	15.04.14a
4.	Tutvumine programmiga Danfoss Hexact	31.04.14a
5.	Töö koostamine	31.05.14a

Lahendatavad insenertehnilised ja majanduslikud probleemid:

Leida kaugkütte lõpptarbijate tarbimise ning tagastuva võrguvee parameetrite mõju Tallinna Kütte kaugküttevõrgule.

Täiendavad märkused ja nõuded:.....

Töö keel: Eesti keel

Kaitsmistaotlus esitada hiljemalt 12. Mai 2014 **Töö esitamise tähtaeg**.....

Üliõpilane Anton Rohusalu /allkiri/ kuupäev.....

Juhendaja Aleksandr Helbnikov /allkiri/ kuupäev.....

Sisukord

Sisukord.....	4
Eessõna.....	7
1. Sissejuhatus.....	8
2. Mudeli kirjeldus.....	9
2.1. Mudeli ühendusskeem kütteperioodil.....	9
2.2. Mudeli ühendusskeem suveperioodil.....	9
2.2 Mudeli ilmastik.....	11
2.2.1 Kütteperioodi ilmastik.....	11
2.2.2. Suveperioodi ilmastik.....	12
2.3. Mudeli torustiku kirjeldus.....	12
2.4. Mudeli tarbijate kirjeldus.....	16
2.5. Mudeli võrdlus reaalse kaugküttevõrguga.....	19
2.6. Mudeli maksimaalsed ja minimaalsed väärtused [6] [7].....	22
3. Tarbimise vähenemisest tingitud soojuskao.....	23
3.1 Euroopa Liidu energiatõhususe kava.....	23
3.2 Passiivmajade levik Euroopas.....	24
3.3 Liigsoojuse suurenemine Tallinna elamutes seoses suurenenud elektritarbele.....	26
3.4 Hoonete energiatarbimise vähenemine Tallinna kaugküttevõrgus tänu renoveerimisele ..	27
3.5. Renoveerimise näited, paralleeltootmine.....	31
3.5.1. Õismäe tee 11.....	31
3.5.2. Sõpruse pst 202.....	32
3.6 Soojuse tarbimise prognoos Eestis [25].....	33
3.6 Hinna kujunemine.....	34
3.7 Keskmise elektri hind.....	36
3.8 Mudeli arvutus.....	36

3.8.1 Kütteperioodi mudel.....	36
3.8.2. Suveperioodi mudel.....	38
3.9. Kulutused pumpamisele	38
3.10. Kaalutud keskmise kao leidmine.....	40
3.11. Tarbimise vähenemisest tingitud hinna tõusu arvutus	41
3.12. Järeldused soojuse tarbimise parameetrite vähenemise mõjudest.....	45
4. Lõpptarbijate tagastuva võrguvee mõju võrgu kadudele	47
4.1 Hetke olukorra kirjeldus.....	47
4.2. Mudeli arvutus.....	48
4.2.1 Kütteperioodi arvutus	48
4.2.1 Suveperioodi arvutus.....	50
4.3. Tagastuva vee parameetrite parendamine ning selle maksumus.....	51
4.3.1 Hetkel kasutusel olevad keskmised soojusvahetite suurused.....	52
4.4 Parameetrite parendamine ning parendamise maksumus.....	53
4.4.1 Suveperioodi parameetrite parendamine ning parendamise maksumus.....	53
4.4.2 Parendatud sooja tarbevee kaalutud keskmise leidmine kütteperioodil üheastmelisele soojussõlmele	57
4.5 Kaheastmelise soojussõlme parendamine	58
4.6 Vahetuse maksumus	61
4.7 Kütte soojusvaheti kasutamine kütteperioodi välisel ajal sooja tarbevee tootmiseks paralleelselt sooja vee vahetiga	61
4.8 Järeldus tagastuva kütteevee temperatuuri langetamisest	62
4.8.1 Säästetud soojuse hulk üheastmeliste soojussõlmedega	63
4.8.2 Säästetud soojuse hulk kaheastmeliste soojussõlmedega.....	64
Kokkuvõte	65
Summary	67
Lisa 1	69
Lisa 2	71

Lisa 3	73
Kasutatud kirjandus.....	75

Eessõna

Antud magistritöö aluseks on võetud A.Volkova, V.Mašatini, A. Hlebnikovi ja A.Siirde teadustöö „Methodology for Optimisation of Large District Heating Networks“ („Suurte kaugküttevõrkude optimeerimise meetoodika“).

Autor avaldab tänu kõigile kes aitasid antud töö valmimisel.

1. Sissejuhatus

Antud magistritöö ülesanne on selgitada välja, kui palju mõjutavad kaugkütte soojuskadusid lõpptarbijate tarbimise parameetrid.

Teema aktuaalsus on seotud Euroopa Liidu kavaga vähendada liidu territooriumil tekitatud kasvuhoonegaaside hulka.

Suuremate hoonete renoveerimistoetuste najal on väga paljud tarbijad vähendanud oma kaugkütte soojuse tarbimist. Samuti on toetatud erinevatest fondidest vanade kaugküttetorustike asendamist uute ja säästlikumate eelisoleeritud torustike vastu.

Kuid kõigi toetuste valguses on kaugkütte parameetrid ning nende parendamine jäänud tahaplaanile.

Antud töö püüab selgitada välja parameetrite parendamise mõistlikust ning tasuvust.

Probleemile vastuse saamiseks on kasutatud kaugkütte parameetrite modelleerimise programmi Termis. Antud programmiga on koostatud kaugkütte mudel. Mudel oli algselt koostatud Tallinna Kütte AS režiimiosakonna poolt 2011 aastal, kuid antud töö jaoks on mudelit täiustatud arvestades vahepeal teostatud renoveerimise töid.

Soojusvahetite arvutamisel on kasutatud Danfoss Hexact programmi.

Magistritöö võib jagada kolme ossa.

Esimeses osas kirjeldab Tallinna Kütte kaugküttevõrgu reaalsel olukorda ning Termis programmis koostatud mudelit, võrdleb arvutimudeli võrku tegeliku kaugküttevõrguga.

Teises osas räägib Euroopa Liidu energiatõhususe kavast, soojuse tarbimise vähenemisest Eestis ning kaugküttesoojuse tarbimise vähenemisest tingitud soojuskadude kasvust.

Kolmas osa keskendub trassi soojuskadude vähendamise võimalusele tagasivoolu temperatuuri vähendamise abil ning antud meetodi tasuvusele.

2. Mudeli kirjeldus

2.1. Mudeli ühendusskeem kütteperioodil

Kütteperioodi mudelis on Kesklinna, Kopli ja Mustamäe piirkonna võrgud eraldatud Lasnamäe võrgust Laagna PJ kaudu.

Mustamäe ja Õismäe võrgud on omakorda lahtiühendatud Kristiine KM Mustamäe piirkonna poolsest otsast nii, et Mustamäe KM annab soojust Õismäe ja Mustamäe rajoonidele. Kristiine KM töötab koos Laagna PJ-ga kes kütavad Kopli, Kristiine ja Kesklinna rajoonid. Vão EJ ja Iru EJ kütavad Lasnamäe ja Maardu rajoonid, samas andes soojust ka Laagna PJ soojusvahetitele.

Vão EJ hoiab stabiilset soojusväljastust 62 MW peal, Iru EJ soojusväljastust hoiab ligikaudu 50 MW juures, ehk jäätmeploki võimsusel. Kristiine KM, Mustamäe KM ja Laagna PJ võimsused muutuvad vastavalt vajadusele. [1]

Vão EJ hoiab Laagna PJ rõhkude vahet 1 bar peal. Laagna PJ hoiab rõhkude vahet Randla 6-es 0,8 bar-i peal. Mustamäe KM hoiab oma rajoonis rõhku Tammsaare 49-s 0,8 bar-i erinevusega.

Lasnamäel kasutatakse kahest DN1200 läbimõõduga magistraalidest ainult ühte.

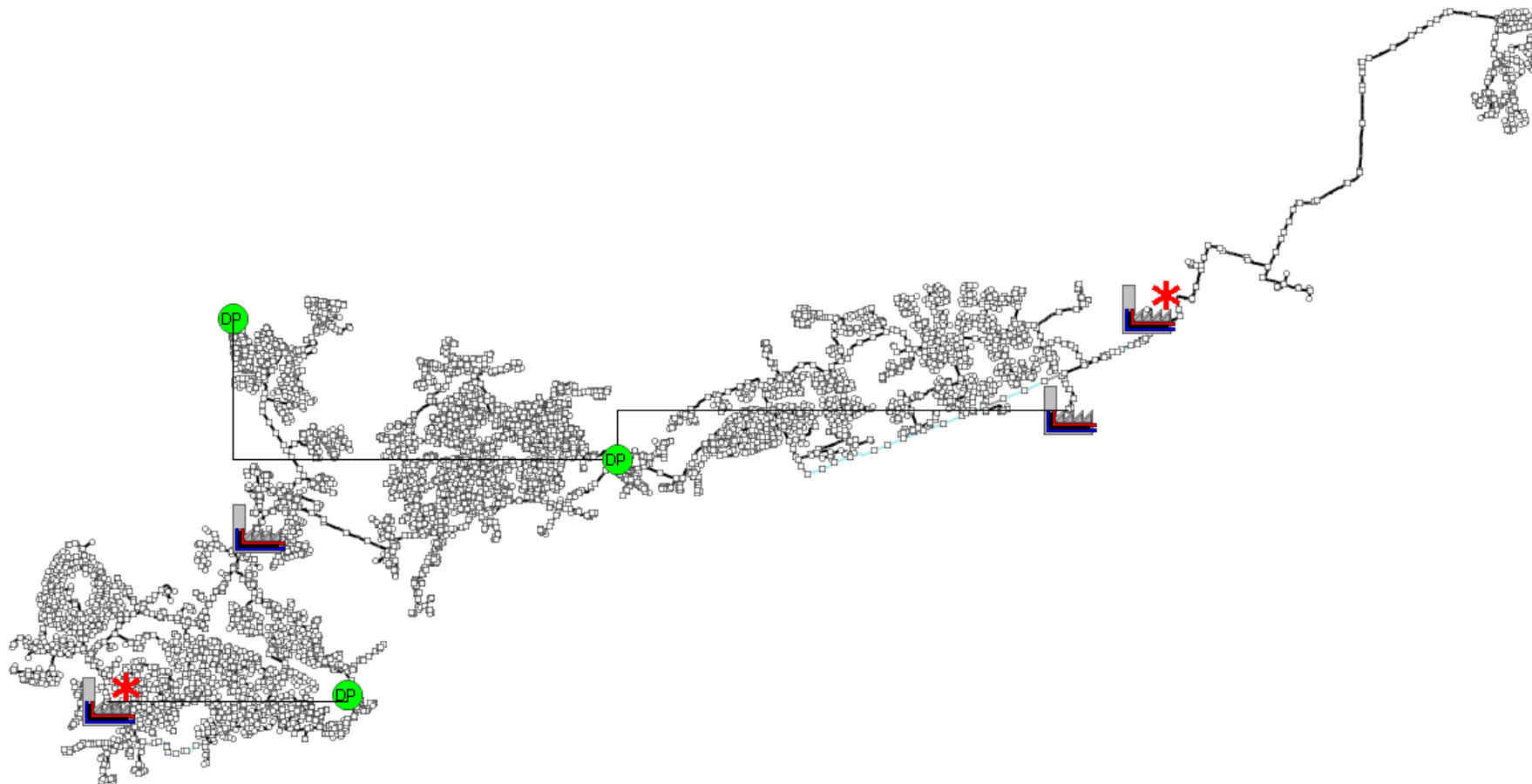
2.2. Mudeli ühendusskeem suveperioodil

Suveperioodi mudelis on kõik võrgud omavahel ühendatud ning Laagna PJ-as on avatud DN600 ülejooks.

Töötavad ainult Mustamäe KM ja Vão EJ. Vão EJ annab ligikaudu 60 MW soojust, Mustamäe KM soojusväljastus on muutuv.

Võrgu rõhku reguleeritakse ainult Mustamäe KM poolt punktis Tammsaare 49, kus hoitakse 0,6 bar-ist rõhkude erinevust.

Lasnamäel kasutatakse samuti nagu kütteperioodil ühte DN 1200 magistraali, teine magistraal on reservis.



Sele 1. Termis mudel Tallinna Kütte kaugkütte võrgu kohta kütteperioodil

2.2 Mudeli ilmastik

2.2.1 Kütteperioodi ilmastik

Mudeli keskmise välistemperatuuri määramisel oli valitud keskmine välisõhutemperatuur Tallinnas 8 kütteperioodi kuu kohta, alates 2008. aastast kuni 2013 aasta lõpuni. [2]

	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Jaauar	-0,5	-2	-11	-3,5	-4,7	-4,4
Veebruar	1,3	-4,3	-7,7	-9,6	-8,1	-2,4
Märts	0,7	-0,7	-1,8	-1	0,2	-5,9
Aprill	6,4	5,4	4,9	5,3	4,4	3,1
September	10,5	13,6	11,6	13,1	12,4	12,1
Oktoober	8,9	5	4,5	8,2	6,2	7,5
November	3,1	2,8	0,5	5	3,3	4,5
Detsember	0,4	-3,9	-6,2	2	-6,7	2,3

Tabel 1. Keskmised temperatuurid Tallinnas kütteperioodil

Aritmeetiline keskmine temperatuur antud andmete põhjal oleks ligikaudu +1,76 °C. Välisõhu temperatuur mõjutab mudeli arvutamisel ainult soojustorustiku õhutrasside soojuskadusid. Majade soojustarbimine ei olene antud mudeli puhul välisõhu temperatuurist, vaid iga hoone kohta on eelnevalt arvatatud nende keskmine soojustarbimine antud temperatuuril. Samuti ei mõjuta see väärtus maa-aluseid kanalis torustikke – neid ümbritseva pinnase temperatuuriks on seatud 4,4 °C peale.

2.2.2. Suveperioodi ilmastik

	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Mai	10,2	10,8	11,0	10,2	10,8	11,7
Juuni	14,3	13,5	13,8	16,8	12,6	16,9
Juuli	16,7	16,9	21,5	20,1	17,7	17,6
August	15,4	16,1	17,7	16,6	15,2	16,7

Tabel 2. Keskmised temperatuurid Tallinnas suveperioodil [2]

Antud temperatuuride aritmeetiline keskmine on 15,03 °C. Samuti nagu kütteperioodi arvutuses mõjutab see ainult õhutrasse, kanalis asetsevad torustikud arvutatakse sama moodi nagu kütteperioodil.

2.3. Mudeli torustiku kirjeldus

Torustiku mudel on ülesehitatud 2011 aastal Tallinna Kütte AS kaugküttetorustiku järgi. Mudelile on viidud sisse aastatega toimunud muudatused ja parandatud suuremate rekonstrueeritud lõikude soojustorustike tüübid – näiteks on kaasajastatud mudelis Gonsiori magistraal.

DN m	Õhutrass km	Kanalis, keldris km	Eelisolereitud km
1,2	0,73	12,43	0,00
1,0	0,01	1,25	0,89
0,9	0,88	0,00	0,24
0,8	0,87	3,38	3,49
0,6	8,71	6,14	3,97
0,5	3,32	8,61	1,59
0,4	2,28	11,30	3,52
0,35	1,00	2,30	0,12
0,3	0,48	10,83	6,40

0,25	1,22	11,48	6,18
0,2	1,47	22,03	14,74
0,15	2,29	33,53	13,06
0,125	0,78	21,91	11,04
0,1	2,38	36,81	13,29
0,08	0,79	43,61	12,73
0,07	0,32	18,01	16,24
0,05	1,03	17,73	14,45
≤0.04	0,16	2,48	5,18
Kokku :	28,72	263,82	127,12
Protsent :	6,8 %	62,9 %	30,3 %

Tabel 3. Tallinna Küte AS torustiku indikatiivsed suurused

Torustiku soojuskadude arvutamisel kasutatakse eelisoleeritud torustike korral torustike tootjate kataloogide väärtusi.

Nõukogude ajal ehitatud torustike soojuskadude arvutamiseks kasutatakse nõukogude normatiivseid soojuskadude väärtusi, mida saab arvutada alljärgneva valemi abil: [3]

$$\frac{\dots}{\dots} \quad (1)$$

kus,

- torustiku normatiivne soojuskadu W/m
- pealevoolu torustiku normatiivne soojuskadu W/m
- tagasivoolu torustiku normatiivne soojuskadu W/m
- torustiku normatiivne soojuskadu 90 °C juures vt Tabel
- torustiku normatiivne soojuskadu 50 °C juures vt Tabel
- keskmine pealevoolu temperatuur °C
- keskmine tagasivoolu temperatuur °C
- keskmine pinnase temperatuur °C

DN	välisdiam	kkal/m·h		W/m	
		90 °C	50 °C	90 °C	50 °C
25	32	32	20	37	23
32	38	34	21	40	24
40	45	37	23	43	27
50	57	40	25	47	29
70	76	45	29	52	34
80	89	49	31	57	36
100	108	54	34	63	40
125	133	60	37	70	43
150	159	65	42	76	49
200	219	79	51	92	59
250	273	90	60	105	70
300	325	100	68	116	79
350	377	107	76	124	88
400	426	121	82	141	95
450	478	132	91	154	106
500	529	142	101	165	117
600	630	163	114	190	133
700	720	181	125	211	145
800	820	200	141	233	164
900	920	218	155	254	180
1000	1020	240	170	279	198
1200	1220	270	200	314	233

Tabel 4. Torustiku normatiivne soojuskadu meetri kohta 90 °C ja 50 °C juures

Termilise erikao leidmiseks kasutab valemit : [4]

$$\text{---} \quad (2)$$

Kus,

– termiline erikadu W/m·K

Saadud termiliste erikadude väärtused korrutab teguriga β , mis väljendab soojuskadu läbi armatuuri osade, liugtugede, kompensaatorite jm.

(3)

Teguri β väärtused :

- Harutorustik ja väiksema läbimõõduga trassid, millede läbimõõt on väiksem kui DN400 $\beta = 1,15$
- Magistraalitorustikud, läbimõõt suurem kui DN400 $\beta = 1,25$

Termis programm lubab kõiki väärtusi korrutada ükskõik mis teguriga. Kuna arvutustulemused ei väljenda aastatega halvenenud isolatsiooni, pidi režiimigrupp leidma teguri millega korrutada torustike termilist erikadu, et see vastaks tegelikele mõõtmistulemustele. Antud teguriks valiti $k=1,22$.

Pealevoolu temperatuuril 75 °C, tagasivoolu temperatuuril 45 °C ning pinnase temperatuuri 4,4 °C korral on normatiivsed termilised erikaod järgmised :

DN	dvälis	W/m	W/m°C	$\beta \times W/m°C$	$k \times W/m°C$
25	32	55,93	0,50	0,58	0,71
32	38	59,16	0,53	0,61	0,74
40	45	64,54	0,58	0,67	0,82
50	57	69,92	0,63	0,72	0,88
70	76	79,60	0,72	0,82	1,00
80	89	86,05	0,77	0,89	1,09
100	108	94,65	0,85	0,98	1,20
125	133	104,34	0,94	1,08	1,32
150	159	115,09	1,03	1,19	1,45
200	219	139,83	1,26	1,45	1,77
250	273	161,34	1,45	1,67	2,04
300	325	180,70	1,63	1,87	2,28
350	377	196,84	1,77	2,04	2,49

400	426	218,35	1,96	2,45	2,99
450	478	239,86	2,16	2,70	3,29
500	529	261,38	2,35	2,94	3,59
600	630	297,95	2,68	3,35	4,09
700	720	329,14	2,96	3,70	4,51
800	820	366,79	3,30	4,12	5,03
900	920	401,21	3,61	4,51	5,50
1000	1020	441,01	3,97	4,96	6,05
1200	1220	505,54	4,55	5,68	6,93

Tabel 5. Normatiivsed termilised erikaod 75/45/4,4 °C juures ja teguriga k

Soojustorustike torude sisepinna kareduseks on vanade torude puhul 0,5 mm ja 0,2 mm uute eelisoleeritud torustike korral.[3]

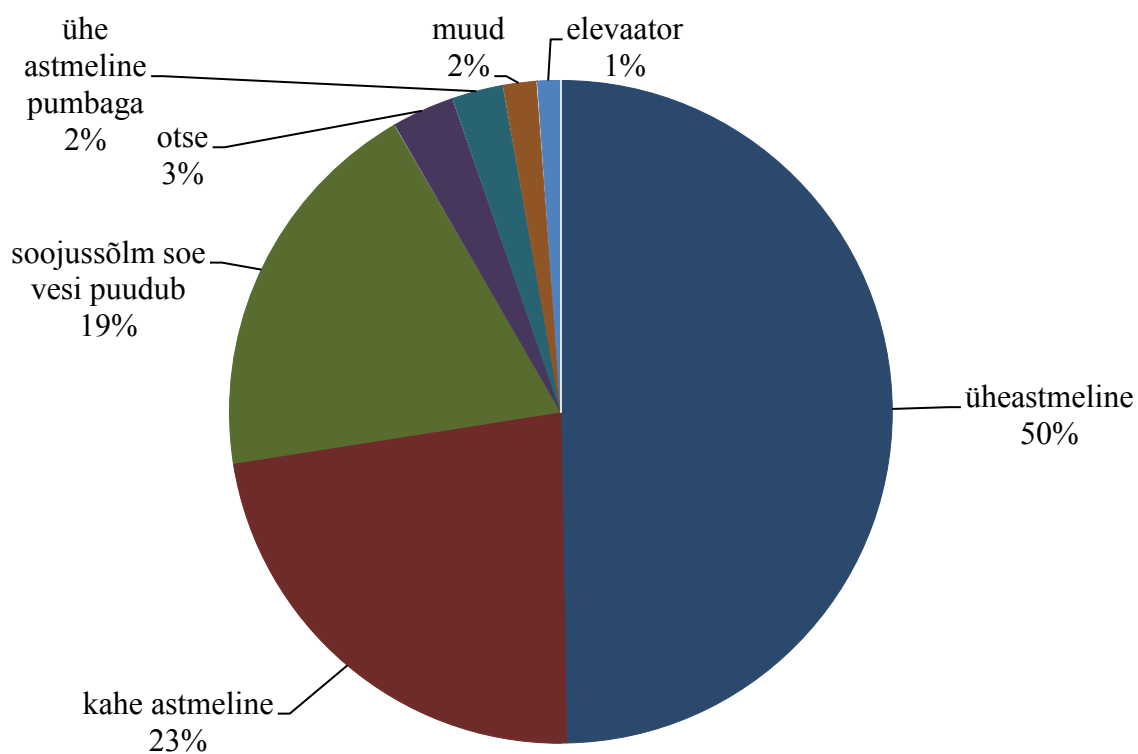
2.4. Mudeli tarbijate kirjeldus

Mudeli tarbijate arvutuslikud soojuskoormused pärinevad Tallinna Kütte andmebaasist. Andmebaasi pidevalt uuendatakse seoses hoonete renoveerimisega.

Soojussõlme tüüp	Arv	Protsent %
üheastmeline	1973	50
kahe astmeline	904	23
soojussõlm soe vesi puudub	756	19
otse	122	3
ühe astmeline pumbaga	99	2

muud	65	2
elevaator	48	1

Tabel 6. Tallinna Küte AS sojussõlmede jaotus tüüpide järgi



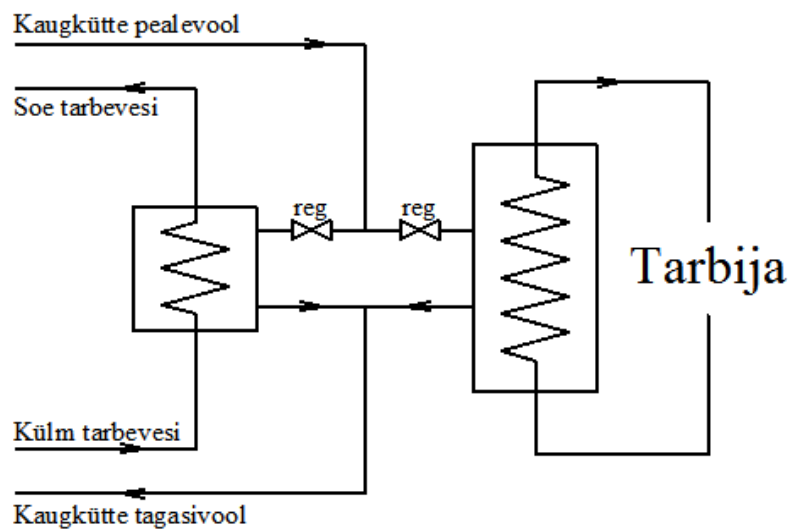
Graafik 1. Tallinna Küte AS sojussõlmede jaotus tüüpide järgi

Mudeli tarbijate sojussõlmedena eristatakse kolme erinevat liiki sojussõlme :

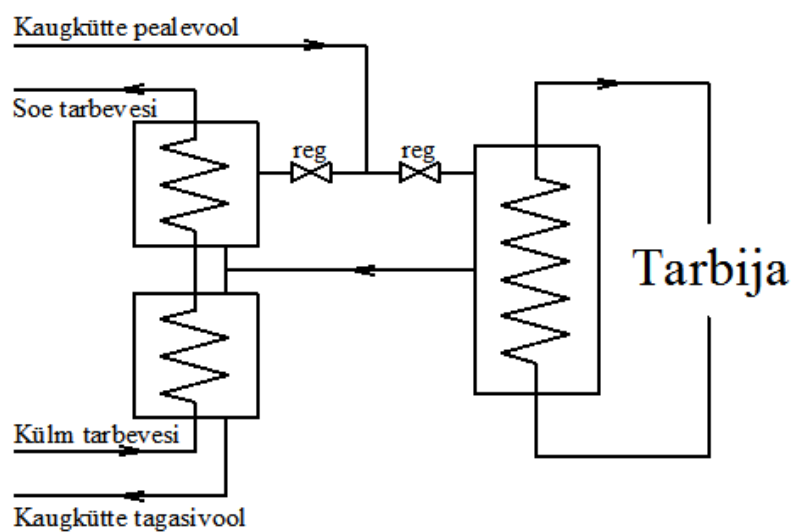
2-astmeline plaatsoojusvaheti – sojussõlm on varustatud kahe astmelise sooja tarbevee soojusvahetiga.

1-astmeline plaatsoojusvaheti – sojussõlm on varustatud ühe astmelise sooja tarbevee soojusvahetiga.

sojussõlm ilma sooja veeta – tarbija ei kasuta kaugkütte soojust tarbevee soojendamiseks.



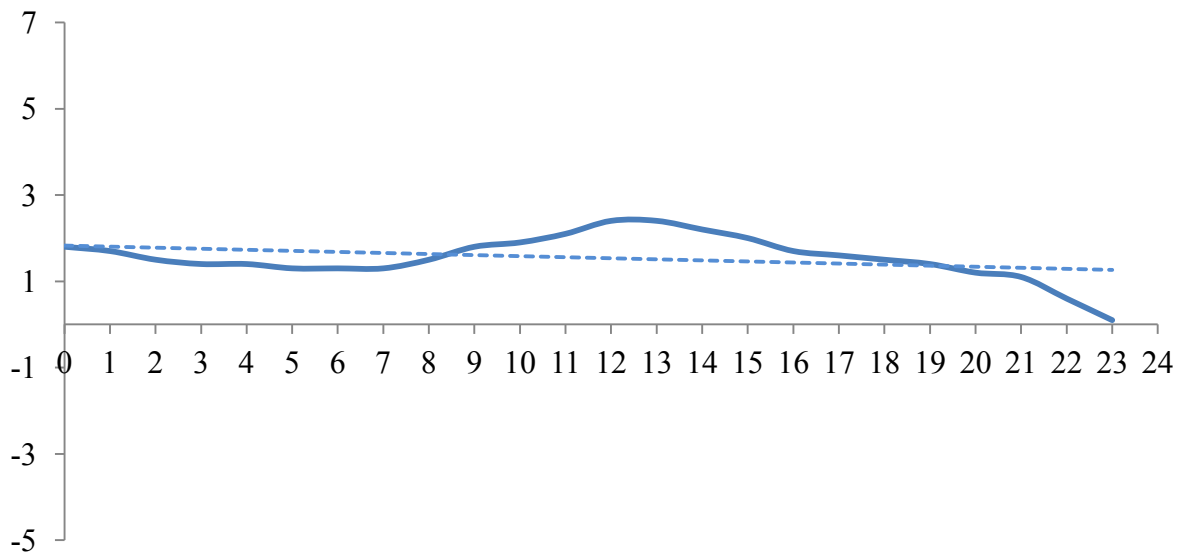
Skeem 1. Üheastmelise sojussõlme põhimõtteline skeem



Skeem 2. Kaheastmelise sojussõlme põhimõtteline skeem

Tarbijate keskmise peale ja tagasivoolu temperatuuride vahe leidmiseks tuli analüüsida Tallinna Küte AS inspektor-konsultantide poolt kogutud soojusarvestite käsiterminalide lugemeid. Analüüsamiseks sobisid ainult need tarbijad kelle soojusarvestid arvestasid tarbimist päevade kaupa ning asuksid omavahel enam-vähem samas rajoonis, et pealevoolu temperatuuri erinevus ei oleks liiga suur ning näidud oleksid võetud umbes samal ajal. Valitud tarbijad jaotab kahte gruppi : ühe- ja kaheastmeliste sojussõlmedega tarbijad.

Valib päeva, mille keskmine välistemperatuur oleks võimalikult lähedane mudelis valitud välistemperatuurile, selliseks päevaks sobib 10. veebruar 2014a., mil välistemperatuur Tallinnas oli keskmiselt 1,55 °C. [5]



Graafik 2. 10 veebruar 2014a. Tallinna välisõhu temperatuur.

Antud tarbijad on väljatoodud Lisa 1-es.

Analüüsi tulemusena saab keskmiseks peale ja tagasivoolu temperatuuride vaheks üheastmelistel sõlmedel 32,5 °C ning kaheastmelistel 34,6 °C.

Algväärtuste saamiseks on mudel seadistatud nii, et kaheastmeliste soojussõlmede pealevoolu ja tagasivoolu temperatuuride vahe Δt on 35 °C, üheastmelistel soojussõlmedel on see 33°C ning kõigil ülejäänutel arvutab programm ise Δt vastavalt hoone tarbitavale võimsusele, minimaalsele rõhkude vahele jm.

2.5. Mudeli võrdlus reaalse kaugküttevõrguga

Kontrollimaks mudeli vastavust reaalsusele kasutab soojustarbimise andmeid vahemikus alates 2010. aastast kuni 2013. aasta lõpuni. Antud andmed on väljatoodud Lisa 2-es. Arvestab ka leketest tingitud soojuskadudega, mis kütteperioodil on keskmiselt 0,2 kuni 0,5

protsenti. Leketest tingitud soojuskaod lahutab toodetud soojusest, kuna mudel ei arvesta torustikul esinevaid lekkeid.

Lekkiva vee keskmise temperatuuri leidmiseks võtab 2013. aasta keskmised temperatuurid milledeks on pealevoolul 77,5 °C ning tagasivoolul 45,4 °C. Ajavahemikul 2006. kuni 2014. aastani on kaugküttevõrgus toimunud pealevoolul 701 ning tagasivoolul 182 leket ehk 79,4% juhtudest on lekkinud pealevool ning 20,6% tagasivool. Lihtsustades arvutust ja eeldades, et pealevoolu ja tagasivoolu lekkes on ligikaudu samasuguse iseloomu ja lekkekaoga võib leida keskmise kaalutud lekke temperatuuri :

$$\frac{\sum_{i=1}^n T_{p,i} \cdot N_{p,i} + \sum_{j=1}^m T_{t,j} \cdot N_{t,j}}{\sum_{i=1}^n N_{p,i} + \sum_{j=1}^m N_{t,j}} \quad (4)$$

Kus,

- keskmine pealevoolu temperatuur °C
- pealevoolu soojustorustikul juhtunud lekete arv aastatel 2006 kuni 2014
- keskmine tagasivoolu temperatuur °C
- tagasivoolu soojustorustikul juhtunud lekete arv aastatel 2006 kuni 2014
- lekete arv kokku aastatel 2006 kuni 2014

Mudelis kasutab ühendusskeemi kus Mustamäe ja Õismäe on teistest võrkudest eraldatud. Laagna pumbajaam hoiab rõhkude vahet 0,8 bar Kopli soojusvõrgu kaugemas punktis Randla BJ. Mustamäe KM hoiab rõhkude vahet 0,8 bar oma kaugeimas ja kõrgeimas punktis – Tuisu tänava rajoonis. Antud skeem on kirjeldatud punktis 2.1.

Soojuse tootjate temperatuurideks valib Lisa 3-es väljatoodud normatiivsed temperatuurid välisõhutemperatuurile 2 °C.

	Võimsus MW	pealevoolu temperatuur
Mustamäe KM	muutuv	75
Kadaka KM	40	75
Laagna BJ	muutuv	72
Väo EJ	58	78
Iru EJ	muutuv	78

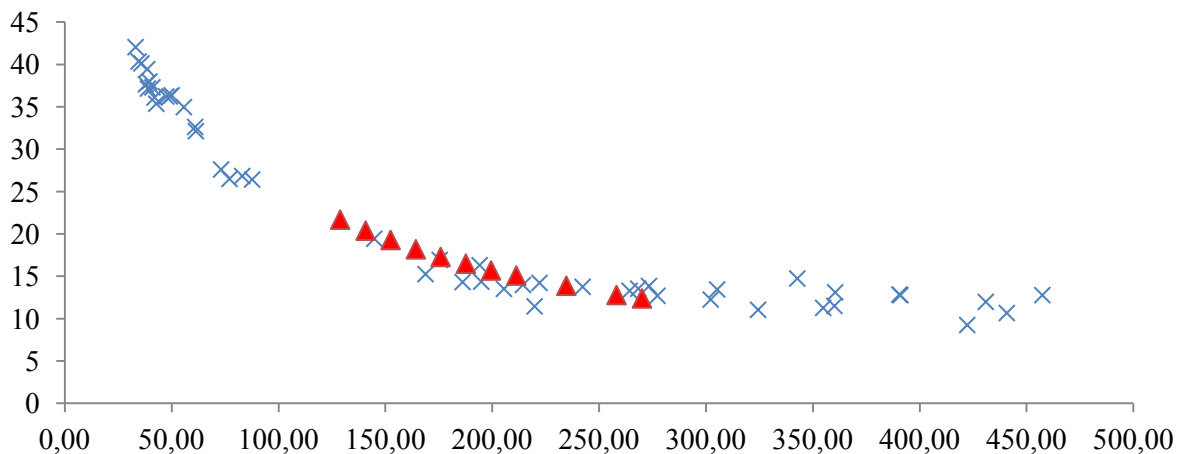
Tabel 7. Mudeli soojustootjate temperatuurid ja võimsused

Viib läbi simulatsiooni Termis programmis. Võttes aluseks 1,7 °C juures arvutusliku soojuskoormuse ning seejärel suurendades ja vähendades seda mõnekümne protsendi võrra saame referentspunktide. Neid punkte võrdleb tegelike andmetega võrgu kohta.

	keskmine väljastatud võimsus MW	keskmine tarbitud võimsus MW	Kaod %
Arvutuslik +15%	308,2	270,1	12,4
Arvutuslik +10%	296,2	258,2	12,8
Arvutuslik	272,5	234,7	13,9
Arvutuslik -10%	248,7	211,3	15,1
Arvutuslik -15%	236,8	199,5	15,7
Arvutuslik -20%	224,8	187,7	16,5
Arvutuslik -25%	212,7	175,9	17,3
Arvutuslik -30%	200,9	164,3	18,2
Arvutuslik -35%	188,9	152,5	19,3
Arvutuslik -40%	176,9	140,8	20,4
Arvutuslik -45%	164,6	128,9	21,7

Tabel 8. Mudeli tulemused suurendatud ja vähendatud tarbimisel

Tabelist võib näha, et üle 15% arvutuslikust tarbimisest antud temperatuuride juures programm enam ei suutnud lahendust pakkuda.



Graafik 3. Reaalne keskmine tarbitud võimsus ja sellele vastav kadu ning mudelis arvatud keskmine tarbitud võimsus ning kadu

Graafikult võib näha, et mudelis arvatud kaod, mis on märgitud punaste kolmnurkadega, hakkavad võimsuse vähenedes tõusma natukene kiiremini kui reaalsed kaod ning samas hakkavad langema kui võimsus suureneb. See oli ootuspärane, kuna mudeli arvutustel oli kasutusel kogu aeg ainult üks välisõhu temperatuur 1,7 °C. Selle tõttu olid õhutrasside kaod mudelis suuremad väiksematel koormustel kui reaalses elus, sest koormuse vähenemine reaalse keskmise tarbitud võimsuse puhul on tingitud üldjuhul välisõhu temperatuuri tõusust, mille tõttu reaalsed õhutrasside kaod vähenevad. Koormuse tõusul aga reaalsed õhutrasside kaod suurenevad tänu madalamale välistemperatuurile, kuid mudelil nad niivõrd ei suurene.

Graafiku alusel võib väita et mudel vastab suhteliselt täpselt reaalsusele ning seda võib kasutada järgnevate analüüside koostamiseks.

2.6. Mudeli maksimaalsed ja minimaalsed väärtused [6] [7]

Väikseim rõhkude vahe kontrollpunktides :

- Randla 6 BJ : 0,8 bar
- Tammsaare 49 : 0,8 bar

Mustamäe katlamaja :

- maksimaalne soojuslik võimsus 416 MW

- võrguvee maksimaalne pumpamise hulk 3750 m³/h

Kristiine katlamaja :

- maksimaalne soojuslik võimsus 295 MW
- võrguvee maksimaalne pumpamise hulk 3750 m³/h

Iru elektrijaam :

- maksimaalne soojuslik võimsus 698 MW
- võrguvee maksimaalne pumpamise hulk 3300 m³/h

Tallinna (Väo) elektrijaam :

- maksimaalne soojuslik võimsus 62 MW
- võrguvee maksimaalne pumpamise hulk 2300 m³/h

Laagna pumbajaam :

- võrguvee maksimaalne pumpamise hulk 3000 m³/h

3. Tarbimise vähenemisest tingitud soojuskaod

3.1 Euroopa Liidu energiatõhususe kava

Euroopa juhid võtsid endale kohustuse 2020. aastaks säästa 20 % primaarenergia tarbimises, vähendada kasvuhoonegaaside heitkoguseid 20 % võrra ning viia taastuvenergia kasutamist 20 % osatähtsusele. Antud meetme abil loodetakse vähendada Euroopa Liidu (EL) sõltuvust importenergiast ja –energiakandjatest, parandada liidu tarnekindlust läbi primaarenergia tarbimise kahanemisele, suurendada tööstussektori konkurentsivõimet, luua töökohti mitmes energiatõhususega seotud sektoris ning leevendada mõju kliimamuutusele. [8]

2020. aasta kava on osa suuremast kavast „Konkurentsivõimeline vähese CO₂-heittega majandus aastaks 2050“, mis näeb ette energiasektori kasvuhoonegaaside heitmete vähendamist vähemalt 80 % aastaks 2050 võrreldes 1990 aastaga.[9]

Energiatõhusus ja säästmine on kõige ökonoomsem ja kiirem viis süsihappegaasi- jt heidete vähendamiseks ja varustuskindluse suurendamiseks. Energiasääst on varustuskindluse tagamisel peamise tähtsusega, näiteks 20 %-lise energiasäästu eesmärgi täitmisel säästetakse sama palju energiat, kui annaksid viisteist Nabucco torujuhet. [10] [11]

Elu- ja ärihoonete energiakasutus on väga oluline kava täitmiseks, kuna see moodustab ligikaudu 40 % kogu EL-i lõppenergia tarbimisest ja 36 % kogu EL-i tekitatud süsinikdioksiidi heitkogusest. 2008. aasta seisuga kulutõhus energiasäästu potentsiaal aastaks 2020. on 30 % võrra väiksem energiakasutus. Ligi kaks kolmandiku elumajade kasutatavast energiast kulub ruumide kütmiseks. [8] [12]

Alates 2019. aastast peab avalike hoonete energiatarbimine olema võrdne liginullenergiahoonete tarbimisega. Ning alates 2020. aastast peavad kõik uusehitised olema liginullenergiahooned.

Liginullenergiahoone on hoone, mille direktiivi järgi määratud energiatarbimine on väga suur. Nullilähedane või väga väike nõutava energia kogus peaks olulisel määral pärinema taastuvatest energiaallikatest, sealhulgas kohapeal või lähiümbruses taastuvatest energiaallikatest toodetud energiast.

Liikmesriigid peavad kehtestama riiklikud kavad liginullenergiahoonete arvu suurendamiseks. Nimetatud riiklikud kavad võivad sisaldada eri liiki hoonete puhul erinevaid eesmärke. [13]

Praegused energiasäästu alased suundumused EL-i liikmesriikides, aga näitavad et eesmärkide täitmine 2020. aastaks on tõsisel ohus. 2008. aastal prognoositi võimalikuks energiasäästuks kõigest 13 % [8]. Praeguse edasimineku juures saavutatakse 2020. aastaks sellest eesmärgist vaid umbes pool ehk ligikaudu 10 % [10].

3.2 Passiivmajade levik Euroopas

Passiivmaja defineeritakse kui hoonet, milles kõrget mugavust tagavat temperatuuri hoitakse nii talvel kui suvel äärmiselt väikese energiavajadusega. Kõrge siseõhu kvaliteet ja soojuslik mugavus tagatakse ruumide neto küttevajaduse juures vähem kui 15 kWh/(m² · a) ja

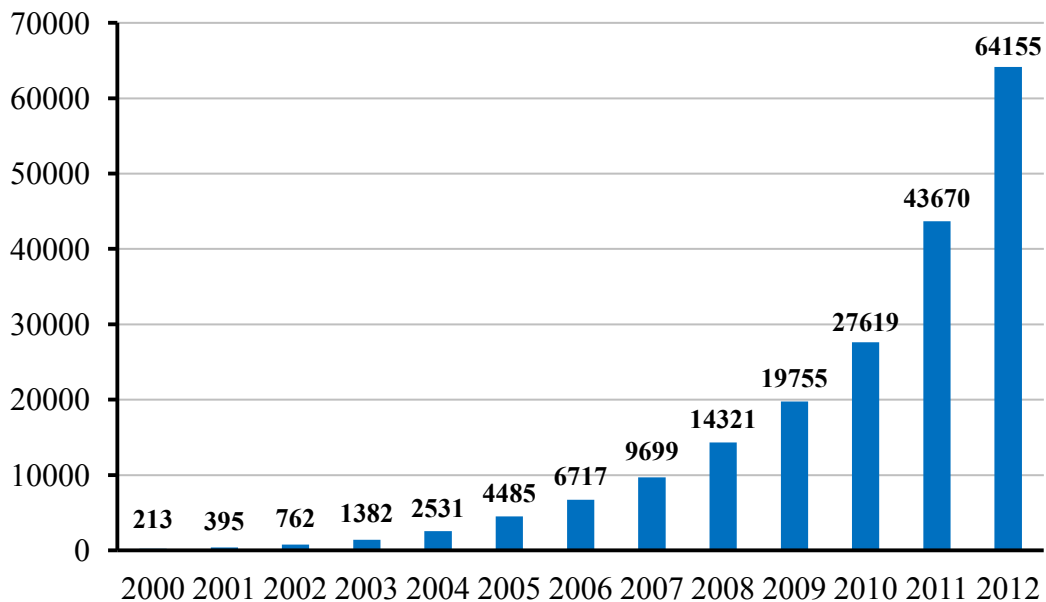
primaarenergiavajaduse juures, mis sisaldab ka sooja vee ja majapidamisseadmete energiavajaduse, alla 120 kWh/(m² · a).

Eluhoonete passiivmajastandardi saamiseks tuleb arvutuslikult tõendada järgmiste kriteeriumide täitmine:

Ruumide neto küttevajadus – alla 15 kWh/(m² · a)

Rõhutesti n₅₀ näitaja – alla 0,6 l/h

Primaarenergiavajadus - alla 120 kWh/(m² · a) [14]



Graafik 4. Passiivmajade arv Euroopa kümnes riigis

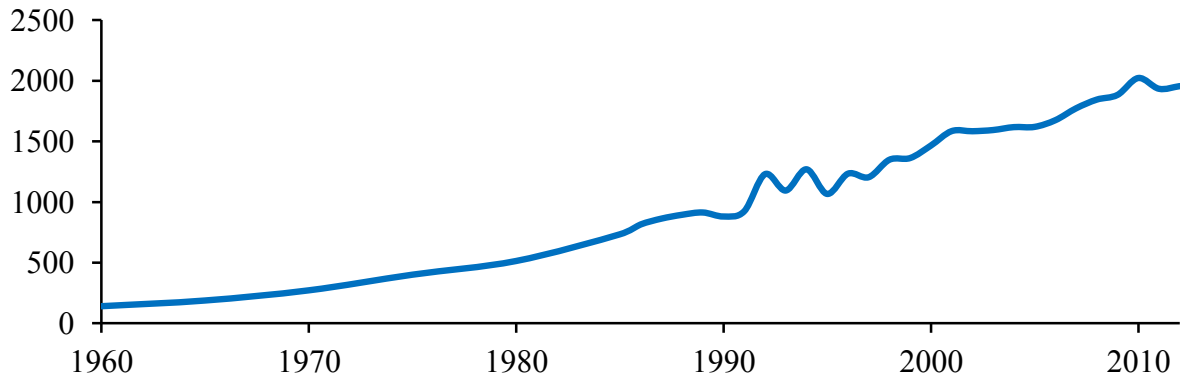
Ülal äratoodud graafikul 4 on esindatud kümne Euroopa riigi statistika – Austria, Saksamaa, Rootsi, Belgia, Tšehhi, Slovakkia, Rumeenia, Sloveenia, Ühendkuningriigid, Horvaatia. Aastad 2011 ja 2012 on prognoos.

Antud tüüpi hoonete levik on riigiti väga erinev, ligi 90% graafikul esitatud hoonetest on ehitatud Austrias ja Saksamaal. [15]

Erinevalt nullenergiahoonetest vajavad passiivmajad energiat sooja vee tootmiseks, sel juhul oleks võimalik seda toota kaugkütte abil.

3.3 Liigsoojuse suurenemine Tallinna elamutes seoses suurenenud elektritarbele

Elektri tarbimine Eesti majapidamistes on aasta-aastalt tõusnud.



Graafik 5. Elektri tarbimine Eesti kodumajapidamistes GWh [16]

1960	1965	1970	1975	1980	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996
141	188	272	401	514	734	815	863	895	914	881	924	1230	1095	1270	1067	1234
1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	
1205	1349	1363	1466	1585	1584	1594	1618	1620	1675	1773	1845	1884	2023	1934	1956	

Tabel 9. Elektri tarbimine Eesti kodumajapidamistes GWh [16]

1996. aastal teostatud Statistikaameti leibkondade energiatarbimise uuringu kohaselt tarvitati linnades 758 GWh elektrienergiat, sealhulgas Tallinnas oli tarbimine 323 GWh, mis on 42,6 % kõigi linnade tarbimisest. 2012. aastal samasuguse uuringu ajal, mis kasutas 2010 aasta rahvaloenduse andmeid, enam Tallinna linna tarbimist eraldi ei toodud välja, kuid kasutades lihtsustatud eeldust, et linnade energiatarbimine on aja jooksul kasvanud sarnaste proportsioonidega võime kasutada 1996 aasta Tallinna elektri tarbimishulga suhet teistesse linnadesse. 2010 aastal tarbiti linnades kokku 1291 GWh elektrit – seega Tallinnas tarbiti 42,6 % sellest, mis on võrdne ligikaudu 550 GWh.

Seega Tallinna elektritarbimine on 14 aastaga tõusnud 227 GWh, mis on keskmiselt 16,2 GWh aastas. [17] [18]

Tänu suurenenud elektritarbimisele suureneb liigsoojuse tase elamutes, mis omakorda vähendab kaugkütte soojuse tarbimist.

Mitmed Euroopa Liidu riikides läbiviidud uuringud on näidanud, et elektrienergia tarbimise suurenemine leibkonna kohta ei tähenda, et elektrit ei hoita kokku. Eelkõige kasvab elektrienergia tarbimine elektriseadmete arvu kasvu tõttu. [18]

Seadme nimetus	Aasta		Muutus
	1996	2010	
Arvuti	3,2	68,0	64,8
Mikrolaineahi	11,0	61,0	50,0
Pesumasin	52,1	89,0	36,9
Elektripliit	47,8	72,0	24,2
Külmkapp	89,7	99,0	9,3
Sügavkülmik	11,7	16,5	4,8

Tabel 10. Enimlevinud elektriseadmete varustatus leibkondades 1996. ja 2010. aasta võrdlus protsentides ning muutus [17] [18]

Elektrienergia tarbimise kasv ei ole tingitud elektrikütte kasutamisest, kuna elektrikütte osakaal teiste küteliikide juures on jäänud peaaegu samaks või isegi veidi kahanenud – 2000. aastal kasutas elektrikütet Tallinnas 8109 ja 2011. aastal 7912 leibkonda. [19] [20]

3.4 Hoonete energiatarbimise vähenemine Tallinna kaugküttevõrgus tänu renoveerimisele

Tallinna Kütte AS-il on 2014a. seisuga 3684 tarbijat, neist 515 ehk 13,9 % on registreeritud teostanud renoveerimise töid nagu enamiku akende vahetust või välispiirete täielik või osaline soojustamine.

Kraadpäevade arvu Tallinnas määrab valemiga : [21]

$$(5)$$

Kus,

– kraadpäevade arv °C·d

- päevade arv
- arvestuslik sisetemperatuur (tasakaalutemperatuur) °C
- i-nda päeva välistemperatuur °C
- = 1 , kui
- = 0 , kui

Arvestuslikuks sisetemperatuuriks ehk tasakaalutemperatuuriks valib 17 °C, kuna arvestab ka liigsoojusest tingitud temperatuuri tõusu.

2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
4055	3977	3800	3761	3573	3999	4606	3801	4323	3853

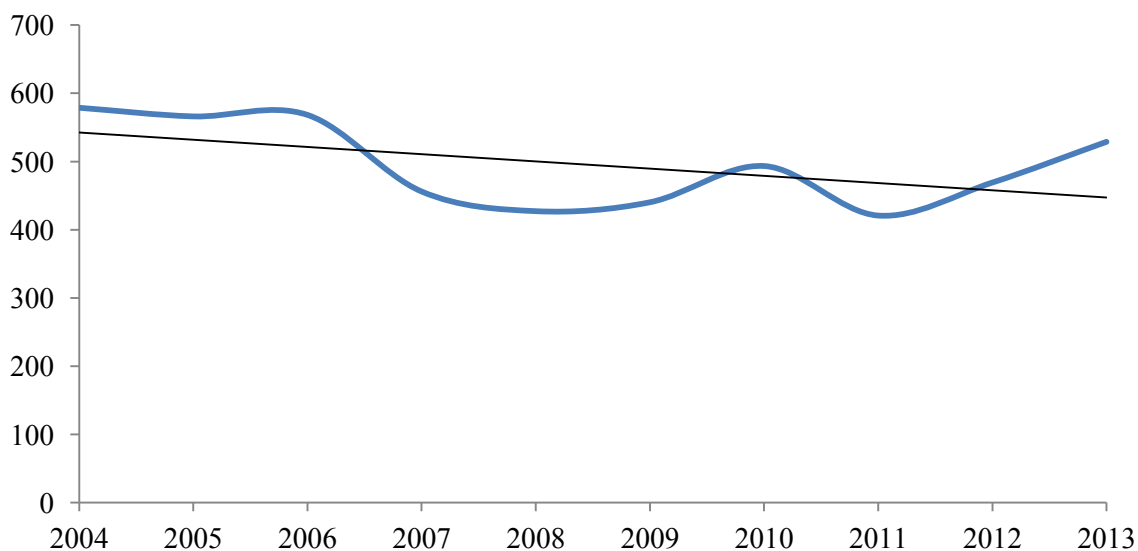
Tabel 11. Kraadpäevade arv Tallinnas tasakaalutemperatuuril 17 °C [22]

Normaalaasta soojuskasutust arvutab valemiga :

$$— \quad (6)$$

- normaalaasta soojuskasutus MWh
- tegeliku aasta soojuskasutus MWh
- normaalaasta kraadpäevade arv (lihtsad kraadpäevad)
- tegeliku aasta kraadpäevade arv
- kraadpäevadest sõltumatu soojuskasutus MWh

Kuna spordiasutustel, lasteaedadel ja koolidel on väga muutuv väärtus , siis normaalaasta soojuskasutust arvutab ainult kortermajadele. Kortermajadest omakorda valib need hooned kus kasutatakse sooja tarbevee tootmiseks kaugkütte soojust, sellisel juhul on teada sooja tarbevee tootmiseks minevat soojushulka. Tarbevee soojendamiseks kuluva soojushulga väärtuseks valib juuli kaugkütte soojuse tarbimise.



Graafik 6. Tarbimise vähenemine Tallinna Kütte kaugküttevõrgus MWh

Lineaarse geomeetrilise keskmise järgi võib näha, et soojuse tarbimine aastatel 2004 kuni 2013 Tallinnas on vähenemise tendentsiga.

Selleks, et leida keskmise renoveerimise mõju hoone tarbimisele valib suvaliselt mõnikümmend renoveeritud maja, millel on vähemalt kõik välisseinad soojustatud. Võrdleb nende majade keskmist aritmeetilist normeeritud aasta soojustarbimist enne ja pärast renoveerimist.

Address	Ren. aasta	Kesk.enne MWh	Kesk.pärast MWh	%
Akadeemia tee 54	2009	366,15	295,16	-19,4
Astangu 34	2008	355,35	285,13	-19,8
Astangu 54	2008	559,04	440,43	-21,2
Astangu 66	2010	559,64	458,28	-18,1
Ehitajate tee 117	2008	274,02	250,64	-8,5
Ehitajate tee 17	2010	281,97	253,39	-10,1
Kadaka tee 159	2008	581,65	446,69	-23,2
Kolde pst 96	2008	436,92	336,33	-23,0
Kärberi 37	2007	752,12	575,89	-23,4
Lastekodu 16	2009	1185,83	1040,91	-12,2
Lastekodu 22	2011	639,83	510,97	-20,1

Mustamäe tee 171	2007	518,10	407,02	-21,4
Mustamäe tee 149a	2008	414,72	302,32	-27,1
Paldiski mnt 171	2007	512,92	272,78	-46,8
Pihlaka 22	2010	458,17	333,80	-27,1
Puhangu 55	2009	407,31	262,41	-35,6
Sõle 33	2010	645,17	482,49	-25,2
Sõle 37	2010	644,51	522,07	-19,0
Tammsaare 103	2010	985,44	687,35	-30,2
Tammsaare 107	2006	984,35	737,97	-25,0
Tammsaare 61	2009	705,16	445,62	-36,8
Õismäe tee 20	2009	604,92	447,79	-26,0
Õismäe tee 3	2009	512,60	354,72	-30,8
Õismäe tee 51	2011	754,80	444,99	-41,0
Õismäe tee 82	2009	589,51	455,43	-22,7
Õismäe tee 89	2010	227,18	146,30	-35,6
			Keskmine:	-25,0

Tabel 12. Renoveerimisest tingitud soojuse tarbimise vähenemine.

Tabelist võib näha, et soojuse tarbimine pärast korralikumat renoveerimist väheneb keskmiselt 25 %.

3.5. Renoveerimise näited, paralleeltootmine

3.5.1. Õismäe tee 11



Foto 1. Renoveeritud Õismäe tee 11 korterelamu Tallinnas

Tervikrenoveerimine ning paigaldatud päikeseküte sooja vee tootmiseks 2013 aastal.

Aasta	MWh	Erikasutus kWh/m² aastas	vee soojendus kWh/m² aastas	en.klass [23]
2013	126	85	19	A
2012	196	126	61	C
2011	197	133	62	C
2010	237	146	70	C
2009	257	170	85	D

2008	255	183	73	D
2007	269	186	66	D
2006	281	190	69	D
2005	295	197	74	D
2004	313	208	85	E

Tabel 13. Õismäe tee 11 soojuse tarbimine aastate lõikes [24]

3.5.2. Sõpruse pst 202



Foto 2. Renoveeritud Sõpruse pst 202 korterelamu

Tervikrenoveerimine 2013. aastal. Hoone on varustatud ventilatsioonitagastus soojuspumpadega, mis kütavad maja kuni 0 °C välistemperatuurini, pärast seda kasutatakse kaugkütet. [24]

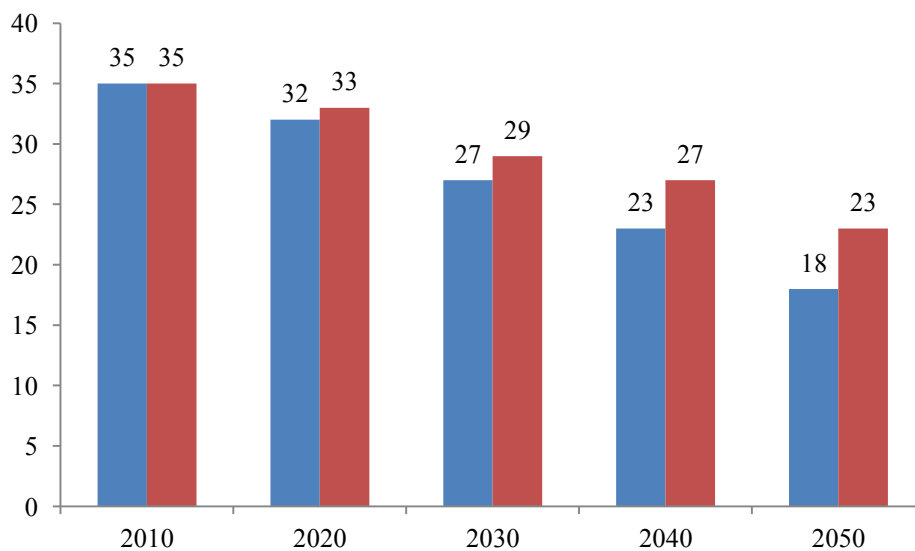
Aasta	MWh	Erikasutus kWh/m ² aastas	vee soojendus kWh/m ² aastas	en.klass [23]
2013	722	77	13	A
2012	1 711	172	58	D
2011	1 673	179	52	D
2010	1 953	184	52	D
2009	1 765	184	62	D
2008	1 674	192	62	D
2007	1 760	191	65	D
2006	1 805	192	61	D
2005	1 838	193	59	D
2004	1 937	203	60	E

Tabel 14. 2013 aastal tervik-renoveeritud korterelamu Sõpruse pst 202

3.6 Soojuse tarbimise prognoos Eestis [25]

Eesti Arengufondi kaks prognoosi Eesti soojuse tarbimisele:

- Baasstsenaarium, kujutatud alloleval graafikul punaste tulpadena
- Energiaefektiivne stsenaarium, kujutatud siniste tulpadena



Graafik 7. Soojustarbimise prognoos kodumajapidamistes, PJ

3.6 Hinna kujunemine

Tarbimise langemise mõju finantsiliseks hindamiseks on tarvis teada kuidas kaugkütte hind kujuneb.

	Tuh. EUR	%
Tooraine kulu (kütuse kulu)	52 290	40.28
Edasimüüdud kaupade ja teenuste kulu (soojuse ost)	52 354	40.33
Remondi ja hoolduskulud	2 023	1.56
Transpordi- ja autokütuse kulu	319	0.25
Õhusaastemaks	522	0.40
Tööjõukulu	2 190	1.69
Amortisatsiooni kulu	5 225	4.03
Muud kulud - valve, konsult., kinnisvara korrashoid jne	6 913	5.33
põhjendatud tulukus	7 970	6.14

Tabel 15. Tallinna Kütte hinnakomponendid 2012 aasta majandusaasta aruande põhjal. [26]

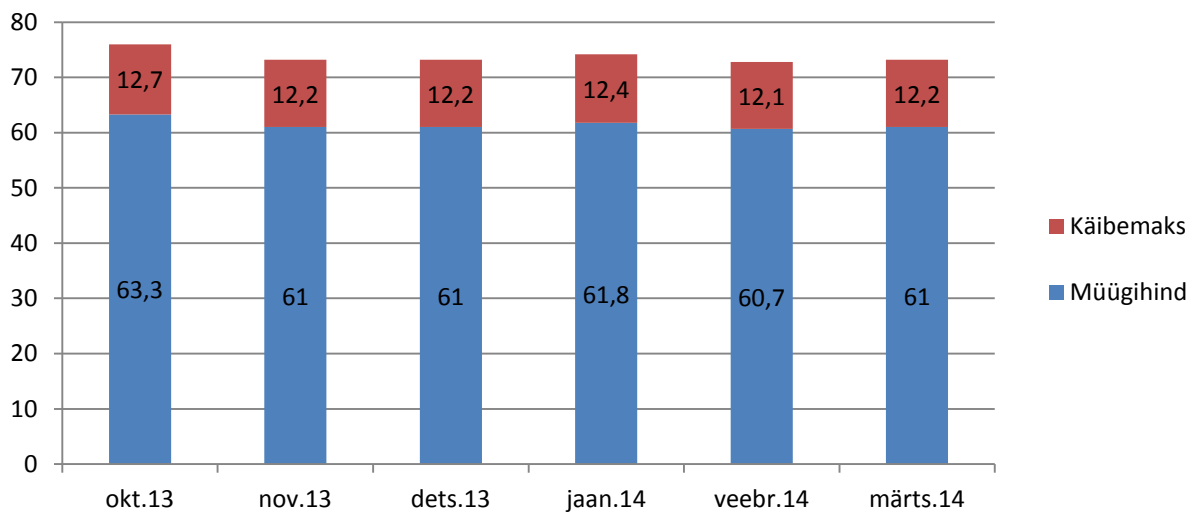
Tabelist võib näha, et muutuvkulud moodustavad ligikaudu 80% hinnast.

Aasta	Kadu %
2013	13,6
2012	13,8
2011	14,3
2010	13,6
2009	13,3
2008	13,6
2007	14,4
Keskmine :	13,8

Tabel 16. Kaalutudkeskmise reaalse kadu Tallinna Kütte soojusvõrkudes kütteperioodil

Aasta	Kadu %
2 013	38,4
2 012	38,6
2 011	39,9
2 010	38,9
2 009	37,7
2 008	32,7
2 007	35,3
Keskmine :	37,3

Tabel 17. Kaalutudkeskmine reaalne kadu Tallinna Kütte soojusvõrkudes suveperioodil



Graafik 8. Soojuse kuue kuu müügihind 2013/2014 aastatel ühe MWh kohta.

Võttes aritmeetiliseks keskmiseks hinnaks 61,4 Eurot/MWh , arvutab kütusele ja soojuse ostule kulunud osa :

$$(7)$$

Teades muutuvkomponentide osa, korrutab seda kadude suurusega ehk 13,8% :

$$(8)$$

Ehk iga tarbitud MWh eest läheb 6,77 Eurot soojuskadudeks.

3.7 Keskmise elektri hind

Elektri hinda on tarvis teada pumpamise kulude ligikaudseks arvutamiseks ning selle abil saab määrata kaugkütte konkurentsivõimelisust elektrikütte vastu. Kaugkütte konkurentsivõime on ammendunud sel juhul kui kaugkütte 1 MWh soojuse hind on võrdne elektrikütte 1 MWh hinnaga. Antud juhul eeldab, et kütteseadmete soetamise maksumus on nii kaugkütte kui elektrikütte puhul võrdse väärtusega.

Võtab arvesse antud hinna komponendid:

- Börsi keskmine hind alates 2013a algusest [27]
- Elektrimüüja keskmine juurdehindlus 6% [28]
- Käibemaks 20%
- Elektri aktsiis 0,0045 €/kWh [29]
- Taastuvenergia tasu 0,0077 €/kWh [29]
- Võrguteenus 0,0364 €/kWh [29]

Keskmiseks elektri hinnaks saab 100,66 €/MWh. Kütteperioodil on see 99,7 €/MWh. Lihtsustamise mõttes arvestab keskmiseks elektri hinnaks kodutarbijale 100 €/MWh. Tööstustarbijale on elektri hind keskmiselt 25% odavam [30], seega tööstustarbijatele on hinnaks ~87 €/MWh.

3.8 Mudeli arvutus

3.8.1 Kütteperioodi mudel

Kütteevee algsed väljundtemperatuurid tootmisüksustele valin Lisa 3-est vastavalt välisõhu temperatuurile 2 °C :

Tvõ	IRU ja Tallinna EJ-d	Laagna PJ, Spordi KM	Mustamäe, Kristiine ja Ülemiste KM-d
2	78	72	75

Tabel 18. Välisõhule vastavad väljundtemperatuurid °C

Stsenaariumis kasutab ühendusskeemi mis on kirjeldatud punktis „2.1. Mudeli ühendusskeem“. Piirangud vastavalt punktile „2.6. Mudeli maksimaalsed ja minimaalsed väärtused“. Iru EJ väljundvõimsust püüab hoida ligikaudu 50 MW vähendades Kristiine KM võimsust vajadusel.

Arvutuse tulemused on väljatoodud alljärgnevas tabelis:

	Tootmine	Realiseerimine	Kadu PV	Kadu TV	Kadu	Läbivool
	MW	MW	MW	MW	%	tonni/h
Alg	272,9	234,7	24,4	13,7	14,0	7 268,6
Alg -5%	261,1	223,0	24,4	13,6	14,6	6 899,2
Alg -10%	249,1	211,2	24,3	13,5	15,2	6 526,9
Alg -15%	237,2	199,5	24,3	13,4	15,9	6 158,6
Alg -20%	225,3	187,8	24,2	13,2	16,6	5 789,4
Alg -25%	213,3	176,0	24,1	13,1	17,5	5 416,3
Alg -30%	201,1	164,2	24,0	12,9	18,4	5 050,2
Alg -35%	189,2	152,5	23,9	12,7	19,4	4 683,6
Alg -40%	177,2	140,8	23,8	12,5	20,5	4 314,9
Alg -45%	164,9	129,1	23,6	12,1	21,7	3 939,6
Alg -50%	152,7	117,3	23,5	11,9	23,2	3 587,4

Tabel 19. Termis programmiga arvatatud parameetrite muutused seoses soojustarbimise vähenemisega kütteperioodil keskmiselt

3.8.2. Suveperioodi mudel

Tvõ	Tallinna EJ Vão	Laagna PJ	Mustamäe KM
15	75	72	75

Tabel 20. Suveperioodil valitud tootmisüksuste temperatuurid

Stsenaariumis kasutab ühendusskeemi mis on kirjeldatud punktis „2.2. *Mudeli suvine ühendusskeem*“. Piirangud vastavalt punktile „2.6. *Mudeli maksimaalsed ja minimaalsed väärtused*“.

Soojust toodavad ainult Vão EJ ja Mustamäe KM.

Kütteperioodi välisel ajal on soojustarbimine suhteliselt ühtlane, soojust tarbitakse enamjaolt sooja tarbevee tootmiseks. Kui välja arvata paralleeltootmine, siis renoveerimine suuremalt jaolt ei mõjuta suvist tarbimist ning seega ei tee selle-kohast arvutust kütteperioodi välisele ajale.

	Tootmine MW	Realiseerimine MW	Kadu PV MW	Kadu TV MW	Kadu %	Läbivool tonni/h
Alg	73,0	44,7	17,3	10,8	38,7	2 418,4

Tabel 21. Termis programmiga arvatud parameetrid suveperioodil

3.9. Kulutused pumpamisele

Tootmisüksuse aruannetest võib leida, et ühe MWh soojuse tootmiseks kulub keskmiselt 14 kWh elektrienergiat. Suurimateks elektrienergia tarbijateks on võrgu pumbad ja õhu ventilaatorid, elektrienergia püsikulu nagu näiteks jaamade valgustus loeb marginaalseks.

Kütteperioodi pikkuseks võtab 5808 h.

Kütteperioodil toodetud keskmise soojuse hulga arvutab :

(9)

Kus,

- kütteperioodil toodetud keskmine soojuse hulk MWh
- keskmine väljundvõimsus MW
- 5808 tundi kütteperioodil

Elektri kulu arvutab :

(10)

Kus,

- elektri kulu kWh
- ühe MWh soojuse tootmiseks kuluva elektri hulk 14 kWh/MWh

Elektri maksumus:

— (11)

Kus,

- kulutused elektrile €
- elektri 1 MWh hind

	Tootmine	E toodetud		M Elektri
	MW	MWh	Elektri kulu kWh	maksumus €
Alg	272,90	1 585 003,20	22 190 044,80	1 930 533,90
Alg -5%	261,10	1 516 468,80	21 230 563,20	1 847 059,00
Alg -10%	249,10	1 446 772,80	20 254 819,20	1 762 169,27
Alg -15%	237,20	1 377 657,60	19 287 206,40	1 677 986,96
Alg -20%	225,30	1 308 542,40	18 319 593,60	1 593 804,64
Alg -25%	213,30	1 238 846,40	17 343 849,60	1 508 914,92
Alg -30%	201,10	1 167 988,80	16 351 843,20	1 422 610,36
Alg -35%	189,20	1 098 873,60	15 384 230,40	1 338 428,04
Alg -40%	177,20	1 029 177,60	14 408 486,40	1 253 538,32
Alg -45%	164,90	957 739,20	13 408 348,80	1 166 526,35

Alg -50%	152,70	886 881,60	12 416 342,40	1 080 221,79
----------	--------	------------	---------------	--------------

Tabel 22. Kulutused pumpamisele kütteperioodil.

Suveperioodi töötundide arvuks on 2952 h.

Arvutused teostab sarnaselt kütteperioodi arvutustega.

	Tootmine MW	E toodetud MWh	Elektri kulu kWh	M Elektri maksumus €
Alg	73	215 496,00	3 016 944,00	262 474,13

Tabel 23. Kulutused pumpamisele suveperioodil

3.10. Kaalutud keskmise kao leidmine

Kaalutud keskmine kadu leiab valemiga :

$$\frac{\text{Kütteperioodi toodetud soojus} - \text{Kütteperioodi kadu}}{\text{Suveperioodi toodetud soojus} - \text{Suveperioodi kadu}} \quad (12)$$

Kus,

- kütteperioodi toodetud soojus
- kütteperioodi kadu
- suveperioodi toodetud soojus
- suveperioodi kadu

	Küttep. toodetud MWh	Suvep toodetud MWh	Kadu kütte %	Kadu suvi %	Kaalutud keskmine kadu %
Alg	1 585 003,20	215 496,00	14,0	38,7	16,9
Alg -5%	1 516 468,80	215 496,00	14,6	38,7	17,5
Alg -10%	1 446 772,80	215 496,00	15,2	38,7	18,2
Alg -15%	1 377 657,60	215 496,00	15,9	38,7	18,9

Alg -20%	1 308 542,40	215 496,00	16,6	38,7	19,7
Alg -25%	1 238 846,40	215 496,00	17,5	38,7	20,6
Alg -30%	1 167 988,80	215 496,00	18,4	38,7	21,5
Alg -35%	1 098 873,60	215 496,00	19,4	38,7	22,5
Alg -40%	1 029 177,60	215 496,00	20,5	38,7	23,6
Alg -45%	957 739,20	215 496,00	21,7	38,7	24,8
Alg -50%	886 881,60	215 496,00	23,2	38,7	26,2

Tabel 24. Kaalutud keskmine kadu soojusvõrgus aasta kohta väheneval tarbimisel

3.11. Tarbimise vähenemisest tingitud hinna tõusu arvutus

Leiab kütte ja suveperioodi osakaalu kogu väljastusest valemiga :

$$\frac{\text{Kütteperioodi osakaal}}{\text{Kütteperioodi osakaal} + \text{Suveperioodi osakaal}} = \text{valemiga} \quad (13)$$

Kus,

- Kütteperioodi ja suveperioodi osakaal kogu väljastusest
- Kütte ja suveperioodi soojushulk vastavalt
- Soojushulk kokku

	Kütteperioodi MWh	Suveperioodi MWh	Kokku	Kütteperioodi osakaal kogu väljastusest	Suveperioodi osakaal kogu tarbimisest
Alg	1 585 003,20	215 496,00	1 800 499,20	88,0	12,0
Alg -5%	1 516 468,80	215 496,00	1 731 964,80	87,6	12,4
Alg -10%	1 446 772,80	215 496,00	1 662 268,80	87,0	13,0
Alg -15%	1 377 657,60	215 496,00	1 593 153,60	86,5	13,5
Alg -20%	1 308 542,40	215 496,00	1 524 038,40	85,9	14,1
Alg -25%	1 238 846,40	215 496,00	1 454 342,40	85,2	14,8
Alg -30%	1 167 988,80	215 496,00	1 383 484,80	84,4	15,6
Alg -35%	1 098 873,60	215 496,00	1 314 369,60	83,6	16,4

Alg -40%	70 033 396,62	23,60	6,70	74 725 634,19
Alg -45%	66 203 500,28	24,80	7,90	71 433 576,80
Alg -50%	62 550 057,71	26,20	9,30	68 367 213,08

Tabel 26. Muutuvkulude muutus suurenevate kadudega

Summaarse elektri kulu saab kui liita kütteperioodi ja suveperioodi elektri kulud kokku.

Elektri kulu vähenemist arvutab lahutades algväärtusest saadud uue vähenenud kulu.

Muutuvkulud koos vähenenud elektrikulu ja vähenenud kadudega saab kui lahutada vähenenud kadudega muutuvkuludelt elektrikulu.

	Elektri kulu kokku €	Elektri kulu vähenemine €	Muutuvkulud koos vähenenud elektri kuluga ja kadudega €
Alg	2 193 008,03	0	104 644 000,00
Alg -5%	2 109 533,13	83 474,90	100 579 707,18
Alg -10%	2 024 643,40	168 364,63	96 609 807,49
Alg -15%	1 940 461,09	252 546,94	92 639 446,36
Alg -20%	1 856 278,77	336 729,26	88 764 647,19
Alg -25%	1 771 389,05	421 618,98	84 985 063,12
Alg -30%	1 685 084,49	507 923,54	81 227 253,73
Alg -35%	1 600 902,17	592 105,86	77 576 685,38
Alg -40%	1 516 012,45	676 995,58	74 048 638,61
Alg -45%	1 429 000,48	764 007,55	70 669 569,25
Alg -50%	1 342 695,92	850 312,11	67 516 900,97

Tabel 27. Muutuvkulud vähenenud elektrikulude ja kadudega.

Püsikulud saab eelnevalt väljatoodud tabelist, Tallinna Kütte AS aastaaruandest.

Summaarsed kulud saab kui muutuvkulud liita püsikuludega.

Soojuse hinna arvutab :

Kus,

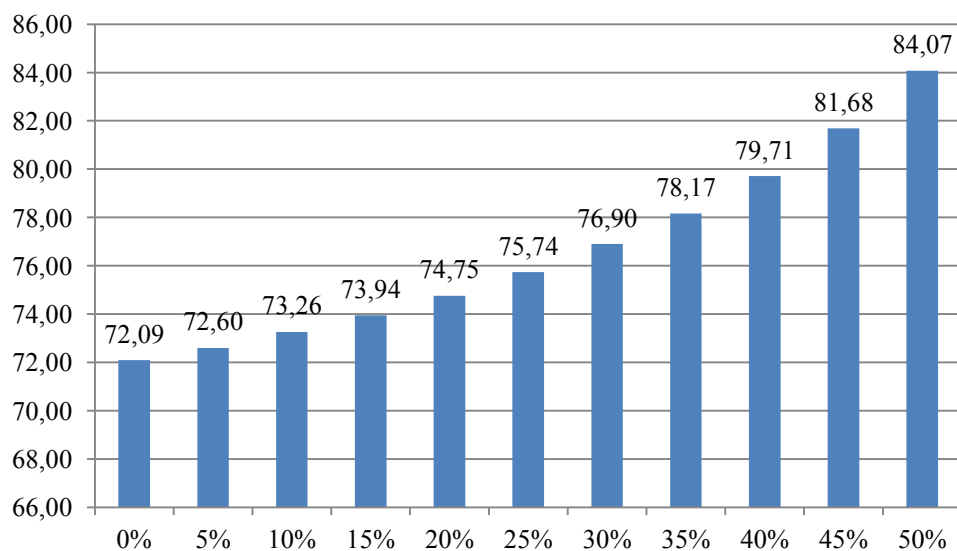
- soojuse hind koos käibemaksuga €/MWh

- kulud kokku €

- soojusväljastus kokku MWh

	Kokku MWh	Muutuvkulud koos vähenenud elektri kuluga ja kadudega €	Püsikulud €	Kulud kokku €	Soojuse hind €/MWh
Alg	1 800 499,20	104 644 000,00	25 162 000,00	129 806 000,00	72,09
Alg -5%	1 731 964,80	100 579 707,18	25 162 000,00	125 741 707,18	72,60
Alg -10%	1 662 268,80	96 609 807,49	25 162 000,00	121 771 807,49	73,26
Alg -15%	1 593 153,60	92 639 446,36	25 162 000,00	117 801 446,36	73,94
Alg -20%	1 524 038,40	88 764 647,19	25 162 000,00	113 926 647,19	74,75
Alg -25%	1 454 342,40	84 985 063,12	25 162 000,00	110 147 063,12	75,74
Alg -30%	1 383 484,80	81 227 253,73	25 162 000,00	106 389 253,73	76,90
Alg -35%	1 314 369,60	77 576 685,38	25 162 000,00	102 738 685,38	78,17
Alg -40%	1 244 673,60	74 048 638,61	25 162 000,00	99 210 638,61	79,71
Alg -45%	1 173 235,20	70 669 569,25	25 162 000,00	95 831 569,25	81,68
Alg -50%	1 102 377,60	67 516 900,97	25 162 000,00	92 678 900,97	84,07

Tabel 28. Soojuse hinna muutus tarbimise vähenemisest kütteperioodil



Graafik 9. Soojuse hinna muutus tarbimise vähenemisest kütteperioodil

3.12. Järeldused soojuse tarbimise parameetrite vähenemise mõjudest.

Tarbimise muutus	Soojuse hind	Keskmine hinnamuutus
0 %	72,09	0 %
-5 %	72,60	0,70 %
-10 %	73,26	1,59 %
-15 %	73,94	2,50 %
-20 %	74,75	3,56 %
-25 %	75,74	4,81 %
-30 %	76,90	6,25 %
-35 %	78,17	7,77 %
-40 %	79,71	9,55 %
-45 %	81,68	11,74 %
-50 %	84,07	14,25 %

Tabel 29. Keskmine hinnamuutus tarbimise vähenemise tõttu võrreldes algväärtusega

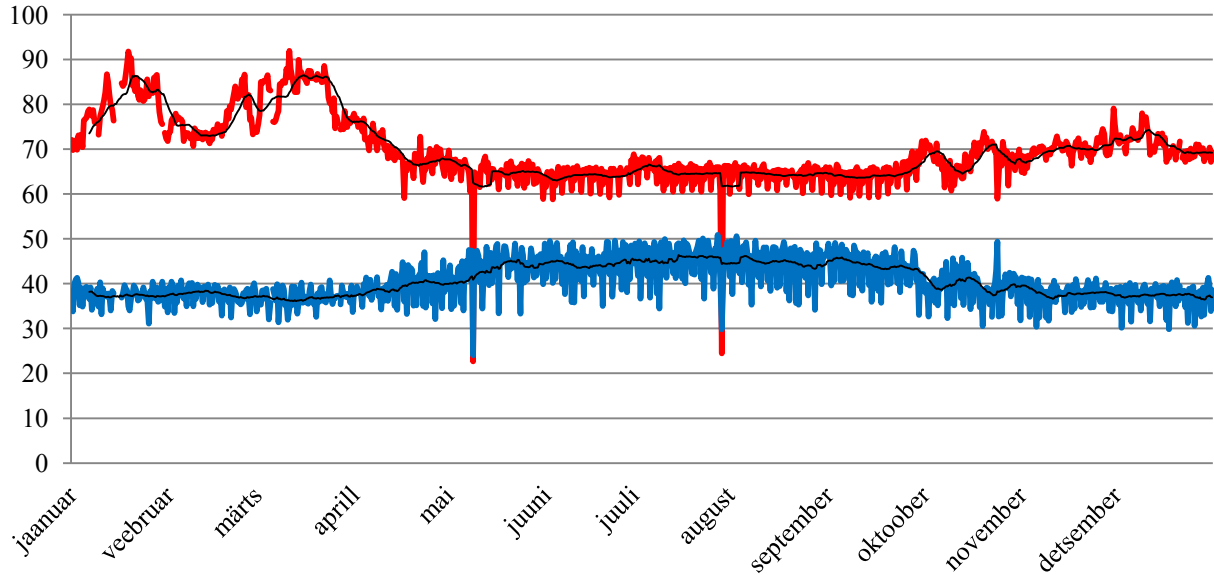
Eelnevast on näha et isegi 50%-se kütteperioodi tarbimise vähenemise juures ja keskmiste kadude tõusmisel kuni 26,2 % on kaugküte kodutarbijate segmendis ikka veel konkurentsivõimeline juba olemasolevate tarbijate hulgas elektrikütte vastu, kuid kindlasti vähendab see uute liitujate lisandumist kaugkütte süsteemiga. Tekib oht, et suuremad elektri tarbijad võivad hakata üle minema elektriküttele või soojuspump süsteemidele, kuna hinnaline erinevus elektrikütte ja kaugkütte vahel sel juhul on suhteliselt väike. Konkurentsivõimet teiste küteliikide vastu on raske prognoosida, kuna üldjuhul hõlmavad need investeeringuid küttesüsteemidesse, mida tuleb iga üksikjuhtumi puhul vaadelda eraldi.

Omavalitsused ja riik peaksid oma energeetika arengukavades jälgima fakti, et kaugküttega ühendatud hoonete renoveerimisel ja nende energiatarbimise vähendamisel suurendatakse soojatootja kadusid, mis omakorda hetke seaduste ja hinnaarvutuse meetodika järgi suurendab tarbijale soojuse hinda. Selle tõttu näiteks 25%-lise soojuse tarbimise vähendamine kõigil tarbijatel kütteperioodil suurendab kaugkütte sooja hinda 4,81% võrra. Seega loodetud sääst 25% kujuneb finantsiliselt tegelikult ligi 20,2 %-liseks säästuks.

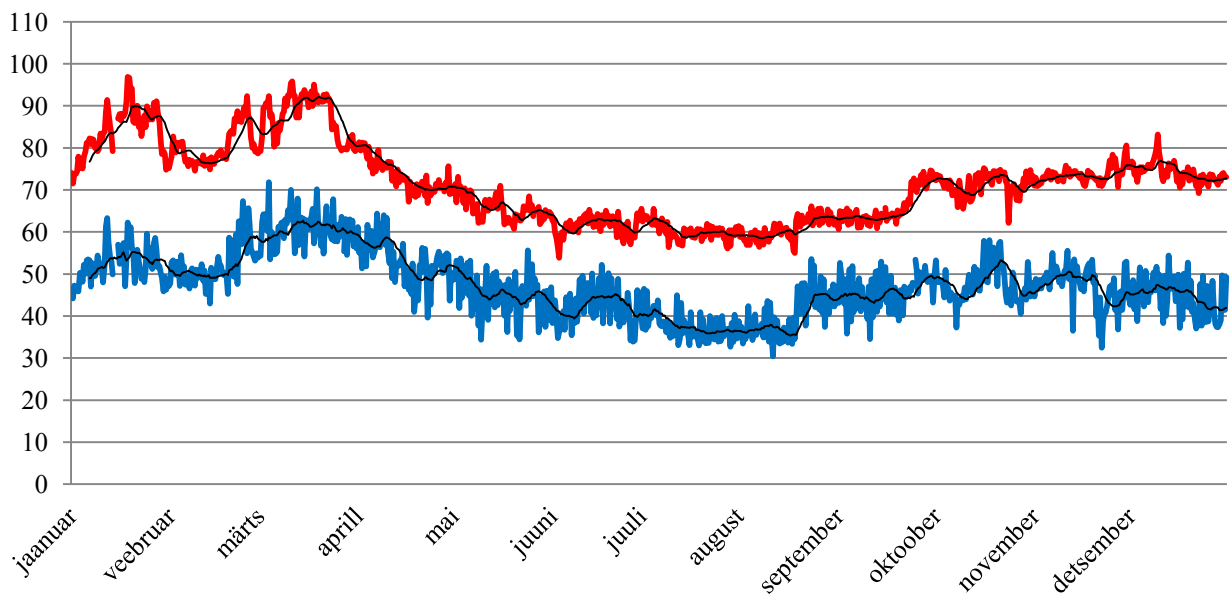
Hoonete renoveerimine ja soojustamine on vajalik tegevus, kuid ainuüksi hoonete soojuse tarbimise vähendamine ei anna head tulemust. Koos hoonete renoveerimistega tuleb vaadelda ka kaugkütte parameetrite olukorda, eriti kaugküttesüsteemides kus tarbimine on väheneva tendentsiga.

4. Lõpptarbijate tagastuva võrguvee mõju võrgu kadudele

4.1 Hetke olukorra kirjeldus



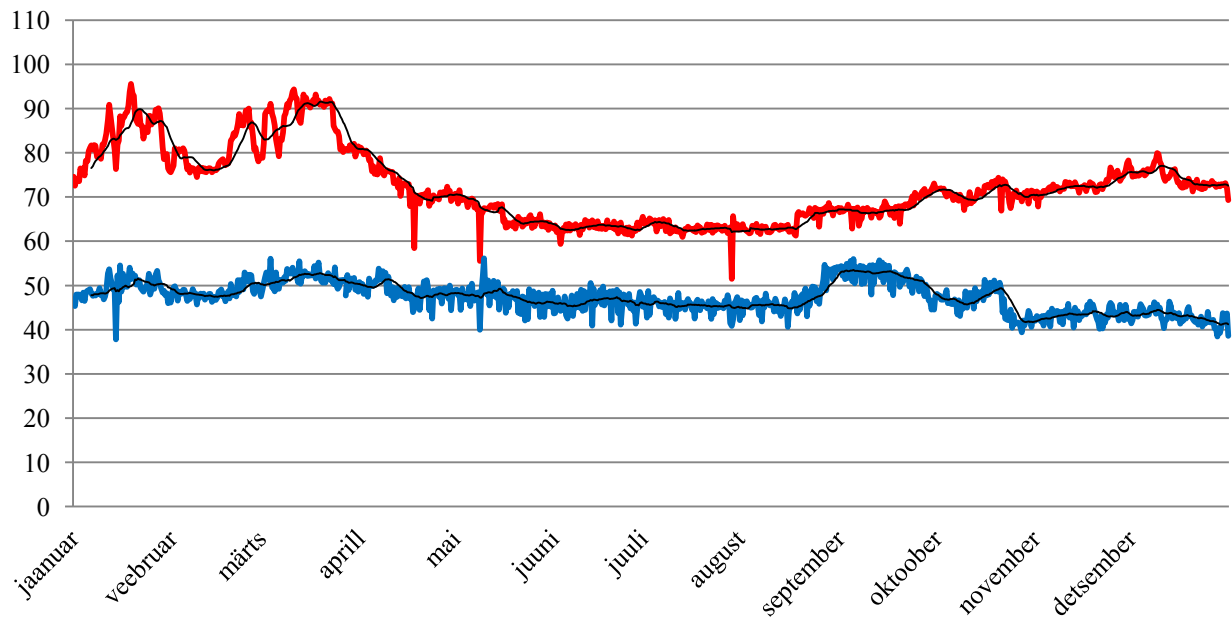
Graafik 10. Öismäe 124 kortermaja kaugkütte peale- ja tagasivoolu temperatuurid



Graafik 11. Tammsaare 49 büroohoone kaugkütte peale- ja tagasivoolu temperatuurid

Ülal on esitletud Öismäe 124 kortermaja ja Tammsaare tee 49 peale ja tagasivoolu temperatuurid. Võttes arvesse veel mitme erinevas kohas asuva mõõtepunkti andmed koostab

keskmiste peale ja tagasivoolu temperatuuride graafiku suve- ja kütteperioodidele. Mõõtepunktideks kasutab andmeid hoonetelt Õismäe, Kopli, Tuisu tn piirkonnast, Kesklinna sadama piirkonnast ja Lasnamäelt.[14]



Graafik 12. Keskmise peale ja tagasivoolu temperatuur Tallinna Kütte soojusvõrgus

4.2. Mudeli arvutus

Mudeli arvutused teostab programmiga Termis.

4.2.1 Kütteperioodi arvutus

Kütteevee algsed väljundtemperatuurid tootmisüksustele valin Lisa 3-est vastavalt välisõhu temperatuurile 2 °C :

Tvõ	IRU ja Tallinna EJ-d	Laagna PJ, Spordi KM	Mustamäe, Kristiine ja Ülemiste KM-d
2	78	72	75

Tabel 30. Välisõhule vastavad väljundtemperatuurid °C

Stsenaariumis kasutab ühendusskeemi mis on kirjeldatud punktis „2.1. Mudeli ühendusskeem“. Piirangud vastavalt punktile „2.6. Mudeli maksimaalsed ja minimaalsed väärtused“. Iru EJ väljundvõimsust püüab hoida ligikaudu 50 MW vähendades Kristiine KM võimsust vajadusel.

Arvutuse käigus vähendab soojuse tarbijate peale- ja tagasivoolu temperatuuride vahet ehk Δt -d 5 kraadiste sammudega ning jälgib kuidas ja kui palju see mõjutab kaugkütte parameetreid. Alustab 20 °C vahega, kuna väiksematel temperatuuridel lähevad kiirused torustikes üle lubatud väärtuste.

Arvutuse tulemused on väljatoodud alljärgnevas tabelis:

	Tootmine MW	Realiseeri mine MW	Kadu PV MW	Kadu TV MW	Kadu %	Läbivool tonni/h
$\Delta t = 20\text{ °C}$	276,3	234,7	24,6	16,8	15,0	10 051
$\Delta t = 25\text{ °C}$	274,1	234,7	24,5	14,8	14,4	8 051
$\Delta t = 30\text{ °C}$	272,1	234,7	24,4	12,8	13,7	6 714
$\Delta t = 35\text{ °C}$	269,7	234,7	24,2	10,8	13,0	5 759
$\Delta t = 40\text{ °C}$	267,6	234,7	24,1	8,8	12,3	5 040
$\Delta t = 45\text{ °C}$	265,6	234,7	23,9	6,8	11,6	4 481
$\Delta t = 50\text{ °C}$	263,5	234,7	23,8	4,9	10,9	4 035
$\Delta t = 55\text{ °C}$	261,4	234,7	23,7	3,0	10,2	3 670
$\Delta t = 60\text{ °C}$	259,6	234,7	23,6	1,2	9,6	3 366

Tabel 31. Parameetrid erinevate Δt juures kütteperioodil

4.2.1 Suveperioodi arvutus

Tvõ	Tallinna EJ Vão	Laagna PJ	Mustamäe KM
15	75	otseühendus	75

Tabel 32. Suveperioodil valitud tootmisüksuste temperatuurid

Stsenaariumis kasutab ühendusskeemi mis on kirjeldatud punktis „2.2. *Mudeli suvine ühendusskeem*“. Piirangud vastavalt punktile „2.6. *Mudeli maksimaalsed ja minimaalsed väärtused*“.

Soojust toodavad ainult Vão EJ ja Mustamäe KM.

Teostab samasuguse arvutuse nagu kütteperioodilegi, ainult seekord kasutab suveperioodi mudelit ja andmeid.

Arvutuse tulemused on väljatoodud alljärgnevas tabelis:

	Tootmine MW	Realiseeri mine MW	Kadu MW	PV Kadu MW	TV Kadu %	Läbivool tonni/h
$\Delta t = 10\text{ }^{\circ}\text{C}$	76,6	44,7	18,0	13,8	41,5	3 899
$\Delta t = 15\text{ }^{\circ}\text{C}$	73,8	44,7	17,5	11,5	39,4	2 603
$\Delta t = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$	71,3	44,7	17,1	9,3	37,2	1 955

Tabel 33. Parameetrid erinevate Δt juures suveperioodil

20 °C temperatuuride erinevusega mudeli arvutamisel ei olnud enam võimalik edasi suurendada kõikide tarbijate Δt -d. Kuna soojusvõrgu mõne piirkonna läbivoolud muutusid niivõrd väikesteks, et pealevoolu temperatuur hakkas minema alla 60 °C. Probleemseteks kohtadeks osutusid Maardu linn, Toompea ja Tuisu tn piirkond. Need on piirkonnad kus on palju tarbijaid kes tarbivad kaugkütet ainult kütteperioodil ja sooja tarbevett toodetakse individuaalsete boileritega või muu kaugküttest eraldiseisva süsteemiga. Selle tõttu tarnitakse kaugkütte vett antud piirkondadesse suhteliselt suurte läbimõõtudega torustikega, kuid kuna

soojuse tarve on madal siis ka vooluhulgad torudes on madalad ning see põhjustab suurt temperatuuri langust pikki toru. Näiteks Tammsaare tee 49 hoonesse viival DN200 trassil oli $\Delta t = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ juures vooluhulgaks $1,3 \text{ m}^3/\text{h}$, mis andis pealevoolu temperatuuriks hoones $58,8 \text{ }^\circ\text{C}$. Antud temperatuuri võib näha ka eelnevalt äratoodud graafikul reaalsel andmetel. Toompea puhul on probleemiks lisaks ka suur kõrguste vahe võrreldes teiste tarbijatega.

Seega pidi Δt vähendama piirkonniti.

Alljärgnevas tabelis on väljatoodud Δt vähenemine kõigil tarbijatel, välja arvatud Tuisu tn piirkonnas, Toompeal ja Maardu linnas, kus oli säilitatud $\Delta t = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ juures.

	Tootmine	Realiseeri	Kadu PV	Kadu TV	Kadu %	Läbivool
	MW	mine MW	MW	MW		tonni/h
$\Delta t = 25 \text{ }^\circ\text{C}$	69,1	44,7	16,8	7,5	35,2	1 585
$\Delta t = 30 \text{ }^\circ\text{C}$	67,1	44,7	16,4	5,8	33,3	1 339
$\Delta t = 35 \text{ }^\circ\text{C}$	65,2	44,7	16,1	4,2	31,3	1 163
$\Delta t = 40 \text{ }^\circ\text{C}$	63,4	44,7	15,8	2,7	29,4	1 031
$\Delta t = 45 \text{ }^\circ\text{C}$	61,7	44,7	15,5	1,3	27,5	929

Tabel 34. Parameetrid erinevate Δt juures suveperioodil jättes Maardu linna, Toompea ja Tuisu tn piirkonna tarbijatele $\Delta t = 20 \text{ }^\circ\text{C}$

4.3. Tagastuva vee parameetrite parendamine ning selle maksumus

Antud magistritöö uurib kaugkütte parameetrite parendamise võimalusi ainult tarbijate sooja tarbevee tagastuva temperatuuri langetamise abil. Selline lähenemine on tingitud asjaolust, et kütte sekundaarpoole tagastuva temperatuuri langetamiseks tuleb teostada suhteliselt suurt rekonstrueerimist hoone küttesüsteemis – temperatuuri langetamiseks tuleb siis kasutada põrandaküttesüsteeme, üledimensioneeritud kütteradiaatoreid, ventilaatoreid radiaatoritel jne.

Antud arvutuste teostamiseks kasutab programmi Danfoss Hexact.

4.3.1 Hetkel kasutusel olevad keskmised soojusvahetite suurused

Tallinna Kütte tehnilise teeninduse osakonna müügiinseneride väitel peab soojussõlme peale ja tagasivoolu vahe olema vähemalt 10 °C, seegi ainult juhul kui soojustarbija soovib soojuse mõõtmiseks kasutada soojusarvestit. Alla 10 °C Δt puhul hakkab soojusvaheti viga olema liiga suur, et selle järgi oleks võimalik korrektset arvet esitada. Kui tarbija ei soovi kasutada soojusarvestit või tema Δt on väiksem kui 10 kraadi siis arvestatakse tema soojustarbimist arvutuslikult, vastavalt seaduses kehtestatud arvutusmetoodikale.

Lisa 3-es on välja toodud sekundaarpoole peale- ja tagasivoolu temperatuurid, kuid need omavad ainult soovituslikku tähendust. Iga tarbija võib ise valida mis peale- ja tagasivoolu parameetreid ta oma hoone kütmiseks valib, ainukeseks nõudeks on ülal kirjeldatud 10 °C temperatuuride erinevuse nõue soojusarvesti olemasolul. [31]

Kuna ühtegi otsest nõuet tagastuva temperatuuri kohta ei ole, dimensioneeritakse soojussõlmedele soojusvahetid suurustega mis kataksid hoone soojusvajaduse suhteliselt mõistlike rõhukadudega sekundaarpoolel. Tagastuva võrguvee temperatuuri langetamisele ei pöörata erilist tähelepanu.

Väga tihti renoveeritakse hoone soojussõlm koos hoone komplekse renoveerimisega, kuid kui hoone renoveeritakse pärast soojussõlme renoveerimist, siis hakkab olemasoleva soojussõlme soojusvaheti olema renoveerimise käigus saavutatud võimsuse vähenemise hulga võrra üledimensioneeritud. See mõjub positiivselt kaugkütte parameetritele, kuna suurema soojusvahetiga on võimalik saavutada madalamat tagastuva võrguvee temperatuuri.

Samas ei ole soojusvahetid lõputult suure elueaga. Konsulteerides ettevõtte Ecomatic esindajaga Mati Kuusk-iga võib soojusvahetite eluiga olla vahemikus 4 kuni 30 aastat, olenevalt soojusvaheti töökeskkonnast ja kasutusotstarbest – sooja vee ettevalmistuseks kasutatavate soojusvahetite eluiga on üldjuhul väiksem kui küttesüsteemi vahetitel. Pärast üledimensioneeritud vaheti amortiseerumist asendatakse see tavaliselt uue ja väiksema soojusvahetiga mis vastab hoone uuele soojustarbele, selle tingib asjaolu et väiksem soojusvaheti on keskmiselt odavam soetusmaksumusega.

Iga soojussõlme projekterija valib iseseisvalt sekundaarpoole parameetreid. Analüüsid erinevaid liitumislepingute projekte võib leida keskmised sekundaarpoole parameetrid. Primaarpoole parameetrid võtab ülal esitatud keskmiste temperatuuride järgi.

Sooja tarbevee soojusvaheti arvutusel kasutab arvutustemperatuurideks väikseimaid võimalikke väärtusi ning kütte poolal arvutab maksimaalsetel temperatuuridel.

	Soe tarbevesi		Radiaatorküte	
	Primaar	Sekundaar	Primaar	Sekundaar
Temperatuur °C	65-45	5-55	115-60	65-90
Maks. rõhukadu kPa	100	60	100	60

Tabel 35. Soojusvahetite arvutuse algandmed

4.4 Parameetrite parendamine ning parendamise maksumus

4.4.1 Suveperioodi parameetrite parendamine ning parendamise maksumus

Arvutused teostab programmis Danfoss Hexact. Ligikaudne hind on esitatud koos käibemaksuga 20%. [32] [33]

Sooja tarbevee vaheti arvutused on tehtud üheastmelistele vahetitele.

Võimsus kW	Danfossi mudel	Plaatide arv	Pindala m ²	Prim. P lang. kPa	Sekund. P lang. kPa	Ligik. hind €
100	XB10-1-36	36	1,02	15,4	2,5	375-
150	XB10-1-60	60	1,74	12,9	2,0	535-
200	XB10-1-70	70	2,04	17,0	2,9	684-
250	XB51H-1-26	26	2,52	60,5	9,9	655-
300	XB51H-1-30	30	2,94	64,1	10,7	684-
350	XB51H-1-36	36	3,57	59,9	10,2	789-
400	XB51H-1-50	50	5,04	41,2	7,2	1 026-

450	XB51H-1-50	50	5,04	51,4	9,0	1 026-
500	XB51H-1-60	60	6,09	44,8	7,9	1 195-
550	XB51H-1-60	60	6,09	53,5	9,4	1 195-
600	XB51H-1-70	70	7,14	47,8	8,5	1 365-
650	XB51H-1-70	70	7,14	55,6	9,9	1 365-
700	XB51H-1-80	80	8,19	50,6	9,0	1 532-
750	XB51H-1-80	80	8,19	57,6	10,3	1 532-
800	XB51H-1-90	90	9,24	53,3	9,5	1 700-
850	XB51H-1-90	90	9,24	59,8	10,7	1 700-

Tabel 36. Ligikaudsed olemasolevad soojusvahetid soojale veele võimsuse järgi

Alljärgnevas tabelis on esitatud 100 kW sammuga olemasolevad soojusvahetid soojale veele ning nende võimalikud asenduse variandid. Antud valikud on piiratud ainult Danfoss-i toodetega, kuna kasutab Danfoss Hexact-i arvutusprogrammi.

Kõik soojusvahetid arvutab vastuvoolu režiimiga.

Võimsus 100 kW

TV °C	Danfossi mudel	Plaatide arv	Pindala m ²	Prim. P lang. kPa	Sekund. P lang. kPa	Ligik. hind €
45	XB10-1-36	36	1,02	15,4	2,5	375-
35	XB10-1-70	70	2,04	2,6	0,5	613-
25	XB51H-1-16	16	1,47	8,4	4,4	574-
15	XB59M-1-30	30	2,80	2,7	2,8	908-

Võimsus 200 kW

TV °C	Danfossi mudel	Plaatide arv	Pindala m ²	Prim. P lang. kPa	Sekund. P lang. kPa	Ligik. hind €
45	XB10-1-70	70	2,04	17,0	2,9	684-
35	XB51H-1-16	16	1,47	47,1	16,0	574-

25	XB51H-1-30	30	2,94	8,3	5,0	742-
15	XB59M-1-36	36	3,4	7,6	7,3	1 034-

Võimsus 300 kW

TV °C	Danfossi mudel	Plaatide arv	Pindala m ²	Prim. P lang. kPa	Sekund. P lang. kPa	Ligik. hind €
45	XB51H-1-30	30	2,94	64,1	10,7	684-
35	XB51H-1-30	30	2,94	21,8	10,7	684-
25	XB51H-1-40	40	3,99	10,5	6,3	912-
15	XB59M-1-40	40	3,8	14,1	12,8	1 118-

Võimsus 400 kW

TV °C	Danfossi mudel	Plaatide arv	Pindala m ²	Prim. P lang. kPa	Sekund. P lang. kPa	Ligik. hind €
45	XB51H-1-50	50	5,04	41,2	7,2	1 026-
35	XB51H-1-50	50	5,04	12,0	7,2	1 026-
25	XB51H-1-60	60	6,09	7,8	5,2	1 195-
15	XB59M-1-50	50	4,8	15,9	14,6	1 328-

Võimsus 500 kW

TV °C	Danfossi mudel	Plaatide arv	Pindala m ²	Prim. P lang. kPa	Sekund. P lang. kPa	Ligik. hind €
45	XB51H-1-60	60	6,09	44,8	7,9	1 195-
35	XB51H-1-60	60	6,09	13,2	7,9	1 195-
25	XB51H-1-70	70	7,14	9,2	6,0	1 363-
15	XB59M-1-60	60	5,8	17,2	15,9	1 538-

Võimsus 600 kW

TV °C	Danfossi mudel	Plaatide arv	Pindala m ²	Prim. P lang. kPa	Sekund. P lang. kPa	Ligik. hind €
-------	----------------	--------------	------------------------	-------------------	---------------------	---------------

45	XB51H-1-70	70	7,14	47,8	8,5	1 365-
35	XB51H-1-70	70	7,14	14,2	8,5	1 365-
25	XB51H-1-80	80	8,19	10,5	6,7	2 055-
15	XB59M-1-80	80	7,8	13,8	13,4	1 959-

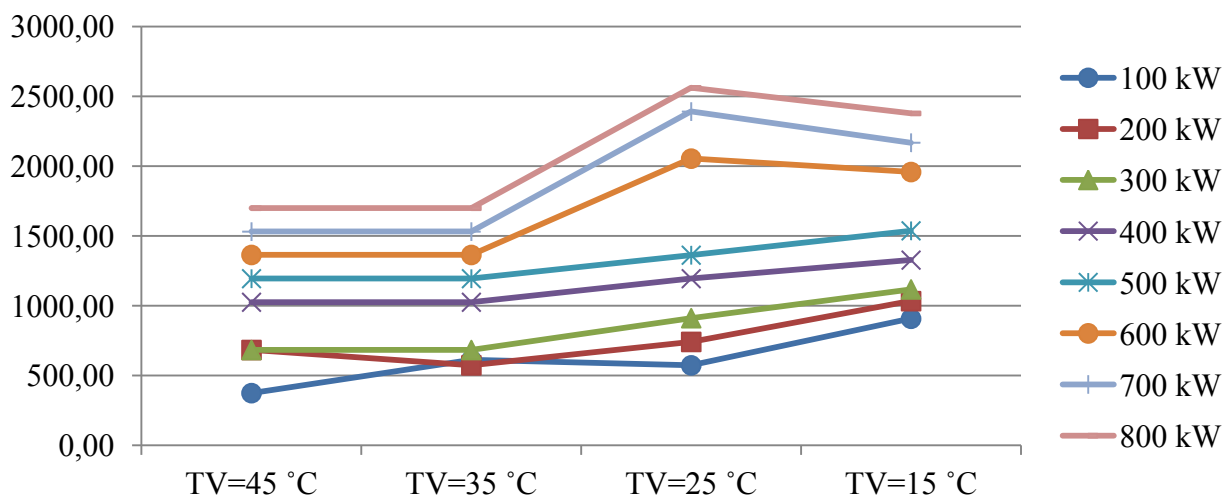
Võimsus 700 kW

TV °C	Danfossi mudel	Plaatide arv	Pindala m ²	Prim. P lang. kPa	Sekund. P lang. kPa	Ligik. hind €
45	XB51H-1-80	80	8,19	50,6	9,0	1 532-
35	XB51H-1-80	80	8,19	15,1	9,0	1 532-
25	XB51H-1-100	100	10,29	9,3	6,2	2 392-
15	XB59M-1-90	90	8,8	15,0	14,5	2 169-

Võimsus 800 kW

TV °C	Danfossi mudel	Plaatide arv	Pindala m ²	Prim. P lang. kPa	Sekund. P lang. kPa	Ligik. hind €
45	XB51H-1-90	90	9,24	53,3	9,5	1 700-
35	XB51H-1-90	90	9,24	15,9	9,5	1 700-
25	XB51H-1-110	110	11,34	10,4	6,9	2 562-
15	XB59M-1-100	100	9,8	16,1	15,5	2 379-

Tabel 37. Üheastmeliste sooja vee soojusvahetite parameetrid ja hinnad



Graafik 13. Danfoss soojusvahetite hinnad erinevatel võimsustel ja maksimaalsetel tagasivoolu temperatuuridel

4.4.2 Parendatud sooja tarbevee kaalutud keskmise leidmine kütteperioodil üheastmelisele soojussõlmele

Kütteperioodi arvutusel võtab lähteandmeteks eelduse, et kütte soojusvaheti tagasivoolu temperatuur on vastavalt Tallinna Kütte soovitudele, mis on väljatoodud Lisa 3-es - 42 °C.

Sooja tarbevee soojusvaheti väljundtemperatuurid on 45 °C, 35 °C, 25 °C ja 15 °C.

Eeldab, et suveperioodi toodetud soojuse realisatsioon näitab sooja vee tarbimist ning on aastaringi ligikaudu sama.

Leiab kaalutud keskmise tagasivoolu temperatuuri soojussõlmest väljumisel :

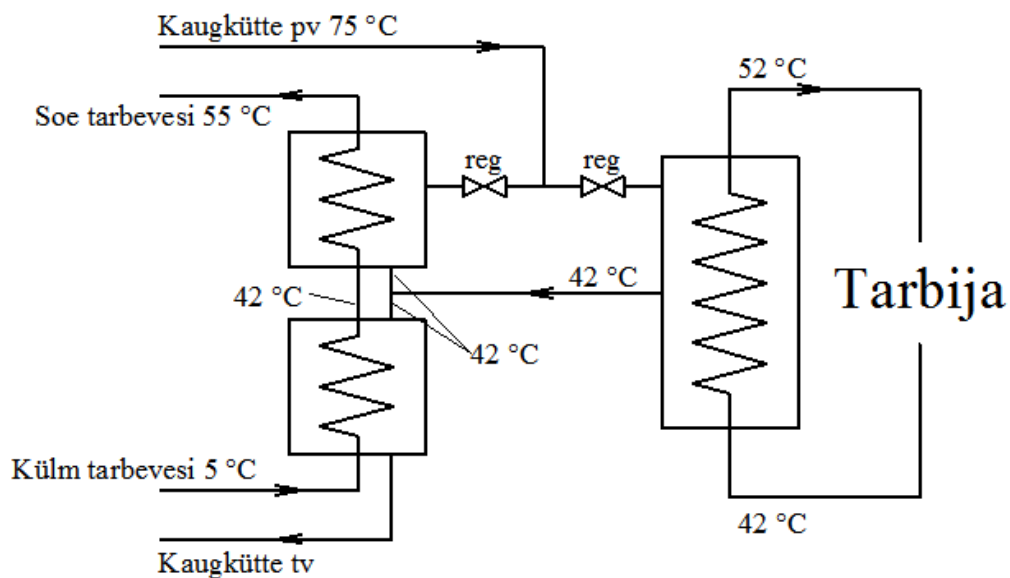
Küte + vesi MW	Küte MW	Vesi MW	Küte TV temp. °C	Vesi TV temp. °C	Kaalutud keskmise temp. °C
234,7	190	44,7	42	45	42,5
234,7	190	44,7	42	35	40,6
234,7	190	44,7	42	25	38,7
234,7	190	44,7	42	15	36,8

Tabel 38. Kaalutud keskmise soojussõlme väljundtemperatuur kütteperioodil

4.5 Kaheastmelise soojussõlme parendamine

Analüüsidest hoonete lepingulisi soojusvahetite võimsuseid võib leida, et keskmise tarbija küttesoojuse vaheti on 16% võimsam kui sooja vee vaheti.

Eeldab, et kütte soojusvaheti primaarpoolelt väljub küttesoojusega 42 kraadise temperatuuriga ehk siis maksimaalselt võimaliku madala temperatuuriga ning teise astme sooja vee vaheti primaarpoolelt väljub samuti 42 kraadine vesi. Sooja tarbevett peab soojendama 5 °C kuni 55 °C. Kõige efektiivsemalt töötab kaheastmeline soojussõlm siis, kui küttesoojuse vaheti kasutatakse esimeses astmes maksimaalselt ära, ehk soe tarbevett mis siseneb esimesse astmesse temperatuuril 5 °C soojendatakse kuni maksimaalse 42 kraadise temperatuurini ehk küttesoojuse vahetist väljuva temperatuurini. Primaarpoole summaarne rõhukadu ei tohi ületada 100 kPa.



Skeem 3. Kaheastmelise soojussõlme lähteandmete temperatuurid

Sooja vee vaheti kW	Kütte vaheti kW	S. tarbev. läbiv. l/min, esim. astm.	Kütteeve ligikaudne läbivool l/min	Kütteeve primaarpool e tagastuv temp °C	Sooja tarbevee esim. astme temp °C
100	116	28	52	42	5 - 42
150	174	42	78,5	42	5 - 42
200	232	57	104	42	5 - 42
250	290	71	131	42	5 - 42
300	348	85	158	42	5 - 42
350	406	100	186	42	5 - 42
400	464	114	210	42	5 - 42
450	522	128	237	42	5 - 42
500	580	143	264	42	5 - 42
550	638	157	291	42	5 - 42
600	696	171	318	42	5 - 42
650	754	186	342	42	5 - 42
700	812	200	370	42	5 - 42
750	870	214	397	42	5 - 42
800	928	228	425	42	5 - 42

Tabel 39. Keskmiste parendatud kaheastmeliste soojussõlmede parameetrid

Soe tarbevesi kW	1. aste kW	2. aste kW	Väljund		
			1. aste mudel Danfoss	2. aste mudel Danfoss	temperatuur peale 1 ja 2 astet
100	73	27	XB51H-70	XB10-40	25
150	110	40	XB51H-120	XB10-70	25
200	145	55	XB51H-140	XB10-70	25

250	180	70	XB59M-50	XB51H-50	25
300	220	80	XB59M-60	XB51H-60	25
350	260	90	XB59M-70	XB51H-70	25
400	295	105	XB59M-80	XB51H-80	25
450	335	115	XB59M-90	XB51H-90	25
500	367	133	XB59M-100	XB51H-100	25
550	400	150	XB59M-110	XB51H-110	25
600	440	160	XB59M-120	XB51H-120	26
650	475	175	XB59M-140	XB51H-130	25
700	515	185	XB59M-140	XB51H-140	26
750	550	200	XB59M-160	XB51H-140	26
800	580	220	XB59M-160	XB51H-140	26

Tabel 40. Kaheastmeliste parendatud sooja tarbevee soojussõlmede väljundtemperatuurid

Nagu tabelist näha on keskmine tagastuv temperatuur 25 - 26 °C vahel.

Soe tarbevesi kW	1. aste kW	2. aste kW	1. aste mudel Danfoss	2. aste mudel Danfoss	1. aste hind €	2.aste hind €	Hind kokku €
100	73	27	XB51H-70	XB10-40	1 886	378	2 264
150	110	40	XB51H-120	XB10-70	2 730	613	3 343
200	145	55	XB51H-140	XB10-70	2 930	613	3 543
250	180	70	XB59M-50	XB51H-50	1 328	1 026	2 354
300	220	80	XB59M-60	XB51H-60	1 538	1 195	2 733
350	260	90	XB59M-70	XB51H-70	1 748	1 363	3 111
400	295	105	XB59M-80	XB51H-80	1 959	1 532	3 491
450	335	115	XB59M-90	XB51H-90	2 169	1 699	3 868
500	367	133	XB59M-100	XB51H-100	2 379	1 868	4 247
550	400	150	XB59M-110	XB51H-110	2 589	2 037	4 626
600	440	160	XB59M-120	XB51H-120	2 799	2 205	5 004

650	475	175	XB59M-140	XB51H-130	3 219	2 445	5 664
700	515	185	XB59M-140	XB51H-140	3 219	2 685	5 904
750	550	200	XB59M-160	XB51H-140	3 639	2 685	6 324
800	580	220	XB59M-160	XB51H-140	3 639	2 685	6 324

Tabel 41. Kaheastmeliste parendatud sooja vee soojusvahetite hinnad

Kuna kaheastmeliste 100 kW soojussõlmede soojusvahetite summaarsed pindalad lähenevad oma suuruselt eelnevalt arvatud üheastmeliste 700 kW soojusvahetitele, siis võib eeldada et väljundtemperatuurid suveperioodil hakkavad olema lähedal külma tarbevee temperatuuridele, ehk ligikaudu 15 °C.

4.6 Vahetuse maksumus

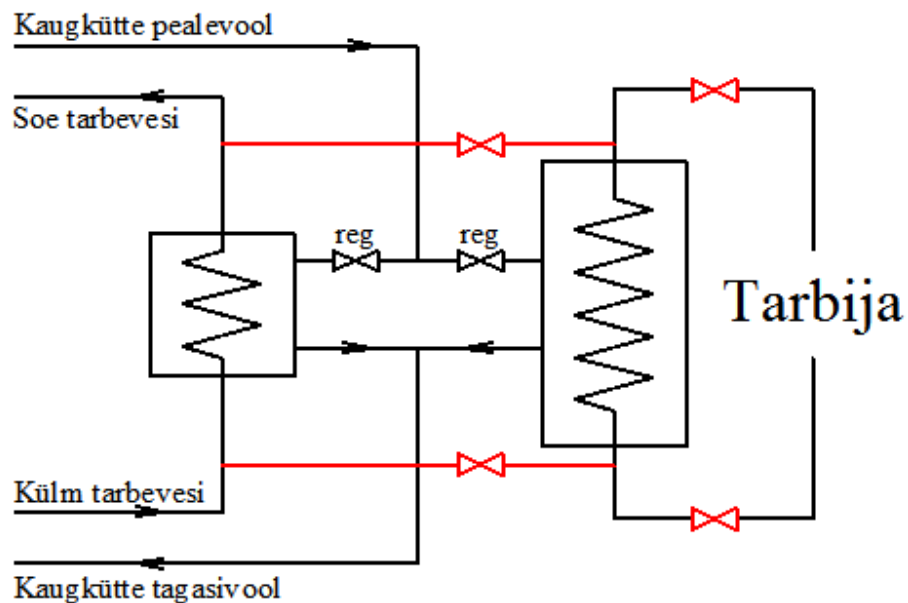
Vastavalt Tallinna Kütte CRM-is esitatud soojussõlmede sooja tarbevee võimsustele, soojusvahetite vahetamiseks, et saada maksimaalne parameetrite parendamine kuluks :

- Üheastmelised : 2 636 471,00 €
- Kaheastmelised : 6 915 507,00 €

4.7 Kütte soojusvaheti kasutamine kütteperioodi välisel ajal sooja tarbevee tootmiseks paralleelselt sooja vee vahetiga

Üks odavamatest meetoditest kuidas oleks võimalik Δt suurendada on kütteperioodi välisel ajal kasutada radiaatorkütte soojusvahetit kui tarbevee soojusvahetit lisaks juba olemasolevale sooja vee soojusvahetile.

Skemaatiliselt näeks see välja nii :



Skeem 4. Kütte soojusvaheti kasutamine sooja tarbevee tootmiseks paralleelselt sooja tarbevee vahetiga suveperioodil

Antud meetodil oleks võimalik soojusvahetuspinna suurendamine üldjuhul üle kahe korra suhteliselt väikeste ehituskulutustega. Kütte soojusvaheti regulaatori graafik tuleks seadistada samadele parameetritele mis sooja tarbevee graafik ning tuleks lisada üks lisa temperatuuri andur sooja tarbevee torule vahetult pärast küttesoojusvahetist väljumisel.

Ümberlülitamise käigus võib tarbevette sattuda marginaalne osa küttevett ja setteid.

Suurimaks probleemiks antud ühenduse puhul hakkab olema soojussõlme tasakaalustamine, kuna tegemist on paralleelse ühendusega ning lisaks on soojusvahetid üldjuhul erinevate võimsustega.

4.8 Järeldus tagastuva küttevete temperatuuri langetamisest

Enne parenduste tegemist kehtivad kaugküttevõrgus järgmised väärtused.

Kütteperioodil :

- Keskmise pealevool 75 °C
- Keskmise tagasivool 40 °C

Suveperioodil :

- Keskmise pealevool 65 °C
- Keskmise tagasivool 45 °C

Peale maksimaalsete parenduste läbiviimist on väärtused järgmised :

Kütteperioodil üheastmeliste soojussõlmedega:

- Keskmise pealevool 75 °C
- Keskmise tagasivool 35 °C

Kütteperioodil kaheastmeliste soojussõlmedega:

- Keskmise pealevool 75 °C
- Keskmise tagasivool 26 °C

Suveperioodil üheastmeliste soojussõlmedega:

- Keskmise pealevool 60 °C
- Keskmise tagasivool 15 °C

Samas Tuisu tn piirkond, Toompea ja Maardu $\Delta t = 20$ °C

Suveperioodil kaheastmeliste soojussõlmedega:

- Keskmise pealevool 60 °C
- Keskmise tagasivool 15 °C

Samas Tuisu tn piirkond, Toompea ja Maardu $\Delta t = 20$ °C

4.8.1 Säätetud soojuse hulk üheastmeliste soojussõlmedega

Kütteperioodil :

- Kadu vähenes 0,7 % võrra ; 13,0% → 12,3%
- Sääteti 12 196 MWh

Suveperioodil:

- Kadu vähenes 9,7 % võrra ; 37,2% → 27,5%
- Säästeti 28 339 MWh

Säästetud raha hulk :

(16)

Kus,

- muutuvkulude osa kaugkütte hinnast €/MWh
- säästetud soojuse hulk MWh

4.8.2 Säästetud soojuse hulk kaheastmeliste soojussõlmedega

Kütteperioodil :

- Kadu vähenes ~2,1 % võrra ; 13,0% → 10,9%
- Säästeti ~36 009 MWh

Suveperioodil:

- Kadu vähenes 9,7 % võrra ; 37,2% → 27,5%
- Säästeti 28 339 MWh

Säästetud raha hulk :

(17)

Kus,

- muutuvkulude osa kaugkütte hinnast €/MWh
- säästetud soojuse hulk MWh

Antud parameetrite parendamise kõige raskemaks probleemiks kujuneb asjaolu, et soojusvahetid tuleb vahetada suurel hulgal tarbijatel ning piisab mõnest väga halvade parameetritega tarbijast, et kogu parendamise efekt viia nulli. Kaugkütte inspektorid peaksid siis hakkama jälgima Δt sama pingsalt nagu nad hetkel jälgivad tarbijate kasutatud soojuse hulka.

Kokkuvõte

Antud lõputöö uurib kaugkütte lõpptarbijate parameetrite mõju kaugküttevõrgu efektiivsusele ning pakub võimalusi nende parendamiseks.

Kuna lõpptarbijate parameetreid on mitmeid ja antud lõputöö raames ei saaks kõiki neid piisava täpsusega kajastada keskendub antud magistritöö kahele hetkel aktuaalsemale parameetrile. Nendeks parameetriteks on lõpptarbijate tarbimise parameetrid ning tagastuva primaarse võrguvee temperatuuri parameetrid.

Antud valik oli tingitud ka asjaolust, et tarbimise parameetrid on valdavalt langustrendis, mis toob endaga kaasa kaugküttevõrgu efektiivsuse langust ning sellele vastukaaluks üks lihtsamaid meetodeid võrgu efektiivsuse tõstmiseks, läbi parameetrite muutmise, oleks tagastuva võrguvee temperatuuri langetamine.

Parameetrite arvutuste läbiviimiseks kasutab töös Termis kaugkütte simuleerimise programmi.

Antud programmiga oli Tallinna Kütte režiimigrupp koostanud Tallinna Kütte kaugküttevõrgu mudeli. Mudel simuleerib reaalse Tallinna Küte AS kaugküttevõrgu tööd, lisaks võib vajadusel muuta soojuse tootjate ja tarbijate parameetreid, ilmastikuolusid, torustiku isolatsiooni soojusjuhtivust ja muud.

Kuna suve- ja kütteperioodidel on kaugküttevõrgus kasutusel erinevad ühendusskeemid ja valitseb erinev keskmine välisõhu temperatuur, kasutab arvutustes kahte mudelit - üks kütte- ja teine suveperioodile.

Tarbimise parameetrite vähenemise arvutamisel sooritati mitu simulatsiooni, millede käigus vähendati mudelis 5 %-se sammuga lõpptarbijate soojuse tarbimist. Arvutus teostati ainult kütteperioodi kohta, kuna eesmärgiks oli uurida hoonete renoveerimisest tingitud mõjusid võrgu efektiivsusele ja mitte sooja tarbevee ettevalmistamise vähenemisest tingitud mõju kaugküttevõrgule. Lisaks suurenenud võrgukadudele leiti antud simulatsiooni abiga ka tarbimise vähenemisest tingitud soojuse hinna tõusu lõpptarbijale.

Tagastuva võrguvee temperatuuri langetamise mudeli arvutus teostati nii kütte- kui suveperioodi kohta. Samuti nagu ka tarbimise parameetrite arvutusel teostati ka antud juhul mitu simulatsiooni, seekord sammuga 5 °C.

Tekkisid tõrked suveperioodi arvutusel, kui üritati suurendada peale ja tagasivoolu temperatuuride vahet üle 20 °C - nimelt Toompea, Tuisu tn ja Maardu linna piirkondades läksid küttevee läbivoolud liiga väikesteks ja trassivesi jahtus kaugküttetorustikes enne tarbijateni jõudmist alla 60 °C. Edasised suveperioodi simulatsioonid teostati muutmata eelnimetatud rajoonide tarbijate Δt -sid, jättes need 20 °C.

Tagastuva võrguvee temperatuuride parendamise üheks meetodiks on suurendada lõpptarbijate soojusvaheteid. Soojusvahetite arvutused teostas programmiga Danfoss Hexact. Kuna eelnimetatud programm arvutab ainult Danfossi toodangu parameetreid, siis kõik hindade arvutused antud töös on teostatud antud ettevõtte toodangu hindade järgi, eeldab et teistel mainekatel soojusvahetite pakkujatel on sarnaste parameetritega toodang ja hinnad. Arvutused on teostatud nii ühe- kui kaheastmeliste soojusvahetite kohta. Üheastmelised soojusvahetid on küll odavama maksumusega, kuid võrreldes kaheastmeliste vahetitega on nende kütteperioodi aegne parameetrite parendamise võimekus madalam.

Antud tööst võib järeldada, et lõpptarbijate parameetrid mängivad olulist rolli kaugküttevõrgu efektiivsuses ja seeläbi ka kaugkütte soojuse müügihinna kujunemises.

Jätkusuutliku süsteemi tagamiseks peaksid kõik osapooled nagu omavalitsused, soojuse tootjad ja soojuse tarbijad kokku leppima parameetrite minimaalsetes nõuetes ja jälgima neid.

Summary

This thesis investigates effects of the district heating end-user parameters on the efficiency of the district heating networks, and offers possibilities to improve them.

As end users have a number of parameters and this paper can't handle them with sufficient accuracy so this thesis focuses only on two most topical parameters.

These parameters are the parameters of the consumption of final consumers, and the temperature parameters of the return network water.

This choice was also due to the fact that the consumption parameters are predominantly in downward trend, leading to a decrease in the efficiency of the district heating network, so one of the easiest methods to increase the efficiency of the network, through the modification of parameters, would be lowering of network water return temperature.

Calculation of parameters were performed using a program for the simulation of district heating Termis.

With this program group of engineers from Tallinna Küte composed heating model of district heating networks of Tallinna Küte. Model simulates real AS Tallinna Küte district heating networks, if necessary you can make changes in parameters of producers and consumers, weather conditions, piping insulation thermal conductivity and other.

As in the summer and heating periods are used different network connection schemes and average outdoor temperatures are different, two models are used – one for heating and one for summer period.

Several simulations were used for reduction of consumption calculation, during which consumption were reduced by 5 % with each step.

The calculation was performed only for the heating season, since the aim was to investigate the effects of renovation of houses and not the result of a decrease in the consumption of domestic hot water. In addition to increased network losses, the increase of the price for heating for the final consumer were found.

The return network water temperature lowering model calculations were performed for both heating and summer period.

As well as in calculations of the parameters of the consumption a number of simulations are performed, in this case with 5 °C step.

Some problems occurred in the calculation for summer period, after increasing return temperature difference to more than 20 ° C - in areas of Toompea , Tuisu street and Maardu city flow in district heating pipes were so slow that district heating water cooled below 60 °C before it reached consumers.

Further summer period simulations were performed without changing Δt of consumers of above-mentioned areas, leaving them at 20 ° C.

One method of improving the return network water temperature is to increase size of the end-users heat exchangers.

Heat exchangers calculations were performed in program Danfoss Hexact .

As the above-mentioned program calculates only the Danfoss product prices, then all the financial calculations in this work has been carried out by this company 's prices , implies that other reputable providers of heat exchangers have similar parameters , and prices.

Calculations are performed for both single-and dual-stage heat exchangers.

Although single-stage heat exchangers cost less, but compared to the dual-stage heat exchangers their heating period capability for improving parameters is lower.

This work suggests that the end-user parameters play an important role in the efficiency of district heating network, and thus the end price of district heat.

To ensure sustainable system, all parties, like municipalities, producers of heat and heat consumers have to agree on the minimum requirements of the parameters and follow them.

Lisa 1

Üheastmelised				Kaheastmelised			
	PV	TV	delta T		PV	TV	delta T
Akadeemia 15a	74,0	38,6	35,4	Akadeemia 58	75,6	40,2	35,4
Akadeemia 38	73,8	34,8	39,0	Ehitajate 25a	75,5	40,2	35,3
Akadeemia 42	73,7	38,3	35,4	Ehitajate 115	72,0	31,6	40,4
Astangu 50a2	74,1	34,4	39,7	Ehitajate 131	71,8	36,6	35,2
Ehitajate 11	75,6	35,0	40,6	Ehitajate 147	72,4	31,5	40,9
Ehitajate 137	73,7	36,5	37,2	Järveotsa 15	73,3	36,4	36,9
Kadaka 62a	75,1	59,6	15,5	Järveotsa 17	73,3	40,9	32,4
Karsti 1	72,8	44,2	28,6	Järveotsa 25	74,8	41,5	33,3
Karsti 3	72,2	44,5	27,7	Järveotsa 35a	73,4	35,0	38,4
Karsti 4	71,6	41,6	30,0	Järveotsa 37	72,9	39,1	33,8
Karsti 5	72,3	44,3	28,0	Järveotsa 39	74,0	39,4	34,6
Õismäe 19	74,2	42,0	32,2	Järveotsa 43	74,3	36,0	38,3
Õismäe 39	75,0	41,6	33,4	Järveotsa 45	75,0	36,7	38,3
Õismäe 41	74,4	41,8	32,6	Õismäe 2	73,3	38,9	34,4
Keskmine :			32,5	Õismäe 15	71,9	39,8	32,1
				Õismäe 35	73,6	38,3	35,3
				Õismäe 37	75,0	36,4	38,6
				Õismäe 38	74,4	34,3	40,1
				Õismäe 48	74,4	37,4	37,0
				Õismäe 57	74,3	52,0	22,3
				Õismäe 70	62,8	37,2	25,6
				Õismäe 72	72,6	34,4	38,2
				Õismäe 81	74,2	36,1	38,1
				Õismäe 87	74,1	35,7	38,4
				Õismäe 92	71,2	46,6	24,6
				Õismäe 96	72,8	34,9	37,9
				Õismäe 112	72,7	41,4	31,3
				Õismäe 113	69,1	44,8	24,3
				Õismäe 117	74,2	40,2	34,0

Õismäe 119	74,0	40,1	33,9
Õismäe 121	73,1	39,2	33,9
Õismäe 124	71,1	37,1	34,0
Õismäe 134	73,9	39,0	34,9
Õismäe 144	74,3	39,2	35,1
Keskmine :			34,6

Lisa 2

Aasta	Kuu	Tundide arv kuus	Väljastatud MWh	Tarbitud MWh	Keskmine	Keskmine	Lekked m3	Lekked	Kaod %
					väljastatud võimsus MW	tarbitud võimsus MW		ligikaudu (70,8 °C)	
2010	jaanuar	744	391 378	340 324	526,05	457,42	13970,5	1154,0	12,79
2010	veebruar	672	313 914	283 768	467,13	422,27	14311,7	1182,1	9,262
2010	märts	744	263 657	227 138	354,38	305,29	14397,3	1189,2	13,46
2010	aprill	720	165 029	140 324	229,21	194,89	13912,0	1149,1	14,37
2010	mai	744	89 853	65 244	120,77	87,69	14214,0	1174,1	26,43
2010	juuni	720	54 591	34 192	75,82	47,49	11729,0	968,8	36,24
2010	juuli	744	43 530	24 669	58,51	33,16	11570,6	955,7	42,06
2010	august	744	46 024	26 697	61,86	35,88	17266,2	1426,2	40,14
2010	september	720	66 059	44 183	91,75	61,37	11485,9	948,7	32,14
2010	oktoober	744	174 199	144 440	234,14	194,14	19302,4	1594,4	16,32
2010	november	720	230 024	196 836	319,48	273,38	18094,9	1494,6	13,87
2010	detsember	744	335 468	290 931	450,90	391,04	22841,0	1886,7	12,79
2011	jaanuar	744	298 948	264 025	401,81	354,87	16326,0	1348,5	11,28
2011	veebruar	672	330 143	289 615	491,28	430,97	12846,0	1061,1	11,99
2011	märts	744	257 757	224 880	346,45	302,26	17263,2	1425,9	12,27
2011	aprill	720	157 631	134 043	218,93	186,17	14101,8	1164,8	14,33
2011	mai	744	85 568	61 791	115,01	83,05	13308,0	1099,2	26,85
2011	juuni	720	49 190	30 858	68,32	42,86	17403,0	1437,5	35,38
2011	juuli	744	44 742	25 729	60,14	34,58	19345,0	1597,9	40,36
2011	august	744	49 222	28 736	66,16	38,62	21285,0	1758,1	39,46
2011	september	720	58 232	36 033	80,88	50,05	19402,0	1602,6	36,37
2011	oktoober	744	135 684	107 777	182,37	144,86	22920,0	1893,2	19,44
2011	november	720	180 865	154 379	251,20	214,42	16524,0	1364,9	13,99
2011	detsember	744	232 271	199 664	312,19	268,37	15955,0	1317,9	13,55
2012	jaanuar	744	310 329	268 228	417,11	360,52	19540,0	1614,0	13,11
2012	veebruar	672	332 998	296 208	495,53	440,79	16929,0	1398,3	10,67
2012	märts	744	237 770	206 326	319,58	277,32	16855,0	1392,2	12,71
2012	aprill	720	173 084	147 969	240,39	205,51	23874,0	1972,0	13,53
2012	mai	744	80 035	57 363	107,57	77,10	24038,0	1985,5	26,5
2012	juuni	720	57 328	35 400	79,62	49,17	21871,0	1806,5	36,24

2012	juuli	744	49 445	29 493	66,46	39,64	22712,0	1876,0	38
2012	august	744	50 496	30 544	67,87	41,05	21495,0	1775,5	37,31
2012	september	720	63 252	40 151	87,85	55,77	18175,0	1501,3	34,98
2012	oktoober	744	158 801	130 550	213,44	175,47	19607,0	1619,5	16,94
2012	november	720	203 606	174 484	282,79	242,34	15185,0	1254,3	13,77
2012	detsember	744	335 322	290 525	450,70	390,49	23620,9	1951,1	12,85
2013	jaanuar	744	304 242	267 949	408,93	360,15	17364,0	1434,3	11,51
2013	veebru	672	246 348	218 008	366,59	324,42	15008,0	1239,7	11,06
2013	märts	744	300 689	255 011	404,15	342,76	18953,1	1565,5	14,75
2013	aprill	720	180 300	158 295	250,42	219,85	18256,0	1507,9	11,46
2013	mai	744	78 691	54 447	105,77	73,18	41966,0	3466,4	27,62
2013	juuni	720	50 087	30 277	69,57	42,05	32606,3	2693,3	36,12
2013	juuli	744	47 472	28 277	63,81	38,01	25412,0	2099,0	37,68
2013	august	744	47 742	28 983	64,17	38,96	19573,0	1616,7	37,16
2013	september	720	66 963	43 951	93,00	61,04	20796,0	1717,7	32,64
2013	oktoober	744	150 077	125 603	201,72	168,82	22347,0	1845,9	15,27
2013	november	720	187 625	159 949	260,59	222,15	13712,0	1132,6	14,23
2013	detsember	744	228 163	196 641	306,67	264,30	16319,0	1347,9	13,3

Lisa 3

Tvõ	T1, IRU ja Tallinna EJ-d	T1, Laagna PJ, Spordi KM	T1, Mustamäe, Kristiine ja Ülemiste KM-d	T3gr_nr	T2gr_nr
10	75	70	73	37	32
9	75	70	73	39	33
8	75	70	73	41	35
7	75	70	73	43	36
6	75	70	73	44	37
5	75	70	73	46	38
4	75	70	73	48	39
3	78	72	75	50	40
2	78	72	75	52	42
1	78	72	75	53	43
0	80	73	78	55	44
-1	80	73	78	57	45
-2	80	73	78	58	46
-3	85	78	83	60	47
-4	85	78	83	62	48
-5	90	83	85	63	49
-6	90	83	85	65	50
-7	95	88	90	67	51
-8	95	88	90	68	52
-9	100	93	95	70	53
-10	100	93	95	71	54
-11	104	97	100	73	55
-12	104	97	100	75	56
-13	108	101	105	76	57
-14	108	101	105	78	58
-15	110	103	105	79	59
-16	110	103	105	81	60

-17	112	105	110	82	61
-18	114	107	110	84	61
-19	116	109	115	85	62
-20	118	111	115	87	63
-21	120	113	115	88	64
-22	122	115	118	90	65

Tvõ - välisõhu temperatuur

T1 - soojusvõrgu dispetseri poolt etteantud võrguvee temperatuur

T3gr_nr - tarbijate kütte- ja ventilatsioonisüsteemide andva võrguvee temperatuur
 automatiseeritud soojussõlmes

T2gr_nr - tarbijate kütte- ja ventilatsioonisüsteemidest tagastuva võrguvee
 temperatuur
 automatiseeritud soojussõlmes

Kasutatud kirjandus

1. <https://www.energia.ee/et/jaatmeenergiaploki-rajamine> (15.04.14)
2. <http://pub.stat.ee/px-web.2001/Dialog/varval.asp?ma=KK41&ti=ILMASTIK+%28KUUD%29&path=../Database/Keskkond/04Keskkonnaseisund/10Ehuseire/&lang=2> (24.03.14)
3. Инструкция по эксплуатации тепловых сетей. „энергия“ 1972
4. Tööstustorustikud ja kaugküttevõrgud. Ivan Klevtsov. Tallinn 2009
5. www.emhi.ee (26.03.14)
6. Tallinna Kütte intranet
7. Tallinna Küte võrgujuhtimise programm ADAM
8. EUROOPA ÜHENDUSTE KOMISJON. KOMISJONI TEATIS. Energiatõhusus: eesmärgiks seatud 20 % energiasäästu saavutamine, KOM(2008) 772 lõplik, Brüssel 13.11.2008
9. Roadmap 2050. A Practical guide to a prosperous, low-carbon Europe. Technical analysis. Executive summary. 2010a.
10. Euroopa Parlamendi 15. detsembri 2010. aasta resolutsioon energiatõhususe tegevuskava läbivaatamise kohta (2010/2107(INI)) (2012/C 169 E/09)
11. Euroopa Liidu Teataja. Direktiivid. Euroopa Parlamendi ja Nõukogu direktiiv 2012/27/EL 25. oktoober 2012
12. Energiatõhususe kava 2011. KOM(2011) 109 lõplik. KOMISJONI TEATIS EUROOPA PARLAMENDILE, NÕUKOGULE, EUROOPA MAJANDUS- JA SOTSIAALKOMITEELE NING REGIOONIDE KOMITEELE. Brüssel 8.3.2011

13. EUROOPA PARLAMENDI JA NÕUKOGU DIREKTIIV 2010/31/EL, hoonete energiatõhususe kohta, 19. mai 2010
14. Passiivmajatehnoloogia. Kvaliteedi tagamine kõrge energiatõhususega hoone ehitamisel. Tõnu Muring, Jaanus Hallik, Ago Siiner, Margus Valge. 2009
15. Passiivmajad aktiivsetele kogukondadele. Jörg Faltin, Michal Tvrdoň. 2011
16. www.stat.ee KE03: ELEKTRIENERGIA BILANSS. http://pub.stat.ee/px-web.2001/Dialog/varval.asp?Ma=KE03&ti=ELEKTRIENERGIA+BILANSS&path=../Database/Majandus/02Energeetika/02Energia_tarbimine_ja_tootmine/01Aastastatistika/&lang=2 (24.03.14)
17. Leibkonna energiatarbimine 1996. Statistikaamet, 1998
18. Leibkondade energiatarbimise uuring 2012. Statistikaamet, 2013
19. www.stat.ee , 2011 aasta rahvaloendus, RL0819: TAVAEELURUUMIDES ELAVAD TAVALEIBKONNAD (20.03.14)
20. www.stat.ee , 2000 aasta rahvaloendus, RL721: ASUSTATUD TAVAEELURUUMID, LEIBKONNAD JA ELANIKUD, 31. märts 2000 (20.03.14)
21. Hoone energiaaudiitorite koolitus. Tallinn 2008. TTÜ
22. <http://www.kredex.ee/energiatohususest/kraadpaevad-4/> (16.04.14)
23. <https://www.riigiteataja.ee/aktilisa/0000/1309/4120/13120003.pdf> (28.03.14)
24. Tallinna Küte AS CRM süsteem
25. Eesti kaugkütte teekaart 2030. Peep Siitam. Eesti Arengufond. 2013
26. Tallinna Küte AS majandusaasta aruanne 2012

27. <http://elering.ee/elektrituru-hind/> (20.04.14)
28. <http://www.elektrihind.ee> (20.04.14)
29. <https://www.elektrilevi.ee/hind> (20.04.14)
30. KAS ENERGIA ON EESTIS ODAV VÕI KALLIS? Rita Raudjärv, Ljudmilla Kuskova. EESTI STATISTIKA KVARTALIKIRI. 4/11. Statistikaamet (20.04.14)
31. Soojussõlme projekteerimise üldised tehnilised tingimused. Tallinna Küte AS. 2009a.
32. www.coralinstal.ro (05.05.14)
33. <http://www.feb.ee> (05.05.14)