



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
INSENERITEADUSKOND
Ehituse ja arhitektuuri instituut

**TAGASIVOOLUTEMPERATUURI MÕJU
KAUGKÜTTE EFEKTIIVSUSELE
REKONSTRUEERITAVA MAGALARAJOONI NÄITEL**

**RETURN TEMPERATURE EFFECT ON DISTRICT HEATING
EFFICIENCY IN A RENOVATED MICRODISTRICT**

MAGISTRITÖÖ

Üliõpilane: Katarina Kuznetsova
/nimi/

Üliõpilaskood 153819

Juhendaja: Karl-Villem Võsa, nooremteadur
/nimi, amet/

(Tiitellehe pöördel)

AUTORIDEKLARATSIOON

Olen koostanud lõputöö iseseisvalt.

Lõputöö alusel ei ole varem kutse- või teaduskraadi või inseneridiplomit taotletud.

Kõik töö koostamisel kasutatud teiste autorite tööd, olulised seisukohad,

kirjandusallikatest ja mujalt pärinevad andmed on viidatud.

"17" ...mai.... 2021

Autor: allkirjastatud digitaalselt

/ allkiri /

Töö vastab bakalaureusetöö/magistritööle esitatud nõuetele

"....." 20.....

Juhendaja:

/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

".....".....20... .

Kaitsmiskomisjoni esimees

/ nimi ja allkiri /

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks¹

Mina Katarina Kuznetsova (*autori nimi*) (sünnikuupäev: 23.08.1996)

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose Tagasivoolutemperatuuri mõju kaugkütte efektiivsusele rekonstrueeritava magalarajooni näitel,

(lõputöö pealkiri)

mille juhendaja on Karl-Villem Võsa,

(juhendaja nimi)

1.1 reprodutseerimiseks lõputöö säilitamise ja elektroonse avaldamise eesmärgil, sh Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogusse lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

1.2 üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tallinna Tehnikaülikooli veebikeskkonna kaudu, sealhulgas Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogu kaudu kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni.

2. Olen teadlik, et käesoleva lihtlitsentsi punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.

3. Kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest ning muudest õigusaktidest tulenevaid õigusi.

¹*Lihtlitsents ei kehti juurdepääsupiirangu kehtivuse ajal, välja arvatud ülikooli õigus lõputööd reprodutseerida üksnes säilitamise eesmärgil.*

Allkirjastatud digitaalselt (*allkiri*)

17.05.2021 (*kuupäev*)

Ehituse ja arhitektuuri instituut

LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Üliõpilane: Katarina Kuznetsova, 153819EAKI (nimi, üliõpilaskood)
Õppekava, peaariala: EAKI02/15 – Hoonete sisekliima ja veetehnika (kood ja nimetus)
Juhendaja(d): nooremteadur, Karl-Villem Võsa, +3726202511 (amet, nimi, telefon)
Konsultant:(nimi, amet)
..... (ettevõtte, telefon, e-post)

Lõputöö teema:

(eesti keeles) ..TAGASIVOOLUTEMPERATUURI MÕJU KAUGKÜTTE EFEKTIIVSUSELE REKONSTRUEERITAVA MAGALARAJOONI NÄITEL

(inglise keeles) RETURN TEMPERATURE EFFECT ON DISTRICT HEATING EFFICIENCY IN A RENOVATED MICRODISTRICT

Lõputöö põhieesmärgid:

1. Uurida rekonstrueeritavate hoonete osakaalu ja tagasivoolu temperatuuri mõju kaugküttevõrgu efektiivsusele
2. Uurida kaugküttesüsteemi katla efektiivsus täis- ja osakoormustel erinevatel temperatuurirežiimidel
3. Uurida kaugküttesüsteemi katla aastane keskmine kasutegur ja kuluv kütuse kogus

Lõputöö etapid ja ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Tähtaeg
1.	Kirjanduse ülevaate koostamine	02.2021
2.	Lähteandmete kogumine	02.2021
3.	Mudelite koostamine simulatsioonitarkvaras IDA-ICE ja esialgsed tulemused.	03.2021
4.	Modelleeritud olukordade analüüs.	04.2021
5.	Katla efektiivsuse arvutamine.	04.2021
6.	Töö tulemuste süstematiseerimine ja selle viimistlemine.	05.2021
7.	Lõputöö lõpliku versiooni kirjutamine.	05.2021

Töö keel: Eesti

Lõputöö esitamise tähtaeg: "17" mai 2021a

Üliõpilane: Katarina Kuznetsova allkirjastatud digitaalselt "17"...mai....2021a
/allkiri/

Juhendaja: ".....".....20.....a
/allkiri/
Konsultant: ".....".....20.....a
/allkiri/
Programmijuht: ".....".....20.....a
/allkiri/

Kinnise kaitsmise ja/või lõputöö avalikustamise piirangu tingimused formuleeritakse pöördel

SISUKORD

EESSÕNA	8
Lühendite ja tähiste loetelu.....	9
1 SISSEJUHATUS	10
Kirjanduse ülevaade	12
2 TEOREETILINE OSA	14
2.1 Kaugküttesüsteemid.....	14
2.2 Kaugküttesüsteemi katel.....	14
2.3 Hoone soojuskaod.....	15
3 MEETODID	17
3.1 Tüüphooned	17
3.1.1 Renoveerimata hoone	17
3.1.2 Renoveeritud hoone	18
3.2 Mudel.....	20
3.2.1 Koostatud mudelid.....	22
3.2.2 Kliimafail.....	23
3.2.3 Kaugküttesüsteemi temperatuurigraafikud	24
3.2.4 Kaugküttesüsteemi torustik	25
3.2.5 Kaugküttesüsteemi soojuskaod	26
3.2.6 Soojusvahetid	29
3.2.7 Tarbevee süsteem	31
3.2.8 Sekundaarpoolne küttesüsteem.....	33
3.2.9 Katel	34
4 TULEMUSED JA ANALÜÜS	37
4.1 Tagasivoolu temperatuuride võrdlus	37
4.2 Soojuskoormuste võrdlus	40
4.3 Soojuskaod.....	43
4.4 Kasutegurite võrdlus.....	45
4.5 Kütuse koguse ja hinna võrdlus.....	46
KOKKUVÕTE	49
SUMMARY	51

KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU	53
LISAD	55
Lisa 1. Renoveeritud hoone soojussõlme mudel	56
Lisa 2. Renoveerimata hoone soojussõlme mudel.....	57
Lisa 3. Kaugküttesüsteemi mudel.....	58

EESSÕNA

Käesoleva lõputöö teema on valitud juhendaja Karl-Villem Võsa abiga.

Lõputöös uuritakse tagasivoolutemperatuuri mõju kaugküttevõrgu katla efektiivsusele. Antud lõputöö käigus modelleeritakse magalarajoon erinevate tüüp kortermajadega ja selle rajooni kaugküttevõrk. Magalarajooni teenindab üks kaugküttekattlamaja. Selleks, et tagasivoolutemperatuuri arvutus oleks täpsem, modelleeritakse ka kaugküttevõrgu torustiku soojuskaod.

Simulatsioonid on teostatud dünaamilise simulatsiooni tarkvaraga IDA-ICE 4.8 Advanced-tasemel.

Soovin tänada oma juhendajat Karl-Villem Võsa aitamise eest.

Lühendite ja tähiste loetelu

Lühendid

EVS - Eesti Vabariigi Standard
MTM - Majandus- ja taristuministri
VAT - välisõhu arvutuslik temperatuur
TRY – Eesti energiaarvutuste baasaasta (Test Reference Year)
ESRU – Energy Systems Research Unit

Tähised

$T_{võ}$ – välisõhu temperatuur
 T_{1f} – soojusvõrgu dispetšeri poolt etteantud võrguvee temperatuur
 T_{2f} – tarbijate kütte- ja ventilatsioonisüsteemidest tagastuva võrguvee temperatuur
 U_1 – peale- ja tagasivoolutoru soojuslähikandetegur, $W/(m^2K)$
 U_{ting} – pealevoolu- ja tagasivoolutorude vahelist soojusvahetust arvestatav soojuslähikandetegur, $W/(m^2K)$
 R_1 – peale- ja tagasivoolutoru soojustakistus, m^2K/W
 R_i – toru soojusisolatsiooni soojustakistus, m^2K/W
 R_p – pinnase arvestuslik soojustakistus, m^2K/W
 R_{ting} – pealevoolu- ja tagasivoolutorude vahelist soojusvahetust arvestatav soojustakistus, m^2K/W
 b – peale- ja tagasivoolude tsentrite vaheline kaugus, m
 h – paigaldussügavus maapinnalt toru teljeni, m
 λ_p – pinnase soojusjuhtivustegur, $W/(m^2K)$
 h_t – toru telje taandatud sügavus, m
 D_v – ümbristoru välis läbimõõt, m
 α_0 – soojusülekanndetegur maapinnalt õhule, $W/(m^2K)$
 η – soojuslik kasutegur, %
 Q_{km} – müüdud soojusenergia kogus, kWh
 Q_{kt} – toodetud soojusenergia kogus, kWh
 Q_a^t – kütuse alumine kütteväärtus, kWh/m³
 T_r – süsteemi tagasivoolu temperatuur, °C
 L – katla koormus, 0-1 vahel

1 SISSEJUHATUS

Eesti suurlinnades on kõige levinum kütteallikas kaugküttesüsteem. Kaugküttesüsteemi kasutatakse selleks, et tagada elanike küttevajadust. Eestis on kokku 239 kaugkütte võrgupiirkonda. Katlamajades peamiselt kasutatavad toorained on biomass(51,5%) ja maagaas(21,2%). Vähem kasutatakse põlevkivi(9,8%), uttegaasi(6,9%) põlevkiviõli(2,2%) ja turvast(4,9%)[1]. Kaugküttesüsteemid arenevad ja eesmärk on muuta need keskkonnasõbralikumaks, seepärast loobutakse fossiilkütusest ja ehitatakse rohkem koostootmisjaamu.

Praegu võib tuua välja neli kaugkütte põlvkonda [2][3]:

1. Esimene põlvkond – (aastad 1880-1930) kõige esimene kaugküttesüsteem, soojuskandjana oli aur. Kütusena kasutati peamiselt kivisüsi [2][3].
2. Teine põlvkond – (aastad 1930-1980) soojuskandajana oli vesi üle 100°C. Kütusena kasutati peamiselt kütteõli ja kivisütt [2][3].
3. Kolmas põlvkond - (aastad 1980-) soojuskandajana oli vesi alla 100°C. Kütusena kasutati alguses kütteõli ja kivisütt, hiljem gaasi, biomassi ja prügi. Hakkasid levima koostootmisjaamad [2][3].
4. Neljas põlvkond – kaugkütte tuleviku arengusuund. Põhimõtted on alandada soojuskandja temperatuuri, kasutada rohkem koostootmisjaamu ja taastuvaid energiaallikaid, materjalide säästlik kasutamine [2][3].

Vajalik hoonete küttekoormus väheneb tänu uutele tehnoloogiatele, seadustele, energiatõhusamatele hoonetele ja see annab võimalust kasutada kaugküttesüsteemides madalamat soojuskandja temperatuuri. Sellel on olemas oma plussid, nagu soojuskandjate vähendamine, tootmisjaama kasuteguri tõstmine ja võimalus kasutada taastuvenergia soojusallikaid nagu päikeseenergia, hüdroenergia või jääksoojust. Aga neljanda põlvkonna kaugküttesüsteem madala soojuskandja temperatuuriga peab olema võimalus tagada mitte ainult uute madalaenergia hoonete vaid ka olemasolevate vanade ja rekonstrueeritavate hoonete küttevajadust.

Käesoleva lõputöö eesmärk on uurida rekonstrueeritavate hoonete osakaalu ja tagasisivoolu temperatuuri mõju kaugküttevõrgu efektiivsusele rekonstrueeritavates magalarajoonides. Vaadeldavaks objektiks tuleb magalarajoon suurusjärgult 50 hoonet. Magalarajooni teenindab üks kaugküttesüsteem. Modelleeritakse kaks erinevate küttegraafikute ja soojuskoormustega tüüporterimaja. Vaadeldavates hoonetes on nii

küttesüsteem, kui ka tarbeveesüsteem. Erinevatest tarbijatest moodustatakse tarbijate võrgustik. Võrgustik simuleeritakse ning jälgitakse kaugküttesüsteemi tagasivoolu temperatuure. Selleks, et tagasivoolu temperatuuri arvutus oleks täpsem, modelleeritakse ka kaugküttevõrgu torustiku soojuskadusid. Kaugküttekatla efektiivsuse arvutamiseks võtame aluseks gaasikatla, mille puhul saame ette anda piisava detailsusega efektiivsused täis- ja osakoormustel erinevatel temperatuurirežiimidel. Tulemuseks saame aastase keskmise kasuteguri ja kuluva kütuse koguse.

Kirjanduse ülevaade

Töö teoreetiline osa põhineb kättesaadaval artiklidel ja õppematerjalidel. On kasutatud ka teemaga seotud Eesti Vabariigi normdokumente.

Autori meelest, kõigi lähedam uuring Eestis, mis on seotud käesoleva töö teemaga, on Anton Rohusalu magistritöö "Kaugkütte lõpptarbijate parameetrite mõju kaugküttevõrgu efektiivsusele AS Tallinna Kütte näitel ning nende parendamine"[4]. Anton Rohusalu töös uuritakse, kuidas mõjutavad kaugkütte soojuskadudele lõpptarbijate tarbimise parameetrid ja kuidas neid parendada. Töös kasutatakse kaugkütte parameetrite modelleerimiseks programm Term. Kuid Anton Rohusalu magistritöös on keskendunud lõpptarbijate parameetritele ning kaugkütte parameetrid ja nende parendamine on jäänud tahaplaanile. Eestis on tehtud ka suur uuring Aleksandr Hlebnikovi poolt „Eesti kaugkütte soojusvõrkude efektiivsuse analüüs ja optimeerimine“[5]. Töös on uuritud kuidas vähendada kaugküttevõrgu soojuskadusid, mis Eestis on üsna kõrged. Madala temperatuuriga kaugküttesüsteemide arengut uurisid Anna Volkova, Igor Krupenski et al. töös „Small low-temperature district heating network development prospects“[6]. Töös on uuritud kolm erinevate temperatuurigraafikutega kaugküttesüsteemi. Välismaal oli tehtud töö, kus P.Kräuchi, T.Schluck ja M.Sulzer modelleerisid madala temperatuurigraafikuga kaugküttesüsteemid IDA-ICE tarkvaras [7].

Välismaal palju uuritakse katelde efektiivsust. Hiina teadlased uurivad kivisöe katelde efektiivsust ja selle parendamine[8,9]. On tehtud erinevad mudelid katelde efektiivsuse arvutamiseks isegi reaalajas. Hiinas umbes 80% kateldest töötavad kivisöel kuid Eestis seda toorainet kaugküttesüsteemides ei kasutata. Gaasikatla efektiivsust uurisid teadlased Türgist Meryem Terhan ja Kemal Comakli oma töös "Energy and exergy analyses of natural gas-fired boilers in a district heating system"[10]. Eestis oli kirjutatud bakalaurestitöö „Katlamaja hakkpuidule üleviimine Riisipere näitel“, autor on Atko Siht[11]. Töös on kirjeldatud kuidas toimub üleminek katlamajas õliküttelt hakkpuidukütusele. Bakalaurestitöös arvutatakse ka katelde kasutegureid ja üleviimise majanduslikku kasumlikkust. ESRU aruandes on toodud gaasi-kondensatsioonikatla, mitte kondensatsiooni katla ning õlikatla efektiivsuse kõverad [12]. On toodud ka efektiivsuse kõverate koefitsiendid.

Käesolevas töös on simuleeritud kaugküttetorustik ning olid ka üle vaadatud uuringud mis on seotud kaugküttetorustiku modelleerimisega. Huvitav programm oli pakutud Ahmed Hussein ja Andreas Kleini töös "Modelling and validation of district heating networks using an urban simulation platform"[13]. Selles töös on näidatud SimStadt

programm, mis aitab modelleerida kaugküttesüsteemi efektiivselt, kasutades vähem torustiku, mis vähendab ka torustiku soojuskadusid.

2 TEOREETILINE OSA

2.1 Kaugküttesüsteemid

Eestis on 226 omavalitsust ning nendest kasutab kaugkütet 149. Hinnanguliselt tarbib sel moel toodetud soojust ligi 60% eesti elanikkonnast. Ülejäänud elanikud kasutavad soojust tootmiseks lokaalseid kütteseadmeid. Kokku on Eestis 239 kaugküttevõrku ning 1430 km soojustorustikku. Eestis on kaugkütte toimimine reguleeritud kaugkütte-, konkurentsi- ning hädaolukorra seadustega[14].

Praegu Eestis on kasutusel kolme põlvkonna kaugküttesüsteemid. Suuremad kaugküttevõrgud on Utilitas AS, mis varustab kaugküttega Tallinna linnas, ja Fortum AS, mis varustab Pärnu ja Tartu linnas.

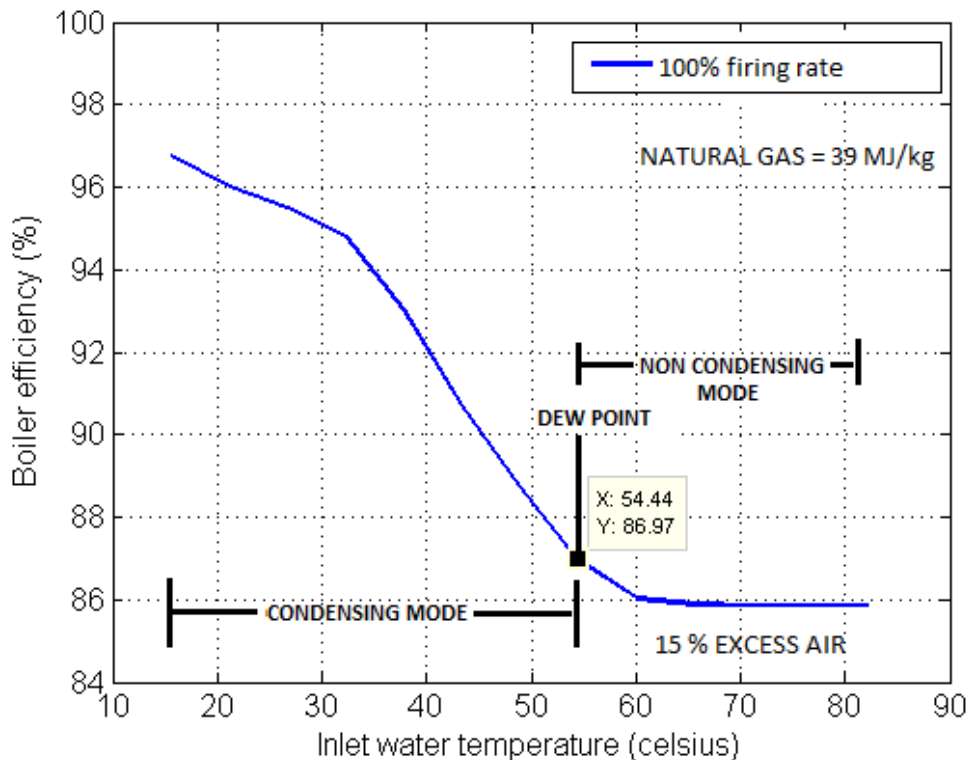
Eesti Jõujaamade ja Kaugkütte Ühing on tunnustanud kõiki energiakontserni Utilitas kaugküttesüsteeme tõhusa kaugkütte märgiga. AS Utilitas Tallinn praegu suuremas osakaalus kasutab kütusena hakkepuitu. Külmade ilmade korral, millal klientide tarbimisvajadus jõuab tippu, kasutatakse soojust tootmiseks lisaks hakkepuidule ka maagaasi ja põlevkiviõli. Väiksemates lokaalkatlamajades kasutatakse siamaani gaasikatlad, nt Mustamäe gaasikatlamaja. On olemas ka jäätmeenergiaplokk, mis toodab soojust ja elektrit olmeprügist, näiteks Iru koostootmisjaam[15].

Fortum toodab soojust koostootmisjaamades ja katlamajades, kus kasutab kohalikku päritolu kütust - peamiselt metsa- ja puidutööstuse jääkidest toodetud hakkepuitu ja aeg-ajalt turvast. Tipukoormuste katmiseks kasutatakse tipukatlamajades kütusena ka maagaasi. Soojusvõrgus saab ära kasutada ka soojust, mis tekib teistes tootmisprotsessides (mittepõletamismeetodid) nt AS Fortum kasutab Tartus ära trükikojas ja kaugjahutuses tekkinud soojust[16]. AS Fortum pakub ka kaugjahutuse teenust.

2.2 Kaugküttesüsteemi katel

Antud töö raames vaadeldakse katelt, kus kütusena kasutatakse maagaasi, kuna tegu on üsna väikse lokaalkatlamajaga. Maagaas on kõrge kütteväärtuse ja madala süsinikusisaldusega alternatiivkütus naftale ja kivisöele. Maagaasi põlemisel ei moodustu peenosakesi nagu õli või ka puidu põletamisel tekkiv tahm ja suits, mis on märkimisväärseks ohuks tervisele ja surmavaim õhusaaste liik [17]. Gaasi alumine kütteväärtus on $9,3 \text{ kWh/m}^3$ [18]. Kütteväärtus on füüsikaline suurus, mis näitab

vabanevat soojushulka ühikulise koguse kütuse täielikul põlemisel. Alumise kütteväärtusena mõistetakse põlemisel eralduvat soojushulka, mille eelduseks on, et põlemisel tekkiv vesi eraldub veeauruna[19].



Joonis 1. Gaasikatla kastepunkt [19]

Tänapäevased gaasiküttekatelde efektiivsus küündib 90%. Kondensatsioonikatlad kasutavad kütmisel ära veeauru. See veeaur väljutatakse korstna kaudu koos suitsugaasiga. Seda tüüpi kateldes veeaur kondenseerub ja selle tulemusel tekkinud soojust kasutatakse kütmisel ära [20]. Mida madalam on gaasikatlasse sisenev temperatuur, seda suurem on veeauru hulk ning katla kasutegur[19]. Selleks, et jahutada suitsugaase, süsteemi tagasivoolu temperatuur peab olema kastepunktist madalamal ehk 54°C madalamal (vt Joonis 1). Juhul, kui süsteemi tagasivoolu temperatuur on suurem, kui kastepunkt, katla kasutegur väheneb märgatavalt kuna kondenseerumist toimub vähe või ei toimu üldse[19].

2.3 Hoone soojuskaod

Hoone soojuskaod on läbi hoone välispiirete väliskeskkonda kadunud soojushulk. Välispiirded on välisseinad, põrandad ja katused. Nende soojuskaod arvutatakse vastavalt välispiirdeosa soojuslähivusele ja sisemõõtudega arvutatud pindalale. Samuti on vaja võtta arvesse ka infiltratsiooni, sest see mõjutab suurel määral hoonete soojuskadu. Infiltratsioon on välisõhu sissevool hoonesse läbi pragude ja teiste

mittetahtlike avade välispiirdes või läbi välisuste tavapärase kasutuse. Infiltratsiooni õhuvoolu suurus sõltub hoone õhu rõhkude erinevusest kahel pool piiret, õhupidavusest, lekkekohtade paiknemisest, kasutatavatest materjalidest, ventilatsiooni tasakaalustatusest ning kliimatingimustest [21].

Hoones ka esinevad vabasoojused. Hoone vabasoojuse allikad on inimesed, elektriseadmed, elektrivalgustus ja päikesekiirgus. Vabasoojused sõltuvad hoone kasutusprofiilidest [22].

3 MEETODID

Antud peatükis on antud ülevaade mudeli parameetritest ja lähteandmetest. On kirjeldatud töö käik ja simulatsiooni mudeli koostis.

3.1 Tüüphooned

Antud lõputöö raames modelleeritakse kaks erinevate temperatuurigraafikutega tüüphoonet. Lõputöös on esitatud:

1. vana renoveerimata hoone küttegaafikuga 80°C/60°C;
2. vana renoveeritud hoone küttegaafikuga 70°C/50°C;

Kõikides hoonetes on ette nähtud tarbeveearustuse süsteem temperatuurigraafikuga 8°C/55°C. Kortermajades on olemas veevarustuse ringlustorustik.

Hooned on modelleeritud Akadeemia tee 5a mudeli baasil. Mudelid on tehtud nii renoveerimata kui ka renoveeritud maja korral.

3.1.1 Renoveerimata hoone

Antud töös on mudeldatud viiekorruseline paneelmaja nelja trepikojaga, mis on üsna tüüpiline Tallinna ja selle piirkonna jaoks (vt Joonis 2). Kortermajas on 60 korterit ja köetav pind on umbes 4300 m². Sellised tüüpkortermajad ehitati aastatel 1960-1990.

Hoones on radiaatorküttesüsteem küttegaafikuga 80°C/60°C. Hoone küttesüsteemi torustik on paigaldatud terastorudest. Küttekehadena kasutati enamasti malmribidest radiaatoreid. Küttesüsteemil puudub ruumipõhine reguleerimise võimalus.

Hoones puudub mehhaaniline ventilatsioon. On kasutusel ehitusaegne loomulik ventilatsioon, mille toimivus on ajaperioodis ebaühtlane.

Hoones on olemas tarbeveesüsteem koos sooja vee ringlusega. Süsteem koosneb roostevaba terastorudest. Maksimalne tarbeveesüsteemi võimsus on 110kW.

Küttesüsteemi sekundaarpoolse tagasivoolu temperatuuride ja massivooluhulkade arvutamiseks on kasutatud hoone IDA-ICE mudel (vt Joonis 3)[23]. Mudel on tsoneeritud korterite kaupa. Ka eraldi tsooniga on tehtud trepikoda. Keskmised korrused ei ole simuleeritud täielikus mahus. On mudeldatud üks korrus kolmest, korrust

küttesüsteemi vooluhulk ja ventilatsiooni õhuhulgad on korrutatud kolmega. See on aktsepteeritav lihtsustus, kuna planeering ja temperatuurid antud tsoonides on sarnased. Mudelis on kasutatud mitte ideaalsed küttekehad vaid veebaasil töötavad radiaatorid. Arvutuslikud soojuskadud, mis on kasutatud mudeli koostamises, on 316,5kW [23]. Mudelis on arvestatud infiltratsioon ning vabasoojus inimestest, seadmetest ning valgustusest. Kasutusprofiilid on võetud MTM määrusest nr 58 Hoone energiatõhususe arvutamise metoodikast.



Joonis 2. Renoveerimata näidismaja



Joonis 3. Hoone mudel [23]

3.1.2 Renoveeritud hoone

Hoone aluseks on võetud samasugune viiekorruseline paneelmaja nelja trepikojaga vaid renoveeritud (vt Joonis 4). Hoone välisseinale oli lisatud 150mm soojustust selleks, et vähendada hoone soojuskadusid. Hoone katusele lisati 300mm soojustust. Kõige tihedamini kasutatakse isolatsioonimaterjalina EPSi ehk vahtpolüstüreeni. EPS-materjal koosneb 98% ulatuses selle kinnises kärgstruktuuris olevast liikumatust õhust. Liikumatu õhk on teatavasti parim looduslik soojusisolaator. Materjali toodetakse,

kasutatakse ja utiliseeritakse ümbritsevat keskkonda ning inimeste tervist kahjustamata[24].

Hoones on paigaldatud kahetoruine radiaatorküttesüsteem küttegaafikuga 70°C/50°C. Selline graafik oli valitud nagu tüüpiline temperatuurigraafik Tallinna piirkonnas kolmanda kaugkütte põlvkonna jaoks. Radiaatorküttesüsteemi magistraalorustikud tihti paigaldatakse terastorudest, püstikud ja ühendustorud paigaldatakse galvaniseeritud teraspresstorustikust. Renoveerimise ajal tavaliselt asendatakse küttekehasid. Tänapäeval paigaldatakse terasplekk plaatradiaatoreid. Ruumpõhise soojusväljastuse reguleerimiseks ja mõõtmiseks ning tsirkulatsiooni tagamiseks läbi küttekeha, paigaldatakse igale küttekehale eelseadistusega radiaatoriventil koos termostaadiga (18-23°C). Vooluringi sulgemiseks läbi küttekeha paigaldatakse lisaks termostaatventiilile tagasivoolutorule ka sulgventiil. Vastavalt standardile EVS 844:2016[25] hoonete soojuskaod arvutatakse välisõhu arvutuslike temperatuuride järgi (vt Tabel 1).

Hoones on olemas mehhaaniline ventilatsioonisüsteem. Tavaliselt, soojustagastusega ventilatsiooni seade paigaldatakse kas pööningule või katusele. Ventilatsiooniregulaatori kalorifeer töötab vee soojuskandja baasil. Kalorifeerisüsteemi temperatuurigraafik antud töö puhul on 60°C /40°C. Kalorifeerisüsteemi arvutatud võimsus on 51,4kW [23]

Hoones on olemas tarbeveesüsteem koos sooja vee ringlusega. Süsteem koosneb komposiitorudest koos vastavate liitmikutega. Maksimalne tarbeveesüsteemi võimsus on 110kW.

Kütte-ja ventilatsioonisüsteemide sekundaarpoolse tagasivoolu temperatuuride ja massivooluhulkade arvutamiseks on kasutatud hoone IDA-ICE mudel (vt Joonis 3)[23]. Mudel on tsoonitud korterite kaupa. Ka eraldi tsooniga on tehtud trepikoda. Keskmised korrused ei ole simuleeritud täielikus mahus. On mudeldatud üks korrus kolmest ja korruse küttesüsteemi vooluhulk ja ventilatsiooni õhuhulgad on korrutatud kolmega. See on aktsepteeritav lihtsus, kuna planeering ja temperatuurid antud tsoonides on sarnased. Mudelis on kasutatud mitte ideaalsed küttekehad vaid veebaasil töötav radiaatorid. Arvutuslikud soojuskaod, mis on kasutatud mudeli koostamises, on 80kW [23]. Mudelis on arvestatud infiltratsioon ning vabasoojus inimestest, seadmetest ning valgustusest. Kasutusprofiilid on võetud MTM määrusest nr 58 Hoone energiatõhususe arvutamise meetodika.



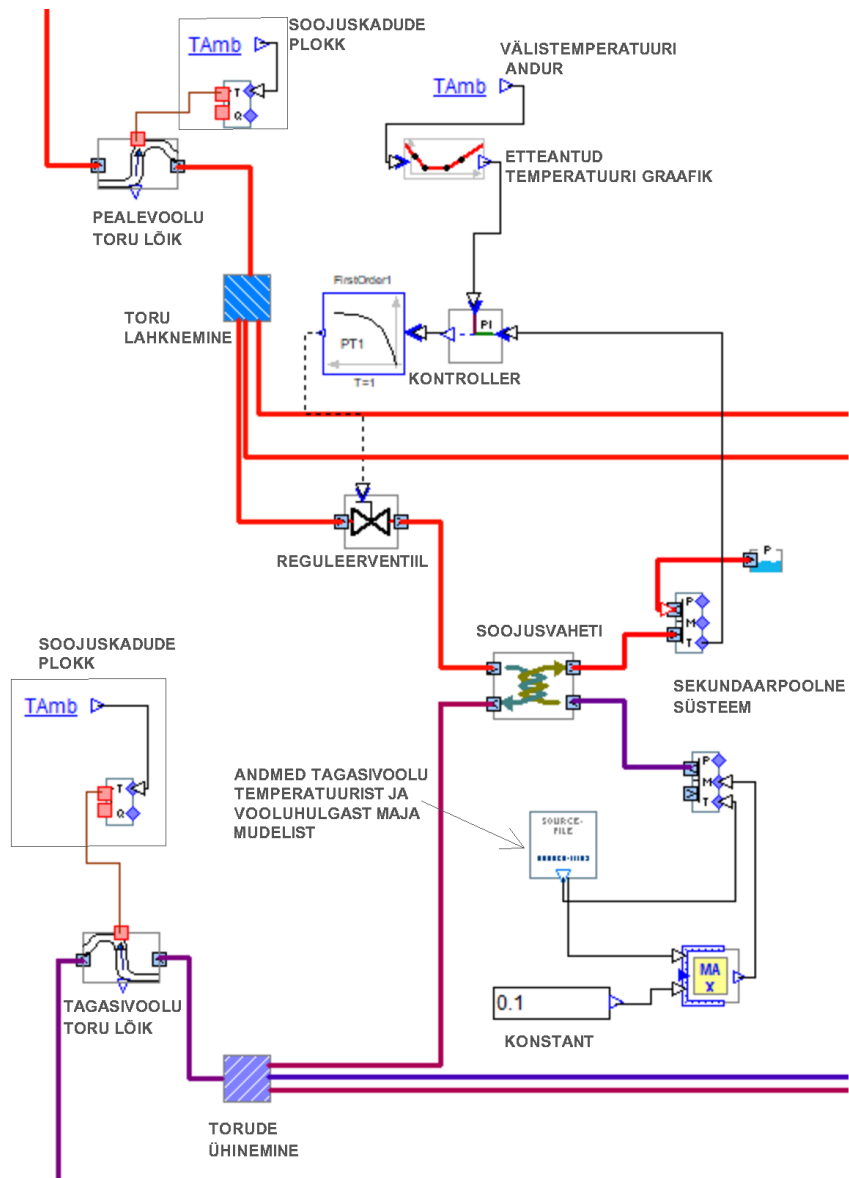
Joonis 4. Renoveeritud näidismaja

Asukoht	VAT, °C
Tallinn	-21
Tartu	-25
Narva	-24
Pärnu	-22
Rakvere	-24
Viljandi	-24
Võru	-25
Valga	-24
Jõgeva	-25
Jõhvi	-24
Türi	-24
Kuressaare	-19
Haapsalu	-20
Rapla	-23
Kärdla	-19

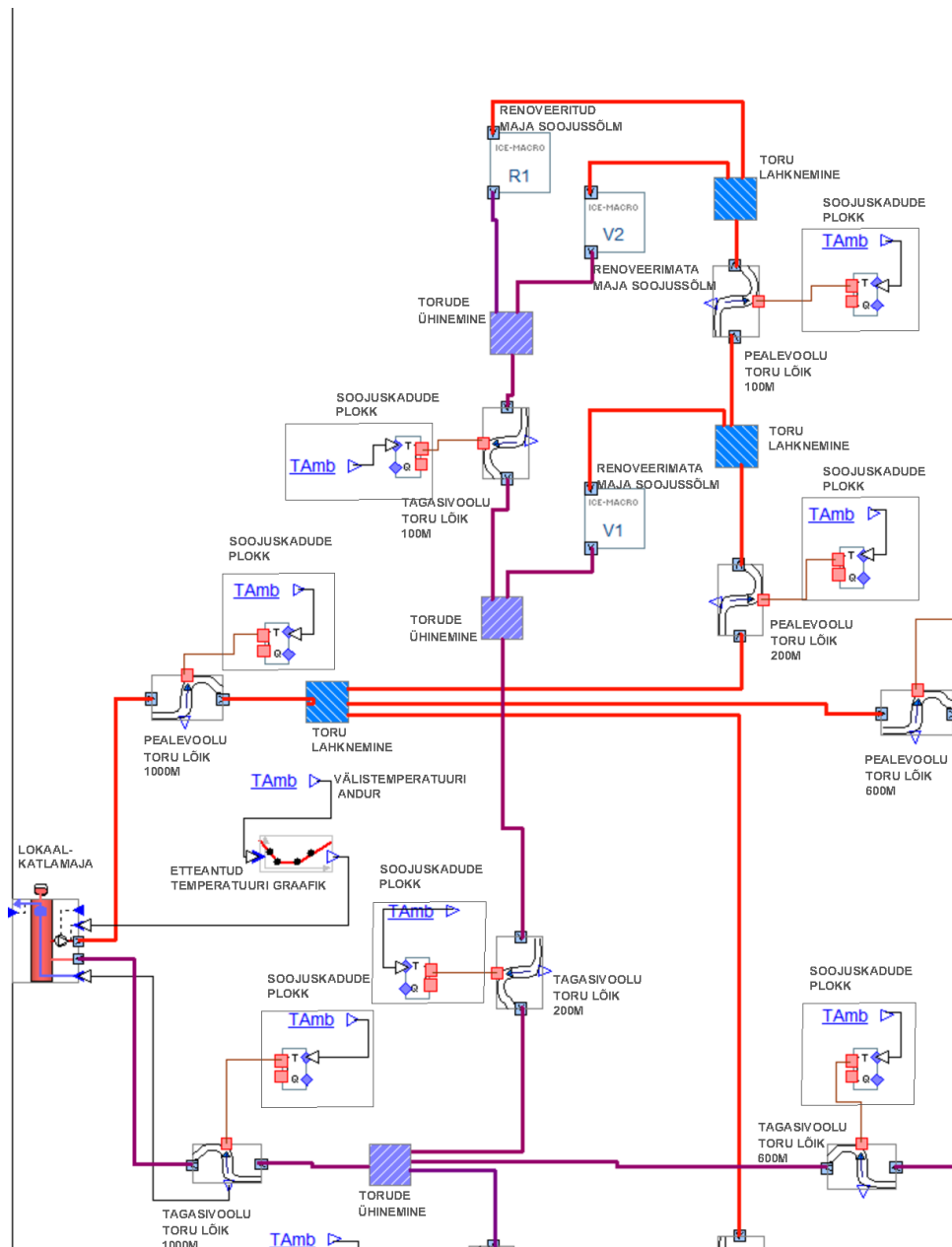
Tabel 1. Välisõhu arvutuslikud temperatuurid [25]

3.2 Mudel

Mudeli koostamiseks on kasutatud dünaamilise simulatsiooni tarkvara IDA-ICE 4.8 Advanced-tasemel. Allpool on toodud joonis hoone küttesüsteemi mudeli koos elementide nimetustega (vt Joonis 5). Hoonete soojussõlme mudelite joonised on toodud magistritöö lõpus (vt Lisa 1 ja Lisa 2). Terve mudel sisaldab kaks erinevate temperatuurigraafikutega tüüphoonet ja nendele kuuluva kaugküttevõrku (vt Lisa 2). Kaugküttesüsteemi mudeli osa elementide nimetustega on toodud allpool (vt Joonis 6). Kaugküttesüsteemi torustikute soojuskaod on ka simuleeritud. Iga toru jaoks on ette antud diameeter ja toru lõigu pikkus. Olid üle vaadatud mitu olemasolevat kaugküttesüsteemi ja tööd, kus neid süsteeme analüüsitakse [4,5]. Kaugkütte torustiku pikkus on valitud lähtudes olemasolevate süsteemide pikkustest.



Joonis 5. Soojussõlme mudeli lõik koos elementide nimetustega



Joonis 6. Kaugküttesüsteemi mudeli osa elementide nimetustega

3.2.1 Koostatud mudelid

Antud töö raames on koostatud 6 mudelit. Mudel sisaldab 50 tüüphoonet, kaugküttetorustik erinevate diameetrite ja pikkustega ning modelleeritud kaugküttetorustiku soojuskadusid. Kaks neist on niinimetatud „puhtad“ mudelid:

- Esimene mudel sisaldab 50 mitterenoveeritud maja küttegaafikuga 80°C /60°C
- Teine mudel koosneb 50 renoveeritud majadest küttegaafikuga 70°C/50°C

Selleks, et teada saada kui palju majade renoveerimine mõjutab kaugküttesüsteemi tagasivoolu temperatuurile, on tehtud mudelid erineva renoveeritud hoonete osakaaluga:

- Mudel, kus on 25% majadest renoveeritud
- Mudel, kus on 50% majadest renoveeritud
- Mudel, kus on 75% majadest renoveeritud

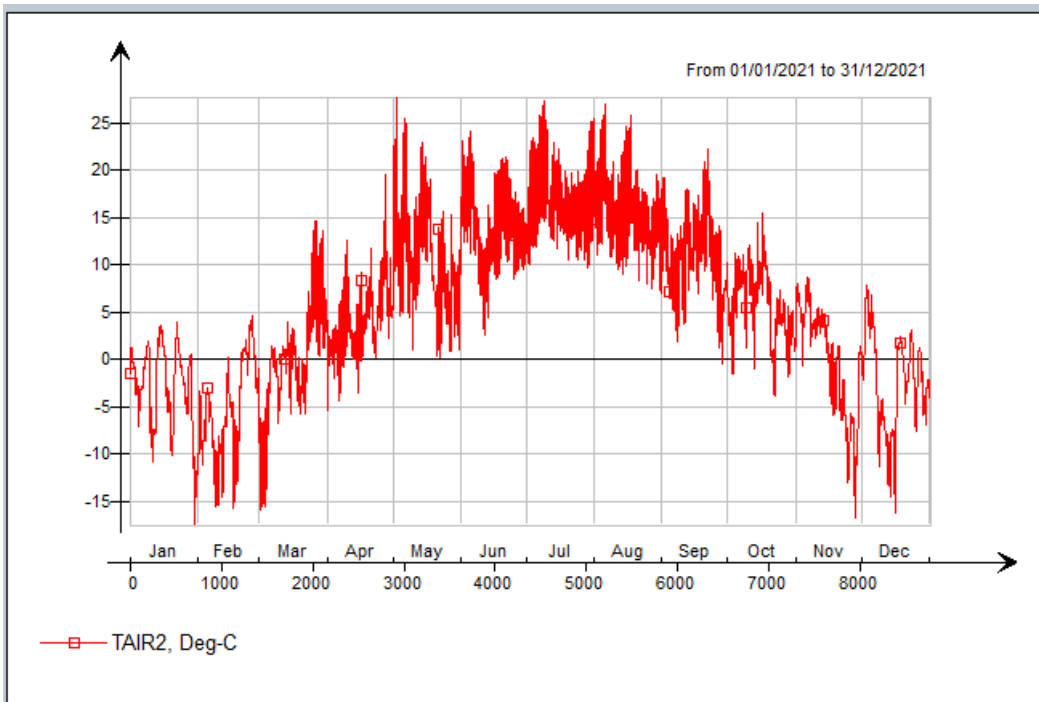
Kokku maja mudelis on 50 tükki, 25% nendest on 12,5 maja, mis ei ole reaalsuses teostatav. Seepärast antud projekti raames 25% all mõistetakse 12 maja.

Selline samm on piisav selleks, et hinnata, kui palju majade renoveerimine mõjutab kaugküttesüsteemi.

Kaugküttesüsteem koosneb uuemast eelisoleeritud torustikust ja selleks, et analüüsida uuemate torude eeldust, on tehtud mudel, kus torudena on kasutatud vanad nõukogude ajalised torud. Selleks oli valitud mudel kõige kõrgema tagasivoolu temperatuuriga ehk renoveerimata magalarajooni mudel.

3.2.2 Kliimafail

Simulatsiooni arvutuseks kasutatakse Eesti energiaarvutuse baasaastat (EstoniaTRY-8784). TRY sisaldab andmed välisõhu temperatuuri (vt Joonis 7), suhtelise niiskuse, tuule ning päikesekiirguse kohta. Antud kliimafailis minimaalne välisõhu temperatuur on -17 °C.



Joonis 7. TRY välisõhu temperatuuri väärtused baasaastas

3.2.3 Kaugküttesüsteemi temperatuurigraafikud

Võrguvee temperatuurigraafiku mudelis simuleeritakse vastavalt kliimafaili välistemperatuurile.

Mudelis kasutatakse AS Utilitas Tallinn võrguvee temperatuurigraafikut, mis näitab võrguvee temperatuuri soojusallikast väljumisel antud välistemperatuuril[15]. Oli valitud Peterburi tee lokaalkatlamaja võrguvee temperatuurigraafik kui kõige levinum temperatuurigraafik Tallinna piirkonnas (vt Tabel 2).

Peterburi 63A,65,76 KM, Mäe 2
KM(end.Paldiski 80)

Tvõ	T1f	T2f
8	60	51
7	60	51
6	60	51
5	60	50
4	60	49
3	60	50
2	60	49
1	60	48
0	60	48
-1	60	49
-2	61	49
-3	63	50
-4	65	51
-5	67	52
-6	68	53
-7	70	54

Tvõ	T1f	T2f
-8	72	56
-9	74	57
-10	75	58
-11	77	59
-12	79	60
-13	80	61
-14	82	62
-15	84	63
-16	85	64
-17	87	65
-18	89	66
-19	90	67
-20	92	68
-21	93	69
-22	95	70

Tvõ – välisõhu temperatuur

T1f – soojusvõrgu dispetseri poolt etteantud võrguvee temperatuur

T2f – tarbijate kütte- ja ventilatsioonisüsteemidest tagastuva võrguvee temperatuur

Tabel 2. Võrguvee temperatuurigraafik soojusallikast väljumisel talveperioodil [15]

Eeliseks oli ka see, et lokaalkatlamaja töötaks suvisel perioodil tarbeveesüsteemi soojendamiseks. Antud võrguvee temperatuurigraafikult saab näha, et suvisel perioodil kui kütteperiood juba läbi, dispetšeri poolt etteantud võrguvee temperatuur ei alanda 60°C.

3.2.4 Kaugküttesüsteemi torustik

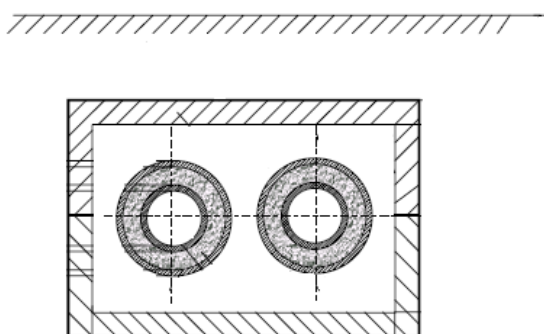
Simuleerimiseks on kasutatud eelisoleeritud kaugküttetorustikute andmed[26].

Torustik mudelis on dimensioneeritud nii, et minimaalne kiirus torus oleks 0.2 m/s. Niisugune kiirus on valitud selleks, et torustikus ei tekkiks õhk. Maksimaalne kiirus torus diameetriga DN40 ja suurem on 1.5 m/s.

Soojusisolatsiooni soojusjuhtivustegur on 0.027 W/(m*K) [26]. Isolatsiooni paksus on valitud vastavalt AS Utilitas Soojustorustiku projekteerimise üldistele tehnilistele

tingimustele (vt Tabel 3) [27]. Tootja kataloogis selline isolatsioonipaksus on tähistatud nagu Insulation series 3 ehk Isolatsiooni seeria 3[26].

Antud töö raames on koostatud ka mudel, kus on modelleeritud nõukogude ajal ehitatud torustik. Nõukogude ajal kasutati terastorusid. On olemas kolm paigaldamisviisi: õhutrass, kanalis või eelisoleeritud torud maapinnas. Kõige tihedamini paigaldati torusid betoonkanalisse (vt Joonis 8). Torude soojusisolatsiooni paksus on 50mm. Ilma kanalita tavaliselt paigaldati väiksema diameetriga torud, kuni 300mm [28].



Joonis 8. Torude paigaldamisviis [28]

3.2.5 Kaugküttesüsteemi soojuskaod

Simuleerimiseks on kasutatud eelisoleeritud kaugküttetorustikute andmed[26].

Simulatsiooni arvutuseks on kasutatud nii torude kui ka pinnase vahelist soojusvahetust arvestav soojuslähikandetegur, kui ka torude vahelist[29]. Pealevoolu- ja tagasivoolutorustiku soojuslähikandetegur on arvutatud eraldi, kuna soojustusekihi paksus torudel on erinev (vt Tabel 3) [27].

DN	Eelisoleeritud toru EVS-EN 253				Tavaline toru Paigaldatava isolatsiooni paksus		PE-hülss- toru
	Terastoru välis- läbimõõt	Terastoru seina- paksus	Toru PE- kaitsekesta \emptyset		Peale- vool	Tagasi- vool	
			Pealevool (T_F)	Tagasivool (T_R)			
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	
20	26,9	2,0	125	110	30	30	300
25	33,7	2,3	125	110	30	30	300
32	42,4	2,6	140	125	30	30	300
40	48,3	2,6	140	125	40	40	300
50	60,3	2,9	160	140	80	50	350
65	76,1	2,9	180	160	80	50	350
80	88,9	3,2	200	180	80	50	400
100	114,3	3,6	250	225	80	60	500
125	139,7	3,6	280	250	100	60	500
150	168,3	4,0	315	280	100	60	500
200	219,1	4,5	400	355	100	80	600
250	273	5,0	450	400	100	80	700
300	323,9	5,6	500	450	100	80	700
350	355,6	5,6	560	500	100	80	700
400	406,4	6,3	630	560	100	80	800
450	457	6,3	630	560	100	80	800
500	508	6,3	710	630	100	80	900
600	610	7,1	800	710	100	80	1000
700	711	8,0	900	800	120	80	1100
800	813	8,8	1000	900	120	80	1200
900	914	10,0	1100	1000	120	80	1300
1000	1016	11,0	1200	1100	120	80	1400

1.1.1.1.1.1.1.1.

Tabel 3. Soojustorude ja hülsside ning soojusisolatsiooni mõõdud/andmed [27]

Pealevoolu- ja tagasivoolutoru soojuslähikandetegur on arvutatud valemiga 3.1. Selleks, et arvutada soojuslähikandetegur on vaja teada peale- ja tagasivoolude vaheline soojustakistus (valem 3.2) ja pinnase soojustakistus (valem 3.3) [29].

$$U_1 = \frac{R_1}{R_1^2 - R_{ting}^2} \quad (3.1)$$

Kus $R_1 = R_i + R_p$

U_1 – peale- ja tagasivoolutoru soojuslähikandetegur, W/(m*K)

R_1 – peale- ja tagasivoolutoru soojustakistus, m*K/W

R_i – toru soojusisolatsiooni soojustakistus, m*K/W

R_p – pinnase arvestuslik soojustakistus, m*K/W

R_{ting} – pealevoolu- ja tagasivoolutorude vahelist soojusvahetust arvestatav soojustakistus, m*K/W

$$R_{ting} = \frac{1}{2\pi \lambda_p} \ln \sqrt{1 + \left(\frac{2h}{b}\right)^2} \quad (3.2)$$

R_{ting} – pealevoolu- ja tagasivoolutorude vahelist soojusvahetust arvestatav soojustakistus, m^*K/W

b – peale- ja tagasivoolude tsentrite vaheline kaugus, m

h – paigaldussügavus maapinnalt toru teljeni, m

λ_p – pinnase soojusjuhtivustegur, $W/(m^*K)$

$$R_p = \frac{1}{2\pi \lambda_p} \ln \frac{4h_t}{D_v} \quad (3.3)$$

R_p – pinnase arvestuslik soojustakistus, m^*K/W

λ_p – pinnase soojusjuhtivustegur, $W/(m^*K)$

h_t – toru telje taandatud sügavus, m

D_v – ümbristoru välisläbimõõt, m

Selleks, et arvutada pinnase soojustakistust on kasutatud toru telje taandatud sügavust (valem 3.4) [29].

$$h_t = h + \frac{\lambda_p}{\alpha_0} \quad (3.4)$$

h_t – toru telje taandatud sügavus, m

h – paigaldussügavus maapinnalt toru teljeni, m

λ_p – pinnase soojusjuhtivustegur, $W/(m^*K)$

α_0 – soojusülekandeegur maapinnalt õhule, $W/(m^2*K)$

Pinnase soojusjuhtivusteguri andmed on esitatud (vt Tabel 4)[30].

Kategooria	Kirjeldus	Soojuseri juhtivus, $W/(m^*K)$
1	Savi või liivsavi	1,5
2	Liiv või kruus	2,0
3	Homogeenne kivim	3,5

Tabel 4. Pinnase soojuseri juhtivuse andmed [30]

Pealevoolu- ja tagasivoolutorude vahelist soojusvahetust arvestatav soojusülekandeegur on arvatud valemiga 3.5[29].

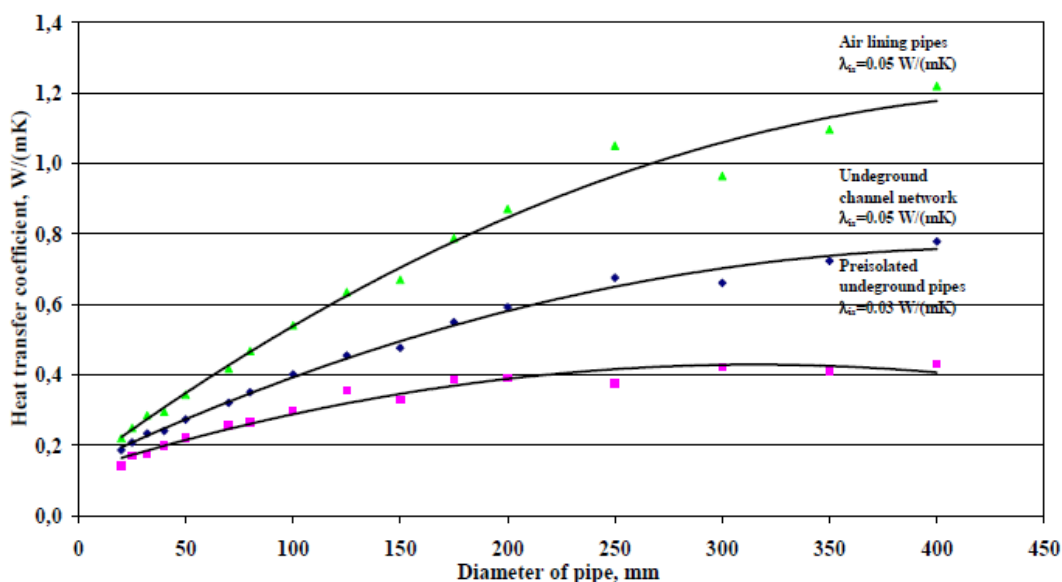
$$U_{ting} = \frac{R_{ting}}{R_1^2 - R_{ting}^2} \quad (3.5)$$

U_{ting} – pealevoolu- ja tagasivoolutorude vahelist soojusvahetust arvestatav soojuslähikandetegur, $W/(m^{\circ}K)$

R_{ting} – pealevoolu- ja tagasivoolutorude vahelist soojusvahetust arvestatav soojustakistus, $m^{\circ}K/W$

R_1 – peale- ja tagasivoolutoru soojustakistus, $m^{\circ}K/W$

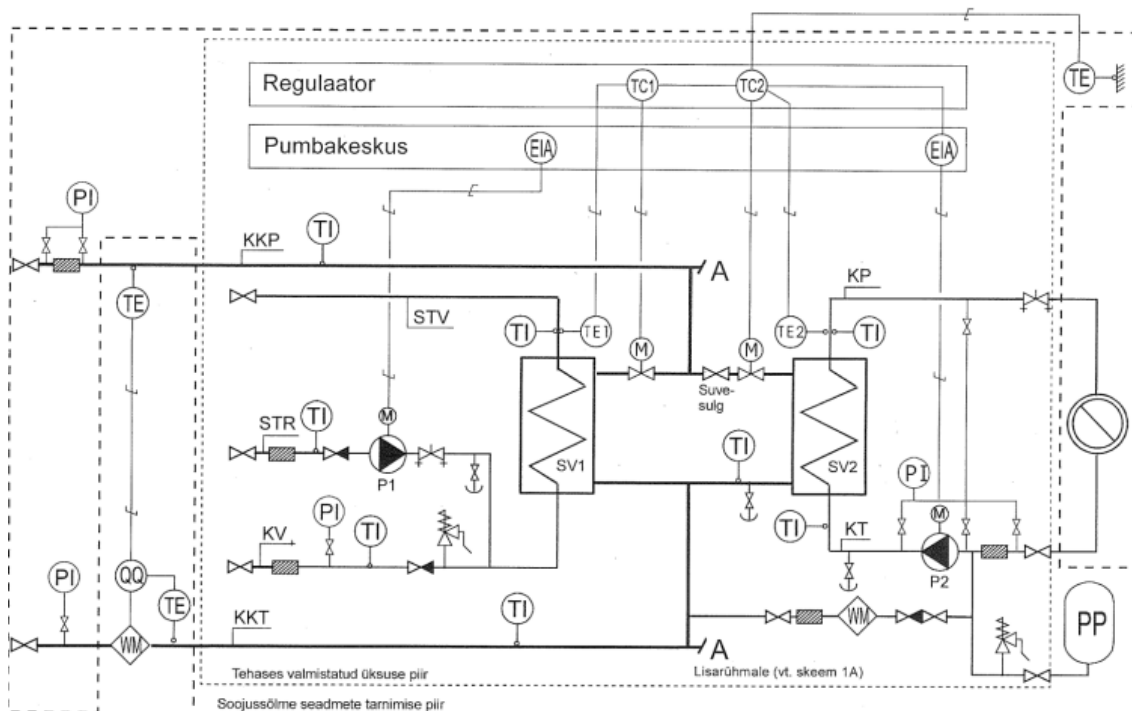
Antud töö raames üks mudel on tehtud mitte uuematest eelisoleerivatest torudest, vaid torudest, mis kasutati kaugküttesüsteemides nõukogude ajal. Nende soojusülekanndetegurid on võetud Aleksandr Hlebnikovi tööst (vt Joonis 9) [5]. Kuna nõukogude ajal kõige levinum torude paigaldusviis oli betoonkanalisse, käesoleva töö raames kasutatakse keskmise kõvera andmed ehk Underground channel network.



Joonis 9. Soojusülekanndetegurid nõukogude ajal paigaldatavate torude jaoks [5]

3.2.6 Soojusvahetid

Kortermajade soojussõlmed on modelleeritud sõltumatu ühendusskeemi järgi (vt Joonis 10). Selle ühenduse puhul tarbijasüsteem on isoleeritud soojusvõrgust soojusvaheti küttepinnaga [29]. See on kõige soovitatavam küttesüsteemi ühendusviis [29].



Joonis 10. Sõltumatu ühendusega soojussõlme skeem [31]

Renoveerimata hoone puhul kütte- ja tarbeveesüsteemide jaoks on ette nähtud kaks soojusvahetit. Renoveeritud hoone puhul on ette nähtud soojussõlme mudel kolme soojusvahetitega: küttesüsteem, tarbeveesüsteem, ventilatsioonisüsteem. Hoonete süsteemid, nende temperatuurigaafikud ja arvutuslikud võimsused ($VAT = -21^{\circ}\text{C}[25]$) on toodud allpool (vt Tabel 5).

Renoveerimata hoone		
Süsteem	Temperatuurigaafik, $^{\circ}\text{C}$	Arvutuslik võimsus, kW
Küte	80/60	317
Veevarustus	55/8	110

Renoveeritud hoone		
Süsteem	Temperatuurigaafik, $^{\circ}\text{C}$	Arvutuslik võimsus, kW
Küte	70/50	80
Ventilatsioon	60/40	52
Veevarustus	55/8	110

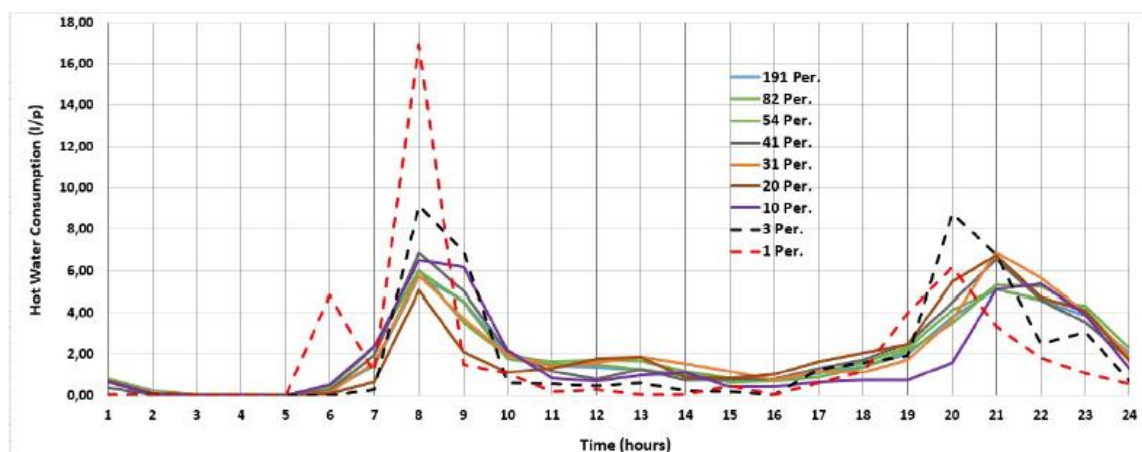
Tabel 5. Süsteemide temperatuurigaafikud ja arvutuslikud võimsused

IDA vaigemudel soojusvahetitele on ühe ülekandeteguriga soojusvaheti, mis opereerib logaritmilise temperatuurivahega primaar- ja sekundaarpoole peale ja tagasivoolu temperatuuridega. Antud mudelite jaoks selle soojusvaheti mudelist piisab, kuna on muudetud ainult soojusvahetite suurus.

3.2.7 Tarbevee süsteem

Tarbevee süsteemi vooluhulk ei ole konstantne päeva jooksul. Seepärast tarbeveesüsteemi mudeldamiseks on võetud tarbevee kasutamise graafikud. Graafikud olid võetud Andrea Ferrantelli tööst[32], kus oli uuritud tarbevee kasutus Soome kortermajades. Kasutusprofiilid olid koostatud novembri ning detsembri töö- ja puhkepäevade kaupa.

Andrea Ferrantelli uuringust saab näha, et kui inimese arv hoones on suurem kui 54, vooluhulgad ühe inimese kohta peaaegu ei erine (vt Joonis 11) [32]. Antud töö raames inimeste arv oli võetud vastavalt eluruumi tubade arvust, mis olid võetud ehisregistrist[33]. Inimeste arv = eluruumi tubade arv + 1 (vt Tabel 6).

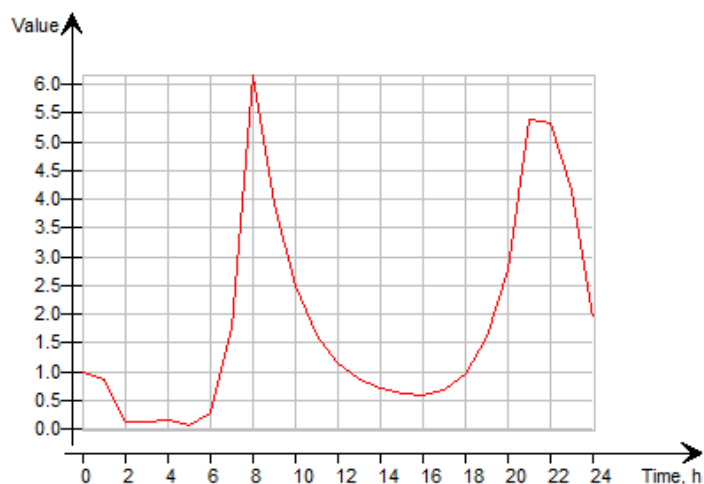


Joonis 11. Sooja tarbevee kasutamine tööpäevadel, novembri kuus. [32]

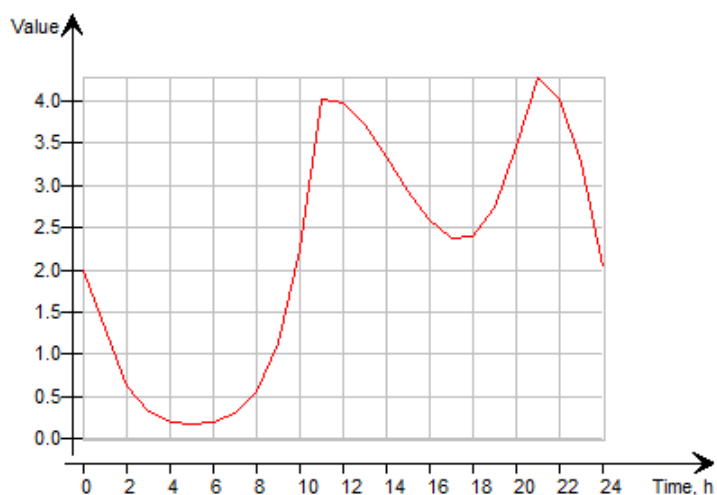
eluruumi tubade arv	kogus hoones	inimeste arv korteris	inimeste arv kokku
1	10	2	20
2	38	3	114
3	12	4	48
			182

Tabel 6. Inimeste arv korterelamus

Antud lõputöös on kasutatud novembrikuu profiilid (vt Joonis 12 ja Joonis 13). Vooluhulgad on antud liitrites inimese kohta.



Joonis 12. Tarbevee kasutusprofiil novembrikuus. Tööpäevad. Vooluhulgad (y-telg) on antud liitrites inimese kohta.



Joonis 13. Tarbevee kasutusprofiil novembrikuus. Puhkepäevad. Vooluhulgad (y-telg) on antud liitrites inimese kohta.

Kasutusprofiilidelt on nähtav, et tippkoormus tarbeveesüsteemil on tööpäevade hommikul umbes kell 8, kui inimesed tõusevad üles. Ka suur tarbevee kasutus saab näha õhtusel ajal, kui inimesed valmistuvad magama minekuks. Nädalavahetusel hommikul tippkoormus esineb umbes kell 11, kuna inimesed suurel osal tõusevad nädalavahetusel hiljem üles. Nädalavahetusel ei ole nii järsk tarbimise tõusu nagu tööpäevadel, kuna inimestele ei ole vaja umbes ühel ajal ärkata selleks, et tööle jõuda. Päevasel ajal on suurem tarbimine nädalavahetusel kuna inimesed veedavad rohkem aega kodus. Öösiti esineb väike tarbimine. See võib olla tingitud sellega, et mõned inimesed panevad ööseks pesu- või nõudepesumasina tööle, kasutavad tualettruumi või lihtsalt lähevad liiga hilja voodisse.

Nagu oli juba mainitud, graafikutel vooluhulgad on antud liitrites inimese kohta (l/in). Selleks, et oleks võimalik neid simulatsiooni arvutuseks kasutada ühikud olid toodud liitriteks/sekundis (l/s).

Sooja tarbevee temperatuur hoones on modelleeritud konstandina - 55°C. Selline temperatuur oli valitud vastavalt normdokumendile EVS 835:2014 Hoone veevärk. Standardis on kirjutatud, et tuleb sooja vee temperatuuri hoida vahemikus 50°C kuni 55°C [34]. Minimaalne sooja vee temperatuur tarbijani jõudmisel ei tohi kehtvalt olla alla 50°C. Sekundaarpoonses osas soojusvahetisse sisenev vesi on külma ja sooja tarbevee ringluse segu. Ringluse vooluhulk antud töö raames on 25% sooja vee vooluhulgast. Kuna minimaalne sooja vee temperatuur tarbijani jõudmisel ei tohi kehtvalt olla alla 50°C [34], termostaatiline ventiil ringlusel on seadistatud 50°C. Ringlussüsteemi soojuskaod antud töö raames ei ole modelleeritud. Külma tarbevee temperatuur on 8°C. Kuna ringlusesüsteemi vooluhulga osakaal on konstantne, sekundaarpoonses soojusvahetisse sisenev vesi on temperatuuriga 16,4°C. Segatud vedeliku temperatuur võib arvutada valemiga 3.6.

$$T_{\text{segu}} = \frac{m_1 \cdot t_1 + m_2 \cdot t_2}{m_1 + m_2} \quad (3.6)$$

m – mass

t – temperatuur

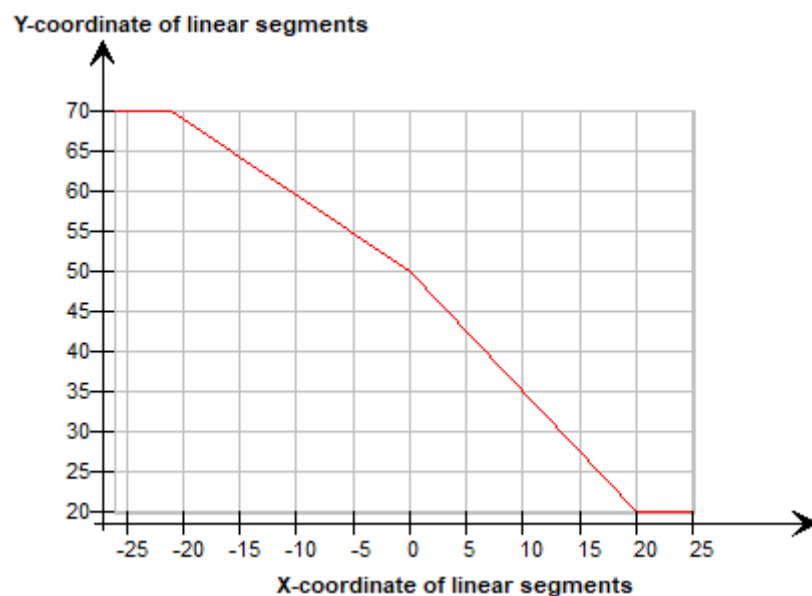
3.2.8 Sekundaarpoonsne küttesüsteem

Sekundaarpoonsed küttesüsteemid on kvalitatiivse reguleerimisega ehk reguleerimine toimub soojuskandja pealevoolutemperatuuri muutmisega. Olenevalt välisõhutemperatuurist muutub peale- ja tagasivoolu temperatuuride vahe. Välisõhu temperatuuri tõustes temperatuuride vahe väheneb, välisõhu temperatuuri alanedes suureneb [29].

Simulatsiooni arvutuseks on koostatud pealevoolu temperatuurigraafikud, mis sõltuvad välisõhu temperatuurist.

Mitterenoveeritud tüüpimaja puhul on valitud küttegaafik temperatuuridega 80°C /60°C. Selline graafik oli valitud nagu tüüpiline temperatuurigraafik Tallinna piirkonnas teise kaugkütte põlvkonna jaoks. Renoveeritud tüüpimaja jaoks on valitud küttegaafik 70°C /50°C, selline graafik oli valitud nagu tüüpiline temperatuurigraafik Tallinna piirkonnas kolmanda kaugkütte põlvkonna jaoks. Renoveeritud hoone ventilatsioonisüsteemi temperatuurigraafik on 60°C /40°C.

Näidiseks on toodud renoveeritud hoone küttesüsteemi pealevoolu temperatuuri graafik. Pealevoolu temperatuuri graafik on näidatud edaspidi (vt Joonis 14), kus x-telg on välisõhu temperatuur (°C) ja y-telg on pealevoolu temperatuur (°C).



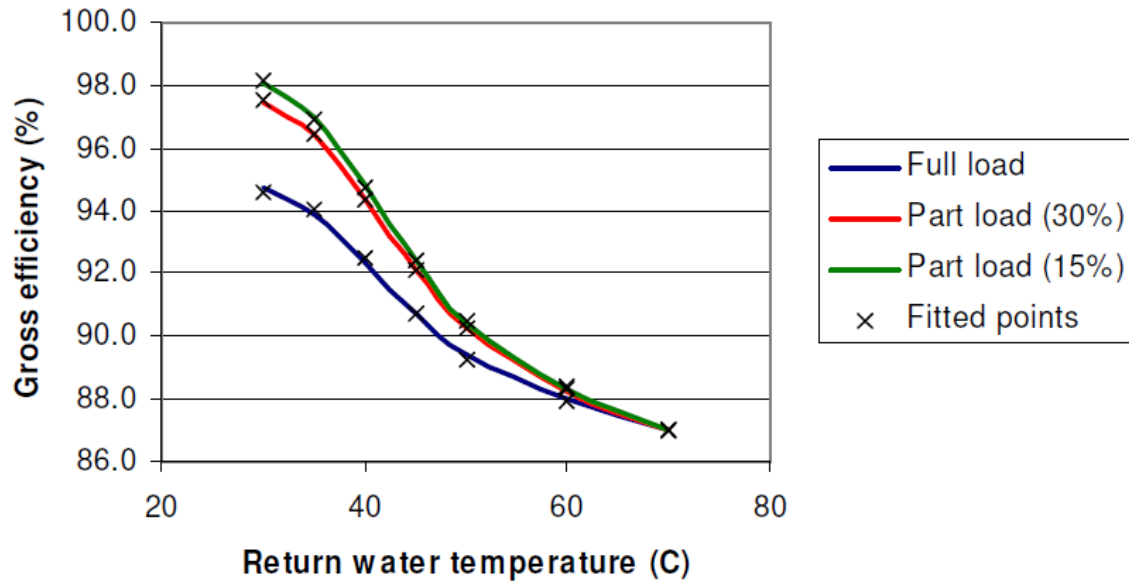
Joonis 14. Pealevoolu temperatuuri graafik küttegaafikul 70°C/50°C [23]

Hoonete soojuskoormus, süsteemide tagasivoolutemperatuurid ja vooluhulgad on arvutatud kasutades hoone mudeli koostatud tarkvaras IDA-ICE [23]. Mudelis on arvestatud vabasoojused, mis on tingitud inimestest, seadmetest ja valgustest.

3.2.9 Katel

Kondensatsiooni gaasikatla efektiivsus sõltub süsteemi tagasivoolu temperatuurist ja katla koormusest (vt Joonis 15) [12]. Graafiku x-telg näitab katla efektiivsuse protsentides, y-telg näitab tagasivoolu temperatuuri Celsiuse skaalas. Jooniselt saab näha, et vaatamata sellele, kuidas katel on koormatud, tagasivoolu temperatuuri tõstmisega katla efektiivsus väheneb. Ka jooniselt on nähtav, et kui väiksem on katla koormus, seda suurem on katla efektiivsus.

Condensing boiler efficiency characteristics



Joonis 15. Kondensatsiooni gaasikatla efektiivsus [12]

Antud lõputöö raames arvutatakse katla aastane keskmine kasutegur. On arvatud iga simulatsiooni sammule kuuluv kasuteguri väärtus. Kuna simulatsiooni tulemuste sammud ei ole võrdsed, on arvatud kaalutud keskmine kasutegur vastavalt tarbitud energiale.

Kondensatsiooni gaasikatla kasutegur arvutatakse valemiga 3.7 [12].

$$\eta = A1 \cdot T_r + A2 \cdot T_r^2 + A3 \cdot T_r^3 + A4 \cdot T_r^4 + A5 \cdot L + A6 \cdot T_r \cdot L + A7 \cdot T_r^2 \cdot L + A8 \quad (3.7)$$

η - katla kasutegur, 0-100% vahel

T_r - süsteemi tagasivoolu temperatuur, °C

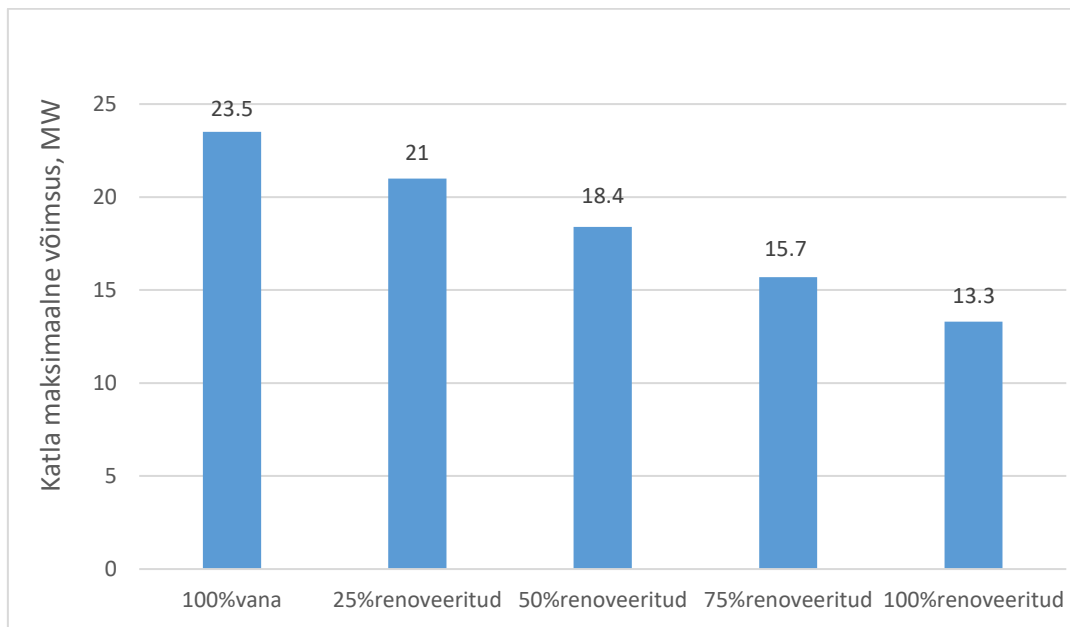
L - katla koormus, 0-1 vahel

Koefitsiendid on toodud tabelis allpool (vt Tabel 7)[12].

A1	8,663
A2	-0,2866
A3	0,003865
A4	-1,868E-05
A5	-11,102
A6	0,2822
A7	-0,00177
A8	7,626

Tabel 7. Kõvera koefitsiendid kondensatsiooni katla puhul

Selleks, et arvutada katla koormust (L), on arvatud katla maksimaalne võimsus (vt Joonis 16). Antud töö raames katla maksimaalne võimsus on hoonete arvutuslikud soojuskaod (VAT=-21°C[25]) + 10% summaarsetest soojuskadudest omatarve.



Joonis 16. Katelde maksimaalsed võimsused

Antud töö raames on arvatud ka vajalik kütuse kogus ning selle hind. See on tehtud selleks, et vaadelda tagasivoolutemperatuuri mõju ka majanduslikult.

Katelde vajalik kütuse kogus arvutatakse valemiga 3.8 [11].

$$\text{Kütuse kogus} = \frac{Q_{kt}}{Q_a^t} \quad (3.8)$$

Q_{kt} – toodetud soojusenergia kogus, kWh

Q_a^t – kütuse alumine kütteväärtus, kWh/m³

Kütuse maksumus arvutatakse valemiga 3.9 [11].

$$\text{Kütuse maksumus} = \frac{Q_{kt} \cdot \text{hind}}{Q_a^t} \quad (3.9)$$

Q_{kt} – toodetud soojusenergia kogus, kWh

Q_a^t – kütuse alumine kütteväärtus, kWh/m³

Kütuse maksumus on arvatud gaasi hinnal 0,31€/m³[35].

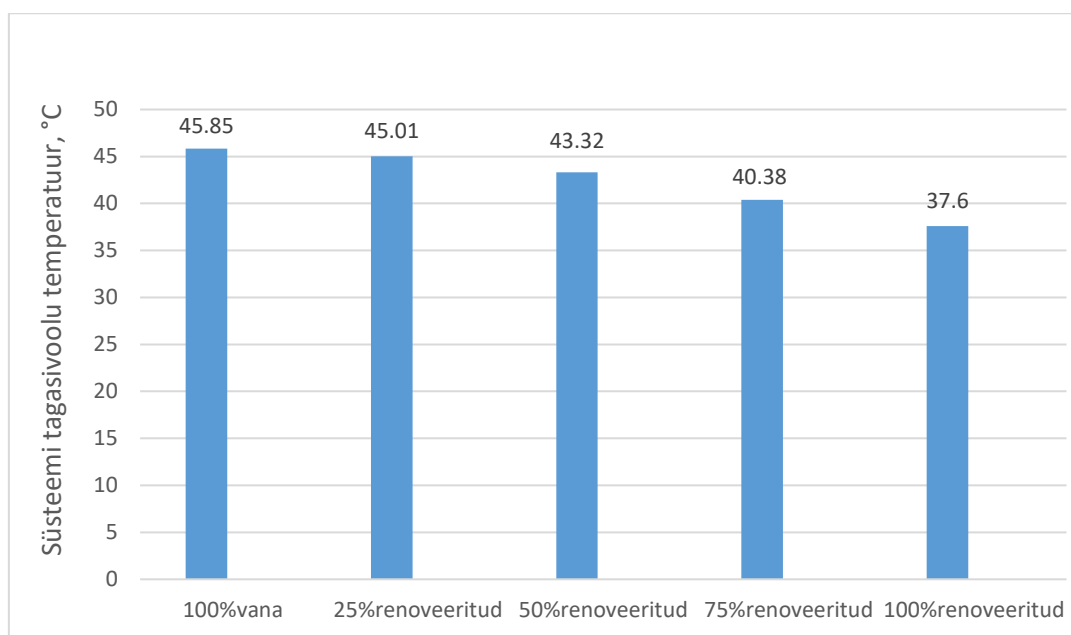
4 TULEMUSED JA ANALÜÜS

Antud peatükis on kirjeldatud mudelite analüüs. On analüüsitud kaugküttesüsteemi tagasivoolutemperatuuri ning soojuskoormuse väärtused erineva tüüphoonete osakaaluga. Lõpuks võrreldakse katelde kasutegurid erinevate temperatuurirežiimide puhul. Selleks, et töös oleks tehtud ka majanduslikult poolt analüüs, on olemas ka tarbitud kütuse koguse ja hinna analüüs.

4.1 Tagasivoolu temperatuuride võrdlus

Antud peatükis on analüüsitud kaugküttesüsteemi tagasivoolutemperatuuri väärtused erineva tüüphoonete osakaaluga.

Allpool joonisel (vt Joonis 17) on näidatud kõrgemad temperatuurid arvutatud perioodi korral.



Joonis 17. Tagasivoolu temperatuuride kõrgemad väärtused

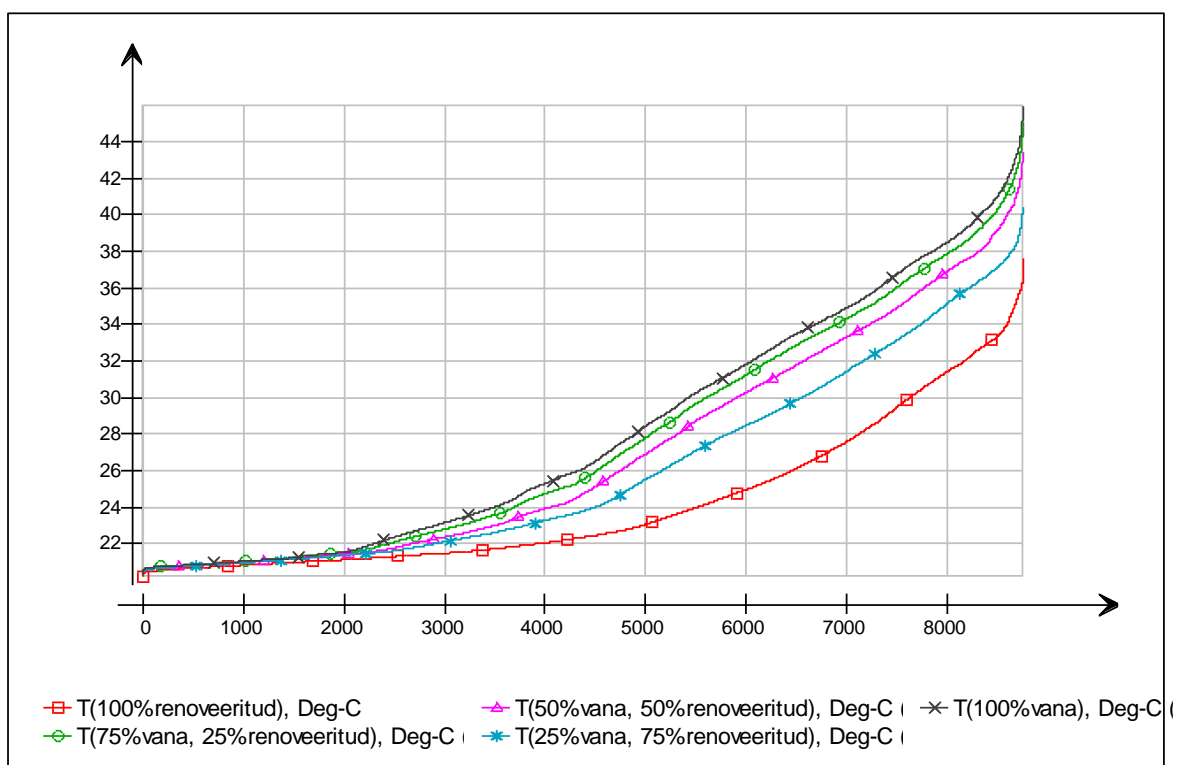
Renoveerimata hoonetega süsteemi puhul kõige kõrgem tagasivoolu temperatuur on 45,85C (välisõhu temperatuur sel hetkel on -17°C).

Sama välisõhu temperatuuri puhul rajoonist, kus on renoveeritud 25% majadest, väljub maksimaalselt 45,01°C vesi. Erinevus vana rajooni ja 25% renoveeritud on ainult 0,84°C. Sellist erinevust võib arvestada marginaalsena. 50% renoveeritud hoonetega süsteemi puhul kõige kõrgem tagasivoolu temperatuur on 43,32°C, mis on 2,53°C võrra

väiksem kui 100% renoveerimata hoonetega mudelis. Magalarajoon, kus renoveeritud 75% majadest, annab tagasi kaugküttevõrgule vett maksimaalse temperatuuriga 40,38°C. See on 5,47°C võrra väiksem kui vana magalarajooni puhul.

Renoveeritud hoonetega süsteemi puhul kõrgem temperatuur on 37,60°C, mis on 8,25°C võrra väiksem kui 100% renoveerimata hoonetega mudelis. Juba nende andmete põhjal võib öelda, et küttegaafiku ja hoone soojuskadude alandamine annab üsna suure mõju.

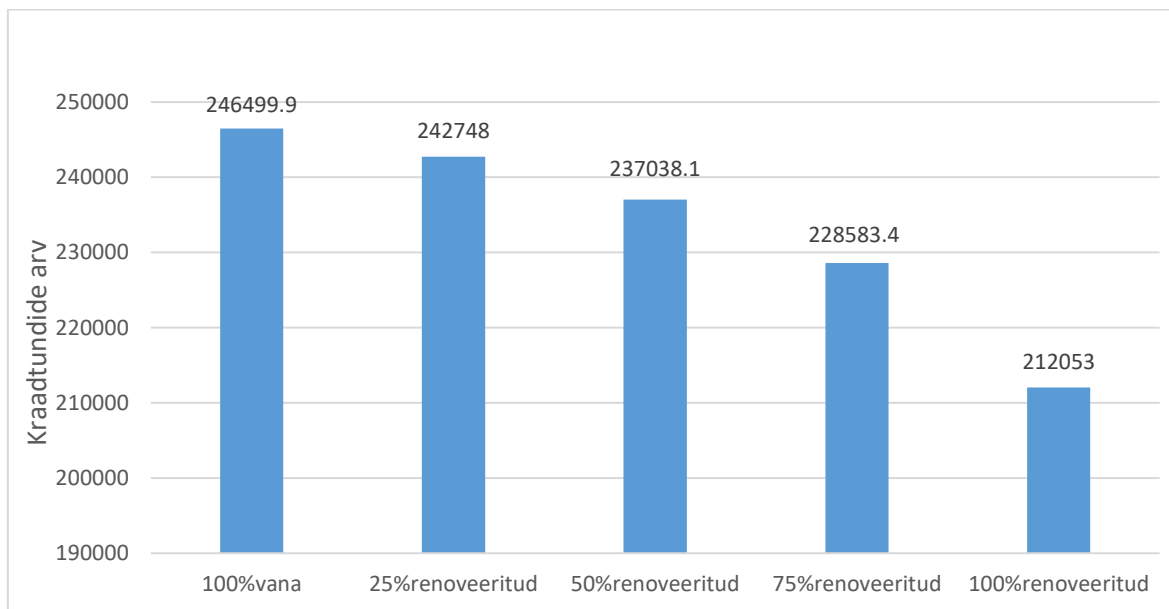
Joonisel, (vt Joonis 18) on näidatud tagasivoolu temperatuuride kestuskõverad, mis näitavad rekonstrueeritavate majade osakaalu vanas magalarajoonis. Tegemist on võrdlemisi ideaalse juhtimisega arvutusliku mudeliga - tegelikkuses on temperatuurid ilmselt mõnevõrra kõrgemad, kuna trassi juhtimine ei ole nii hea ja mõnevõrra toimub ka lühiringlust. Graafiku x-telg näitab aega, y-telg näitab keskküttesüsteemi tagasivoolu temperatuuri Celsiuse skaalas.



Joonis 18. Tagasivoolu temperatuuride kestuskõverad

Suvel kaugküttesüsteem töötab ainult tarbevee valmistamiseks. Välisõhu temperatuuri languga algab kütteperiood ning trassis hakkab ringlema kõrgema temperatuurigraafikuga soojuskandja.

Selleks, et täpsemalt analüüsida tagasivoolu temperatuuride vahe mudelite kaupa, on arvatud kestvuskõverate pindalad (vt Joonis 19) ja nende erinevused protsentides. See arv annab ülevaade mitte ainult kõige kõrgema temperatuuri väärtuse kohta, vaid kogu analüüsitud perioodi puhul.



Joonis 19. Kraadtundide arv erinevate mudelite puhul

Juhul, kui 25% majadest rajoonis on renoveeritud ning ülejäänud on renoveerimata, kaugküttesüsteemi tagasivoolu temperatuur on ainult 1,5% võrra väiksem. See arv on väheväärtuslik ja võttes arvesse väikse tipptemperatuuride erinevuse, võib teha järelduse, et nii väike renoveeritud majade arv rajoonis ei oma praktilist mõju kaugküttesüsteemivõrgu efektiivsusele. Nii veidi märgatav erinevus võib seletada sellega, et vanade majade küttekoormus on palju suurem, kui renoveeritud majade ning nende osakaal on suurem. Samal ajal, renoveeritud maja sekundaarsüsteemi küttegaafik antud töös ei ole palju väiksem, kui renoveerimata. Nagu oli juba mainitud, küttegaafik 70°C/50°C on tüüpiline graafik Tallinnas ja selle piirkonnas renoveeritud majade puhul. Selleks, et renoveerida vähem kui 25% majadest võib olla juhul, kui alandada küttegaafik palju rohkem, mis toob endaga kaasa suuremad küttekehad ning kui muuta küttegaafiku temperatuuride vahe, ka suuremad torustikud ja armatuur.

Juhul kui rajoon on renoveeritud 50%-le, alandab see tagasivoolu temperatuuri 3,8% võrra.

Juhul, kui 75% majadest rajoonis on renoveeritud, kaugküttesüsteemi tagasivoolu temperatuur on 7,3% võrra väiksem, kui renoveerimata rajooni temperatuur. Antud

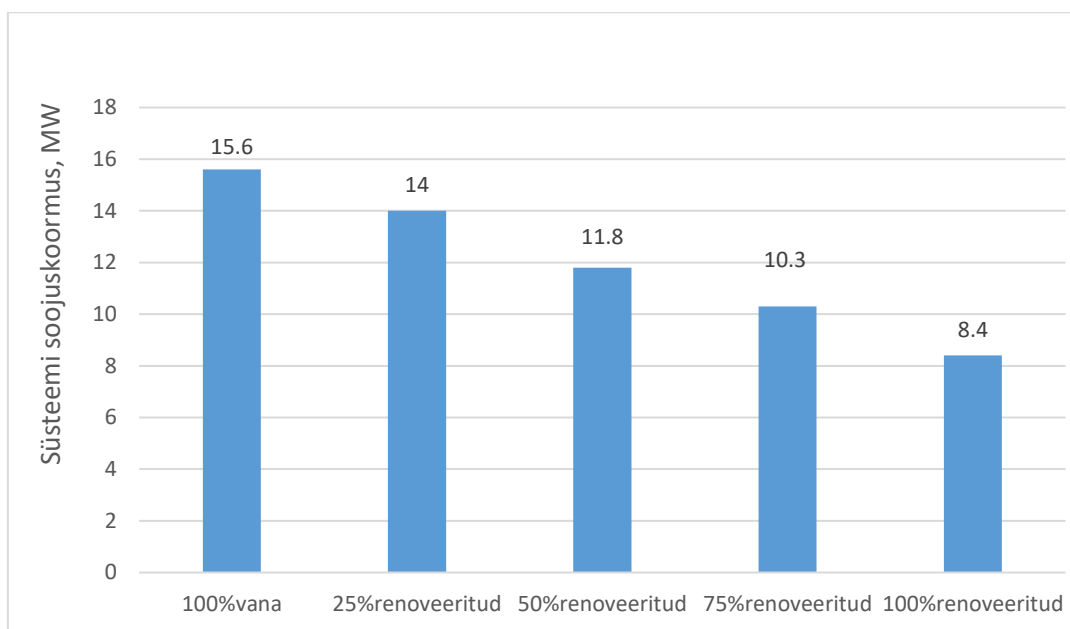
graafikult (vt Joonis 18) saab näha, et renoveerimine mängib märgatava rolli juhul, kui renoveeritud on rohkem kui 50% majadest.

Renoveeritud rajooni kaugküttesüsteemi tagasivoolu temperatuur on 14% võrra väiksem, kui renoveerimata magalarajooni. Võib teha järelduse, et tänapäevaste ehituste tehnoloogiatega, tagasivoolu temperatuuri võib märgatavalt alandada.

4.2 Soojuskoormuste võrdlus

Antud peatükis tehakse mudelite soojuskoormuste ülevaate.

Allpool asuvalt jooniselt (vt Joonis 20) võib näha süsteemide maksimaalsed soojuskoormused antud simulatsiooni puhul.



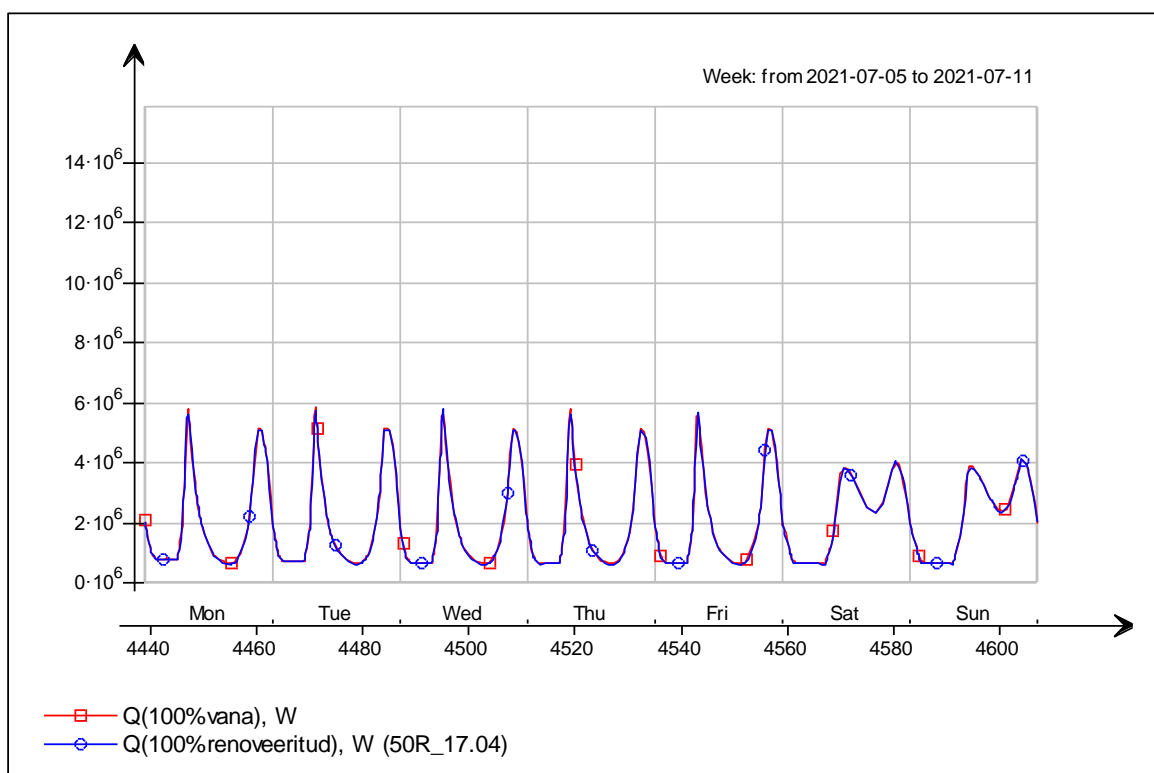
Joonis 20. Mudelite maksimaalsed soojuskoormused

Renoveerimata hoonetega süsteemi puhul kõige suurem soojuskoormus on 15,6MW (välisõhu temperatuur on -17°C).

Rajooni, kus on 25% renoveeritud maja, maksimaalne soojuskoormus on 14MW. See on 1,6MW võrra väiksem, kui renoveerimata rajooni. 50% renoveeritud majadega rajooni soojuskoormus on 3,8 MW võrra väiksem kui mitte renoveeritud rajooni ehk 11,8MW. Rajooni, kus on 75% renoveeritud maja, maksimaalne soojuskoormus on 10,3MW, mis on 5,3 MW võrra väiksem kui vana rajooni puhul.

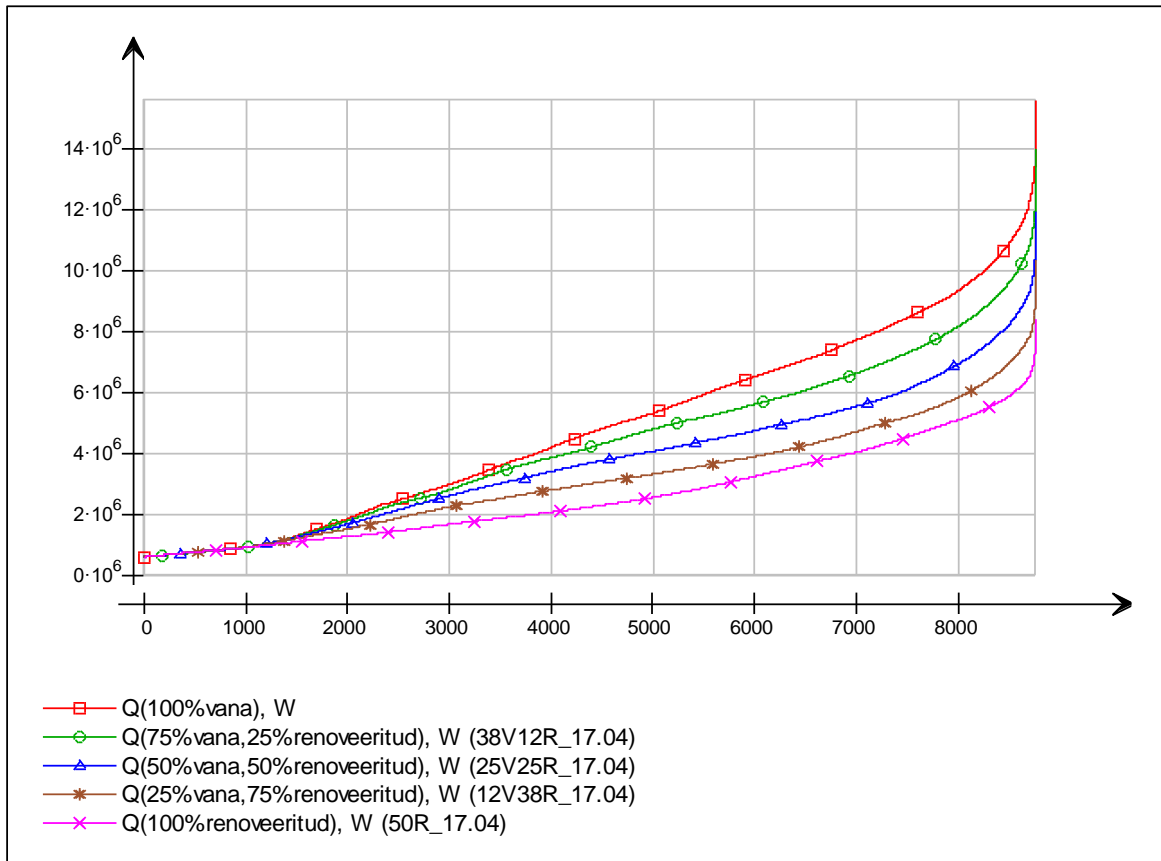
Renoveeritud hoonetega süsteemi soojuskoormus ulatub 8,4MW, mis on 7,2MW ehk 46,2% võrra väiksem kui 100% renoveerimata hoonetega mudelis. Juba selle andmete põhjal võib öelda, et hoone soojuskadude alandamine võimaldab kasutada väiksema diameetritega torusid ja palju väiksema võimsusega katla kaugküttesüsteemis.

On arusaadav, et välisõhu temperatuuri languga süsteemide soojuskoormused suurenevad. Suvel kaugküttesüsteem töötab ainult tarbevee valmistamiseks. Välisõhu temperatuuri languga algab kütteperiood ning trassis hakkab ringlema kõrgema temperatuurigraafikuga soojuskandja, selleks, et katta tarbijate küttevajadust. Joonisel olevad suvised soojuskoormused (vt Joonis 21) näitavad ühte nädalat juuli kuus. Sealt on nähtav, et koormused ei erine. Soojuskoormus sellel ajal on vahemikus 1MW – 6MW.



Joonis 21. Renoveerimata ja täiesti renoveeritud rajoonide suvised soojuskoormused

Joonisel, mis on toodud allpool (vt Joonis 22) on näidatud soojuskoormuste kestvuskõverad, mis näitavad rekonstrueeritavate majade osakaalu vanas magalarajoonis. Graafiku x-telg näitab aega, y-telg näitab keskküttesüsteemi soojuskoormust vattides.



Joonis 22. Soojuskoormuste kestuskõverad mudelite kaupa

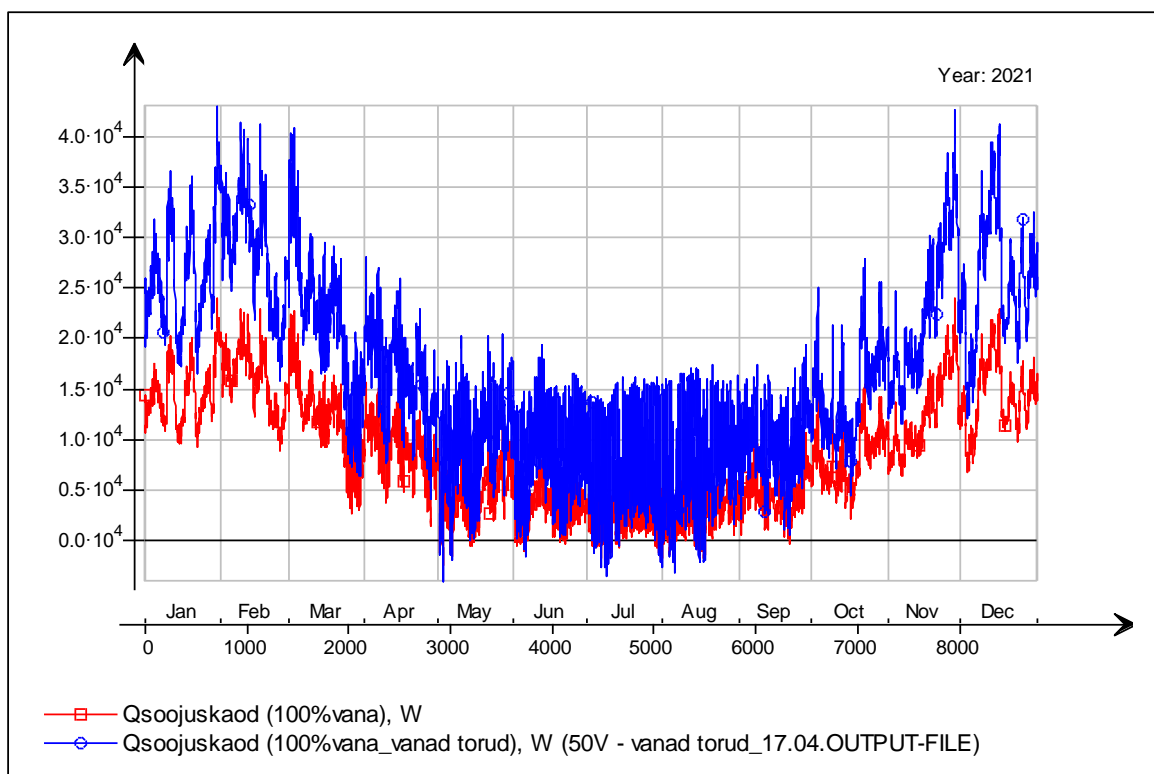
Selleks, et täpsemalt analüüsida soojuskoormuste vahe mudelite kaupa, on arvatatud mudelite aastased energiatarbed ning nende erinevused protsentides. See annab ülevaate kogu analüüsitud perioodi puhul.

Rajooni, kus on 25% renoveeritud maja, kogu analüüsitud perioodi jooksul soojuskoormus on 11,1% võrra väiksem, kui vana rajooni. Tegelikult, see on üsna hea tulemus, mis annab võimaluse kasutada väiksema katla kaugküttesüsteemi jaoks. Rajooni, kus on 50% renoveeritud maja, soojuskoormus on 23% võrra väiksem, kui renoveerimata rajooni. Juhul, kui on renoveeritud hoone osakaal ulatub 75%-ni, soojuskoormus on 34,9% võrra väiksem, kui vana rajooni.

Renoveeritud rajooni soojuskoormus on 46% võrra väiksem, kui renoveerimata magalarajooni. See näitab, et renoveerimine annab suure kasu hoonete soojuslikule käitumisele. Võib teha järeldust, et tänapäevaste ehituste tehnoloogiatega, hoone soojuskoormust renoveerimise kaudu võib alandada peaaegu pooleli.

4.3 Soojuskaod

Antud töös on tehtud mudel nõukogude ajal paigaldatud torudega. Edasi on toodud ühe toru soojuskaod aasta jooksul (vt Joonis 23). Graafiku x-telg näitab aega, y-telg näitab toru soojuskaod vattides.



Joonis 23. Toru aastased soojuskaod

Joonisel on näidatud toru soojuskaod. Toru diameeter on DN300 ja pikkus on 1 km. Maksimaalne vooluhulk, mis läbib selle toru kaudu on 102l/s ning kõige suurem soojuskandja temperatuur on 45,85°C.

Eelisolatsioonitud toru puhul kõige suurem soojuskadude väärtus on 23829W ehk 23,8kW. Vana toru puhul see arv on 42796W ehk 42,8kW. Erinevus on väga suur ja on vaja arvestada sellega, et väiksemate diameetritega torude puhul soojuslähikandetegurite vahe on väiksem ning soojuskadude erinevus on ka väiksem. Seda võib seletada sellega, et isolatsiooni paksus ei muutunud toru diameetriga.

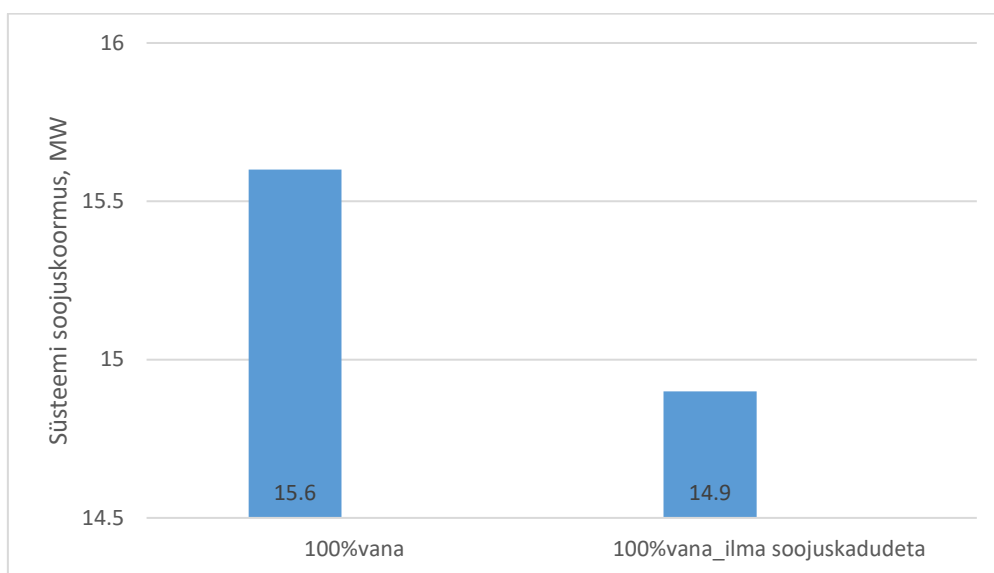
Selleks, et analüüsida soojuskadude vahe kogu aasta ulatuses, on arvatatud aastased energiakulud soojuskadude tõttu ja nende erinevused protsentides.

Uema toru soojuskaod aasta ulatuses on 48% vähem, kui vana toru. Nii suurt erinevust võib seletada sellega, et tänapäevased soojusisolatsiooni omadused on parem kui

nõukogude ajal. On ka oluline soojusisolatsioonikihi paksus. Tänapäeval isolatsiooni paksus sõltub toru diameetrist: mida suurem on diameeter, seda paksem isolatsioon. Nõukogude ajal soojusisolatsioonikihi paksus ei muutunud toru diameetri muutmisega. Ka paranesid torude paigaldamise ja tootmise tehnoloogiad. Kui nõukogude ajal oli võimalik ilma kanalita paigaldada väiksema diameetriga torud, kuni 300mm [28], siis tänapäeval kanalisse paigaldamise tehnoloogiat enam ei kasutata. Nüüdisaegsed tehnoloogiad annavad võimalust pinnasesse paigaldada ka suurema diameetriga toru.

Soojuskadude vähendamine suurendab katla efektiivsust. Toodetud ja müüdud soojuste vahe väheneb.

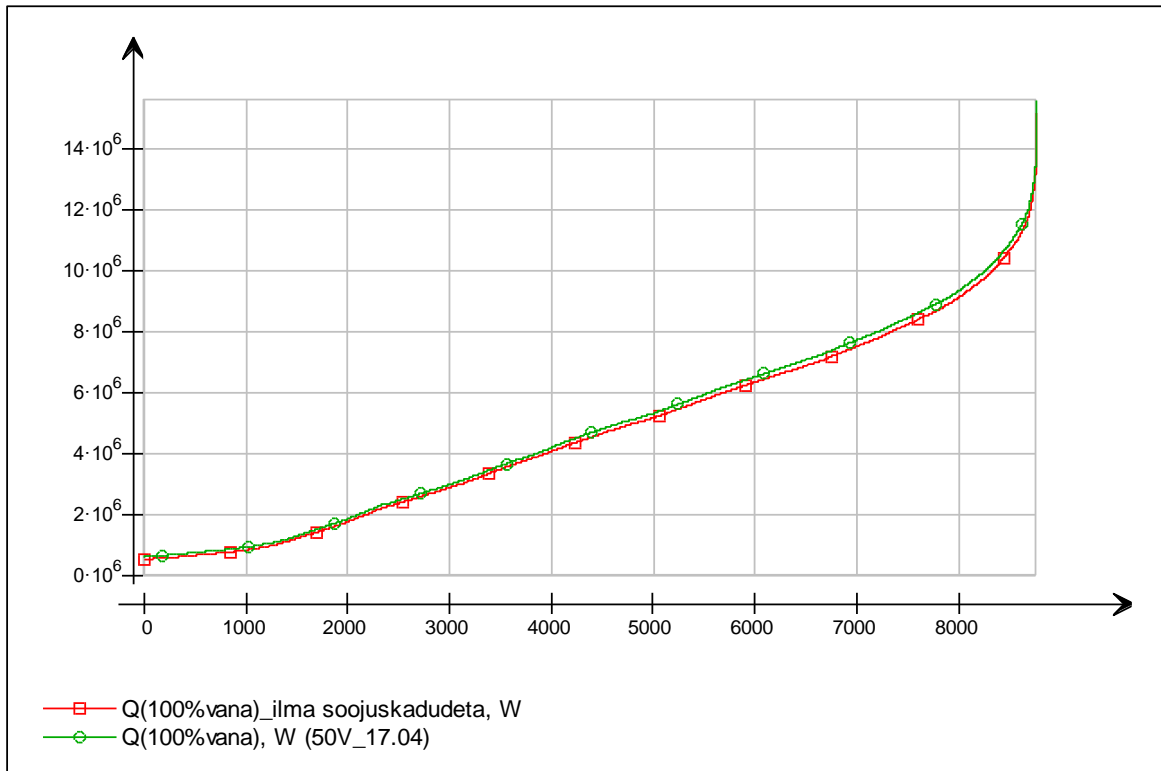
Allpool joonisel on näidatud süsteemide maksimaalsed soojuskoormused soojuskadudega ja ilma soojuskadudeta (vt Joonis 24). Ilma soojuskadudeta mudel on tehtud vana rajooni baasil, kus on kasutatud uuemad eelisooleeritud kaugküttetorusid.



Joonis 24. Maksimaalsed süsteemide soojuskoormused koos soojuskadudega ning ilma nendeta

Jooniselt võib näha, et süsteemi, kus soojuskadusid pole, maksimaalne soojuskoormus on 14,9MW, mis on 0,7MW väiksem, kui soojuskadudega süsteemi oma.

Joonisel, mis on toodud allpool (vt Joonis 25) on näidatud soojuskoormuste kestuskõverad, mis näitavad aastased energiakulud soojuskadudega süsteemi ja soojuskadudeta süsteemi puhul. Graafiku x-telg näitab aega, y-telg näitab keskküttesüsteemi soojuskoormust vattides.



Joonis 25. Soojuskoormuste kestuskõverad soojuskadudega süsteemi ja soojuskadudeta süsteemi puhul

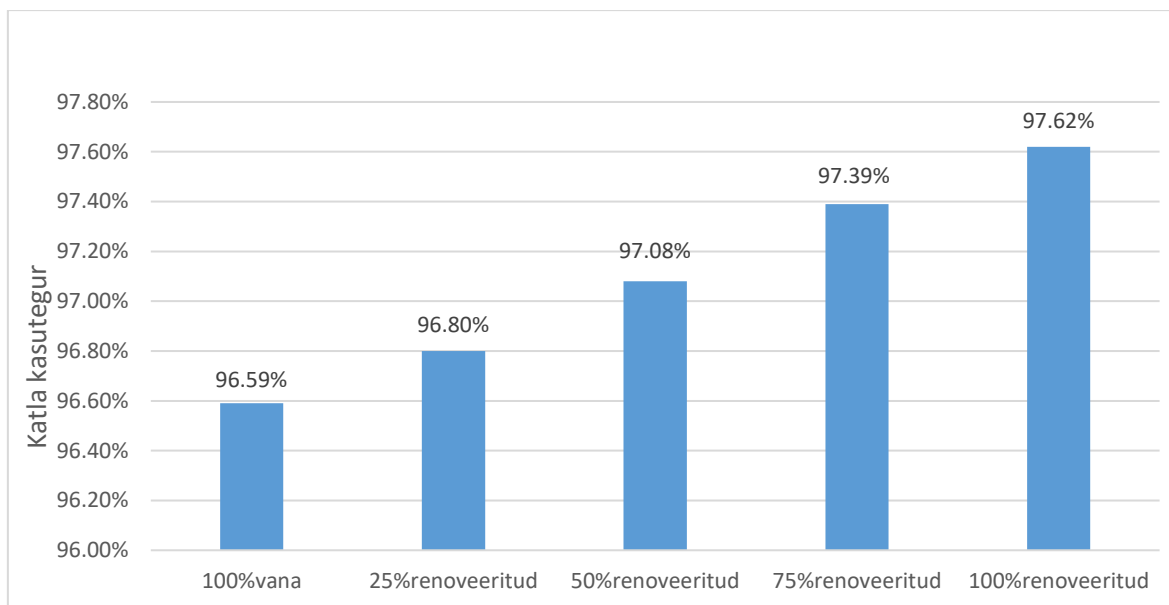
Selleks, et täpsemalt analüüsida soojuskoormuste vahe mudelite kaupa, on arvatatud mudelite aastased energiatarbed ning nende erinevused protsentides. See annab ülevaate kogu analüüsitud perioodi puhul.

Süsteemis, kus soojuskadusid ei esine, soojuskoormus on 2,8% võrra väiksem, kui soojuskadudega süsteemis. Tegelikult, see on hea tulemus. Muidugi tuleb arvestada sellega, et analüüsitud kaugküttesüsteem on üsna väike.

4.4 Kasutegurite võrdlus

Antud peatükis tehakse katelde aastase keskmise kasutegurite ülevaade.

Mudelist saime teada vajaliku informatsioon, mis annab võimaluse arvutada katelde aasta keskmised kasutegurid (vt Joonis 26).



Joonis 26. Katelde aastased keskmised kasutegurid

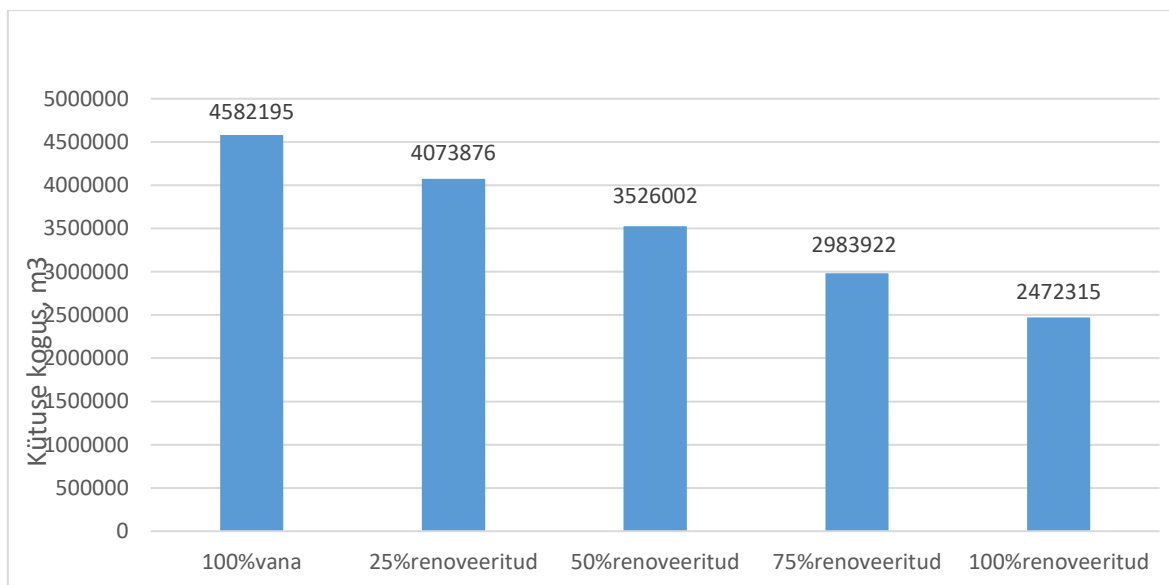
Jooniselt on näha, et renoveeritud hoone osakaalu suurenemisega katla aastane keskmine kasutegur suureneb. Põhjendus on see, et renoveerimisega rajoonist väljuv tagasivoolu temperatuur langeb (täiesti renoveeritud rajoonist tagasivoolu temperatuur on 14% madalam, kui vana rajooni puhul).

Renoveerimata rajooni teenindava katla aastane keskmine kasutegur on 96,59%. Katla, mis teenindab 25%-le renoveeritud rajooni, kasutegur on 96,8%, mis on 0,21% suurem, kui vana rajooni puhul. Rajooni, kus 50% majadest on renoveeritud, teenindab katel aastase keskmise kasuteguriga 97,08%. 75%-le renoveeritud rajooni teenindab katel aastase keskmise kasuteguriga 97,39%. Katla, mis teenindab täiesti renoveeritud rajooni aastane keskmine kasutegur on 97,62%, mis on 1,03% suurem, kui vana rajooni puhul. Võib teha järeldust, et tagasivoolutemperatuuri vähendamine 14% võrra suureneb aastase keskmise kasuteguri 1,03% võrra.

4.5 Kütuse koguse ja hinna võrdlus

Antud peatükis tehakse aastase kütuse koguse ja hinna ülevaade.

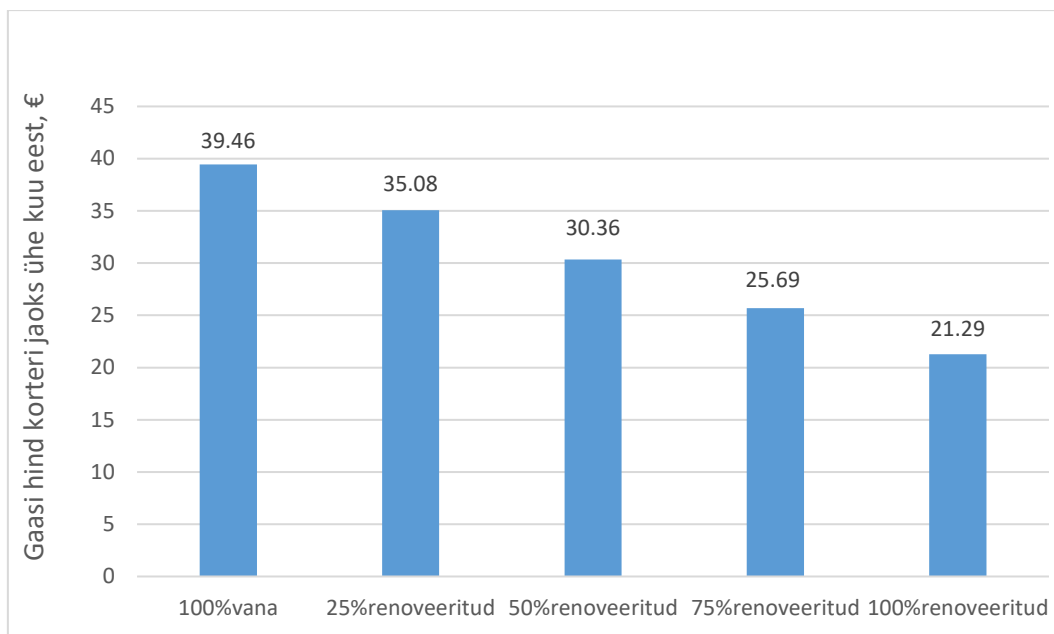
Allpool jooniselt saab näha arvutatud aastase kütuse koguse iga simulatsiooni kohta (vt Joonis 27). Kütuse kogus on toodud m³. On arusaadav, et vana rajooni jaoks on vajalik suurem kütuse kogus, kui renoveeritud rajoonil, kuna vajalik soojuskoormus on kõrgem. Täiesti renoveeritud rajooni puhul soojuskoormus on 46% väiksem, kui vana rajooni puhul.



Joonis 27. Aastane vajalik kütuse kogus

Renoveerimata rajooni vajalik kütuse kogus on 4582195 m³. Rajooni, kus on 25% majadest on renoveeritud, vajalik kütuse kogus on 4073876 m³, mis on 508319m³ ehk 11,1% võrra väiksem, kui mitte renoveeritud rajooni. 50%-le renoveeritud rajooni jaoks on vajalik 3526002 m³ gaasi selleks, et tagada rajooni küttekoormust. See on 1056193 m³ ehk 23% võrra väiksem, kui vana rajooni jaoks. 75%-le renoveeritud rajooni vajalik gaasi kogus on 2983922 m³, mis on 1598273m³ väiksem kui renoveerimata rajooni puhul. Täiesti renoveeritud rajooni vajalik gaasi aastane kogus on 2472315 m³, mis on 2109880m³ ehk 46% võrra väiksem kui renoveerimata rajooni puhul.

Vastavalt kütuse kogusele on arvatud kütuse hind. Gaasi hind, mis tasuvad ühe korteri elanikud ühe keskmise kuu eest on näidatud allpool (vt Joonis 28). Tasud näitavad ainult puhta gaasi hinda, mis on vajalik et varustada hoone sooja veega nii kütte-, kui ka tarbeveesüsteemide jaoks ilma hooldustasuta. Tegelik hind koosneb mitte ainult kütuse hinnast (mis on muutuv arv) vaid ka soojusettevõtja investeerimis- ja opereerimiskuludest.



Joonis 28. Gaasi hind korteri jaoks ühe keskmise kuu eest

Jooniselt saab näha, et renoveerimata rajoonides ühe korteri elanikud maksavad keskmises kuus 39,46€ gaasi eest. See tähendab, et korteri elanikute aastane kulu gaasile on 473,52€. Elanikud, kes elavad 25%-le renoveeritud rajoonis, maksavad 35,08€ keskmise kuu eest, mis on 4,38€ võrra madalam, kui vana rajooni elanikud. 50%-le renoveeritud rajooni ühe korteri elanikute kuld gaasile kuus on 30,36€, mis on 9,1€ võrra madalam, kui renoveerimata rajooni puhul. Elanikud, kes elavad 75%-le renoveeritud rajoonis, ühe keskmise kuu jooksul kuluvad gaasile 25,69€, mis on 13,77€ võrra madalam, kui vana rajooni elanikud. Täiesti renoveeritud rajooni ühe korteri elanikute kuld gaasile kuus on 21,29€, mis on 18,17€ võrra madalam, kui renoveerimata rajooni puhul. Aastane kulu sel juhul on 255,48€, mis on 218,04€ võrra madalam ehk peaaegu pooleli.

KOKKUVÕTE

Kõige levinum kütteallikas Eestis on kaugküttesüsteem. Umbes 60% elanikkonnast tarbib sel moel toodetud soojust. Eestis on praegu kasutuses kolmanda põlvkonna kaugküttesüsteemid, mis arenevad kiirelt ja eesmärk on muuta need keskkonnasõbralikumaks. Eesmärk on saavutada neljanda põlvkonna ehk alandada soojuskandja temperatuuri, kasutada rohkem koostootmisjaamu ja taastavaid energiaallikaid. Hetkeseisuga Eestis pole võimalust kasutada ainult neljanda põlvkonna kaugküttesüsteemi, kuna on palju vanu paneelmajasid. Neljanda põlvkonna kaugküttesüsteemi temperatuurigraafikuga ei ole võimalik tagada vana maja küttevajadust. Antud olukorras renoveeritakse vanu maju ning sojusettevõtjad püüavad vähendada süsteemi tagasivoolutemperatuuri. Tagasivoolutemperatuur mõjutab kaugküttesüsteemi gaasikatla efektiivsust ehk mida madalam on gaasikatlasse sisenev temperatuur, seda suurem on katla kasutegur.

Käesoleva lõputöö eesmärk on uurida rekonstrueeritavate hoonete osakaalu ja tagasivoolu temperatuuri mõju kaugküttevõrgu efektiivsusele rekonstrueeritavates magalarajoonides. Rajooni mudel sisaldab erineva osakaaluga mitterenoveeritud ning renoveeritud maju. Mudeli koostamiseks on kasutatud dünaamilise simulatsiooni tarkvara IDA-ICE 4.8 Advanced-tasemel. Mudel sisaldab magalarajooni suurusjärgult 50 hoonet ja rajooni kuuluva kaugküttevõrku. Magalarajooni teenindab üks kaugküttesüsteem. Modelleeritakse ka kaugküttevõrgu torustiku soojuskadusid.

Antud lõputöö raames on koostatud 5 mudelit, mis sisaldavad erineva osakaaluga renoveeritud hooneid. Renoveerimine toimub 25% sammuga ehk vana rajoon, 25%-le renoveeritud, 50%-le renoveeritud, 75%-le renoveeritud ning täiesti renoveeritud rajoon.

Analüüs näitas, et tänapäevased ehituse tehnoloogiad annavad võimalust vähendada renoveeritud rajooni soojuskoormust 46% võrra. Täiesti renoveeritud magalarajooni maksimaalne soojuskoormus on 7,2MW võrra väiksem kui vana rajooni. Soojuskoormuse vähendamine toob endaga kaasa kaugküttesüsteemi katla võimsuse ning torude diameetrite vähendamise.

Kasutades IDA-ICE tarkvaras tehtud mudeli tulemust, saab teha järelduse, et renoveerimine mõjutab süsteemi tagasivoolutemperatuuri märgatavalt juhul, kui renoveeritud rajoon on rohkem kui 50% majadest. Juhul kui rajoon on renoveeritud 50%-le, alandab see tagasivoolu temperatuuri 3,8% võrra. Näiteks, juhul, kui on renoveeritud ainult 25% majadest, tagasivoolutemperatuur on ainult 1,5% võrra

väiksem. See arv on väheväärtuslik ning võib teha järelduse, et nii väike renoveeritud majade arv rajoonis ei oma praktilist mõju kaugküttesüsteemivõrgu efektiivsusele. Nii veidi märgatavat erinevust võib seletada sellega, et vanade majade küttekoormus on palju suurem, kui renoveeritud majadel ning nende praktiline osakaal on suurem. Samal ajal, renoveeritud maja sekundaarsüsteemi küttegraafik antud töös ei ole palju väiksem, kui renoveerimata. Nagu oli juba eelnevalt mainitud, küttegraafik 70°C/50°C on tüüpiline graafik Tallinnas ja selles piirkonnas renoveeritud majade puhul. Vähem kui 25% majadest võib olla põhjus renoveerida juhul, kui alandada küttegraafik palju rohkem. See toob endaga kaasa suuremad küttekehad kortermajas ning juhul, kui muuta küttegraafiku temperatuuride vahe, ka suuremad torustikud ja armatuur. Renoveeritud rajooni kaugküttesüsteemi tagasivoolu temperatuur on 14% võrra väiksem, kui renoveerimata magalarajooni.

Renoveerimata rajooni teenindava katla aastane keskmine kasutegur on 96,59%. Katla, mis teenindab täiesti renoveeritud rajooni aastane keskmine kasutegur on 97,62%, mis on 1,03% suurem, kui vana rajooni puhul. Võib teha järelduse, et tagasivoolutemperatuuri vähendamine 14% võrra suurendab aastase keskmise kasuteguri 1,03% võrra. Tuleb arvestada ka sellega, et soojuskoormus vähenes palju ja renoveeritud rajooni teenindava katla maksimaalne võimsus on 7,9MW võrra väiksem.

Kütuse kogus sõltub vajalikust soojuskoormusest. Renoveeritud rajooni vajalik kütuse kogus on 46% võrra väiksem, kui vana rajooni. Erinevus on 2109880m³, mis on üsna märgatavalt ka hinna küljest. Renoveerimata rajooni ühe korteri elanikud ühe kuu jooksul maksavad 39,46€ gaasi eest. Samal ajal renoveeritud rajooni ühe korteri elaniku kulud gaasile on 21,29€. Tuleb võtta arvesse, et see arv näitab ainult gaasi maksumust, tegelik hind koosneb mitte ainult kütuse hinnast (mis on muutuv arv) vaid ka soojusettevõtja investeerimis- ja opereerimiskuludest.

Magistritöö käigus tehtud analüüsi ja põhjenduste abil võib väita, et magalarajooni renoveerimisega võib muuta kaugküttesüsteeme efektiivsemaks. Tagasivoolutemperatuuri vähendamisel suureneb tunduvalt katla efektiivsus. Kaugküttevõrgu graafiku alandamisega vähenevad ka soojuskaod ning erinevus toodetud ja müüdud soojuse vahel. Kütuse kogus ka väheneb märgatavalt, mis annab suure kasu soojusettevõtjale. Tuleks võimalusel koostada sügavamaid uuringud sel teemal, näiteks muuta renoveeritud maja küttegraafiku selleks, et leida optimaalne lahendus nii soojusettevõtja kui ka tarbija jaoks.

SUMMARY

The most common heating source in Estonia is the district heating system. About 60% of the population consumes the heat produced in this way. Estonia currently has third-generation district heating systems in use, which are developing rapidly and the aim is to make them more environmentally friendly. The goal is to achieve the fourth-generation, which means lower temperature of the heat carrier, using more cogeneration plants and renewable energy sources. At present, it is not possible to use only the fourth-generation district heating system in Estonia, as there are many old panel houses. With the temperature schedule of the fourth-generation district heating system, it is not possible to ensure the heating demand of the old house. In this situation, old houses are being renovated and heat companies are trying to reduce the return temperature of the system. The return temperature affects the efficiency of the gas boiler of the district heating system, if lower temperature entering the gas boiler, this means the higher efficiency of the boiler.

The aim of this work is to study the effect of reconstructed buildings and the return temperature on the efficiency of the district heating network in the reconstructed dormitory areas. The district model includes non-renovated and renovated houses with different proportions. Dynamic simulation software IDA-ICE 4.8 Advanced level has been used to build the model. The model includes 50 buildings in the sleeping area and district heating network belonging to the sleeping area. The dormitory area is served by one district heating system. Heat losses in district heating pipelines are also simulated.

Within the framework of this work, 5 models have been compiled, which include renovated buildings in different proportions. The renovation takes place in 25% steps, completely old district, 25% renovated, 50% renovated, 75% renovated and completely renovated district.

The analysis showed that modern construction technologies offer an opportunity to reduce the heat load of the renovated district by 46%. The maximum heat load of a completely renovated dormitory district is 7.2 MW lower than of the old district. Reducing the heat load leads to a reduction in the boiler capacity of the district heating system and the diameters of the pipes.

Using the result of the models made in the IDA-ICE software, it can be concluded that the renovation will significantly affect at the return temperature of the system if in the district is more than 50% of the houses are renovated. In the district there is renovated 50% of the houses, the return temperature is 3.8% lower. For example, if only 25% of

the houses have been renovated, the return temperature is only 1.5% lower. This number is insignificant and it can be concluded that such a small number of renovated houses in the district has no practical effect on the efficiency of the district heating system. Such a slightly noticeable difference can be explained by the fact that the heating load of old houses is much higher than that of renovated houses and their impact is higher. At the same time, the heating temperatures of the secondary system of the renovated house in this work is not much smaller than of the non-renovated. As already mentioned, the heating temperatures 70°C/50°C are typical for renovated houses in Tallinn and the region. Renovating of less than 25% of houses can be more efficient if lower the heating temperatures much more. This leads to larger heaters in the apartment building. The return temperature of the district heating system in the renovated district is 14% lower than in the non-renovated district.

The average annual efficiency of the boiler serving the non-renovated district is 96.59%. The average annual efficiency of the boiler serving the completely renovated district is 97.62%, which is 1.03% higher than in the old district. It can be concluded that reducing the return temperature by 14% increases the annual average efficiency by 1.03%. It must also be taken into account that the heat load was reduced a lot and the maximum capacity of the boiler serving the renovated district is 7.9MW lower.

The amount of fuel depends on the required heat load. The amount of fuel required in the renovated district is 46% lower than in the old district. The difference is 2109880m³, which is quite significant in terms of price. Residents of one apartment in the unrenovated district pay 39.46€ for gas in one month. At the same time, the cost of gas for one apartment in the renovated district is 21.29€. It must be taken into account that this number only shows the cost of gas, the actual price consists not only of the price of fuel (which is a variable number) but also of the investment and operating costs of the heating company.

The conducted research has shown that the renovation of the sleeping area can make district heating systems more efficient. Reducing the return temperature significantly increases the efficiency of the boiler. By lowering the district heating network temperatures, heat losses and the difference between produced and sold heat are also reduced. The amount of fuel is also significantly reduced, which brings great benefit to the heat company. More studies could be carried out, for example such as changing the heating temperatures of the secondary system of a renovated house in order to find the optimal solution for both the heating company and the consumer.

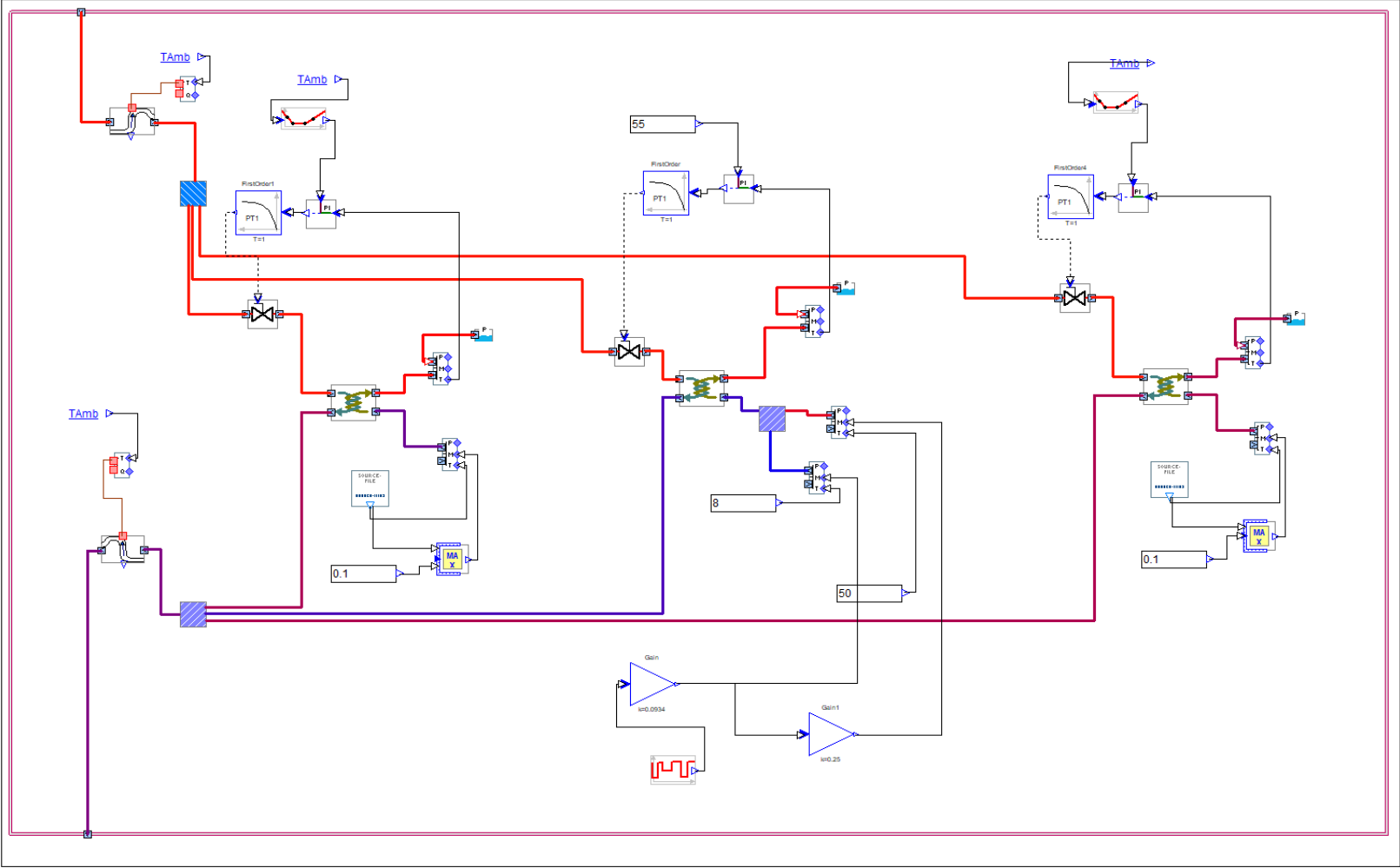
KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU

- [1]Majandus- Ja kommunikatsiooni ministeeriumi koduleht. <https://www.mkm.ee/et/tegevused-eesmargid/energeetika/soojusmajandus>
- [2] Martin Heine Kristensen, Steffen Petersen, District heating energy efficiency of Danish building typologies. Aarhus University, 2020
- [3] Enar Kraav, Neljanda põlvkonna kaugküte. Tallinna Tehnikaülikool, 2015
- [4] Anton Rohusalu, Kaugkütte lõpptarbijate parameetrite mõju kaugküttevõrgu efektiivsusele AS Tallinna Kütte näitel ning nende parendamine, Tallinna Tehnikaülikool, 2014
- [5] Aleksandr Hlenbikov, The Analysis of Efficiency and Optimization of District Heating Networks in Estonia, TTÜ Kirjastus, 2010
- [6] Anna Volkova, Igor Krupenski et al. Small low-temperature district heating network development prospects, Tallinn University of Technology, HeatConsult OÜ, 2019
- [7] P.Kräuchi, T.Schluck, M.Sulzer, Modelling of low temperature heating networks with IDA-ICE, Lucerne University of Applied Sciences and Arts School of Engineering and Architecture Competence Centre for Integrated Building Technology (HSLU CCZIG), Switzerland, 2015
- [8] Y.F. Wang, M.X. Wang, Y. Liu, L. Yin, X.R. Zhou, J.F. Xu, X.Y. Zhang, Fuzzy modeling of boiler efficiency in power plants. China, 2019
- [9] Qi Zhang, Henan Yi et al. Energy-exergy analysis and energy efficiency improvement of coal-fired industrial boilers based on thermal test data. China, 2018
- [10] Meryem Terhan, Kemal Comakli, Energy and exergy analyses of natural gas-fired boilers in a district heating system. Kafkas University, Turkey, 2017
- [11] Atko Siht, Katlamaja hakkpuidule üleviimine Riisipere näitel, Tallinna Tehnikaülikool, 2014
- [12] Jeremy Cockroft, Aizaz Samuel et al. Development of a Methodology for the Evaluation of Domestic Heating Controls, University of Strathclyde, 2007
- [13] Ahmed Hussein, Andreas Klein, Modelling and validation of district heating networks using an urban simulation platform. Germany, 2020
- [14] Energiatalgud koduleht, <https://energiatalgud.ee/Kaugk%C3%BCte?menu-97>
- [15] Utilitas AS koduleht. https://www.utilitas.ee/lepingu_solmime/
- [16] AS Fortum koduleht, <https://www.fortum.ee/kliendile/tooted-ja-teenused/kaugkyte>
- [17] AS Eesti Gaas lehekülg, <https://www.gaas.ee/arikliendile/maagaas/>
- [18] MTM määrus nr 58 „Hoone energiatõhususe arvutamise metoodika” Lisa 5, 5.06.2015
- [19] Kristo Kaasik, Kondensaatkatla töö uurimine, Eesti Maaülikool, 2016

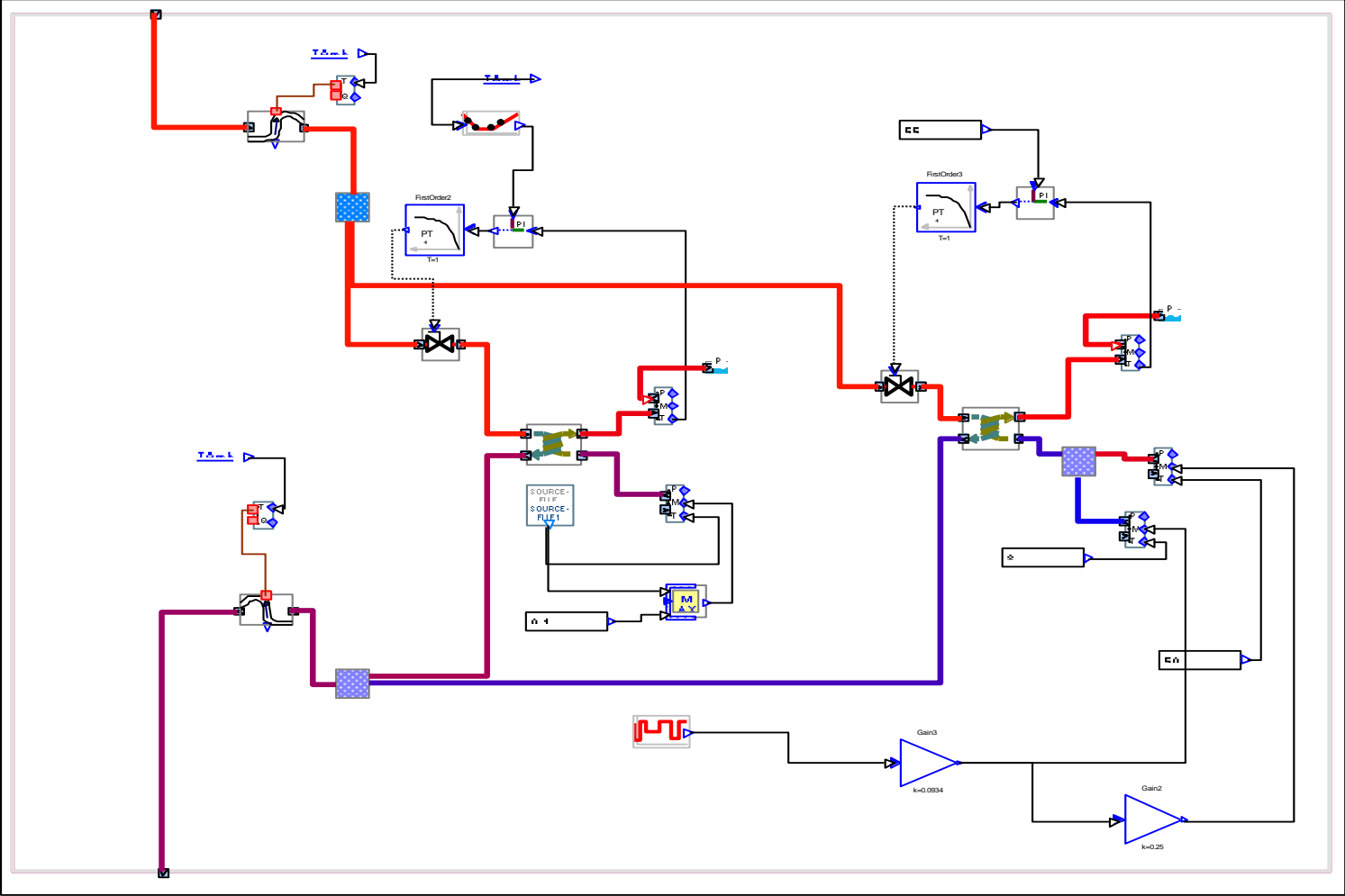
- [20] Gaasikütte lehekülg, <http://www.ohutugaas.ee/index.html>
- [21] Taaniel Rebane, Infiltratsiooniga arvestamine eramute küttevõimsuste dimensioneerimisel eesti kliimas, Tallinna Tehnikaülikool, 2019
- [22] Andrei Engels, Elektritarbimise analüüs kahe büroohoone näitel Tallinnas Ülemiste Citys, Tallinna Tehnikaülikool, 2019
- [23] Martin Thalfeldt et al. Exhaust air heat pump connection schemes and balanced heat recovery ventilation effect on district heat energy use and return temperature, Tallinn University of Technology, 2017
- [24] ESTplasti koduleht, <https://estplast.ee/mis-on-eps/>
- [25] EVS 844:2016 Hoone kütte projekteerimine, Eesti standardikeskus
- [26] Logstor product catalogue, Version 2021.01
- [27] Utilitas AS Tallinn, Soojustorustiku projekteerimise üldised tehnilised tingimused, kehtib alatest 20.03.2014
- [28] А.А.Ионин, Б.М.Хлыбов, В.Н.Братенков, Е.Н.Терлецкая, Теплоснабжение, Москва Стройиздат, 1982
- [29] Teet-Andrus Kõiv, Aivar Rant, Hoonete küte. TTÜ Kirjastus, 2013
- [30] EVS-EN ISO 13370:2017 Hoonete soojuslik toimivus, Eesti standardikeskus
- [31] Efipa OÜ, EJKÜ Soojussõlmede koolitus 2014
- [32] Andrea Ferrantelli, Jarek Kurnitski, Analytical modelling and prediction formulas for domestic hot water consumption in residential Finnish apartments. Tallinn University of Technology, 2017
- [33] Ehitisregistri lehekülg, <https://www.ehr.ee>
- [34] EVS 835:2014 Hoone veevõrk, Eesti standardikeskus
- [35] Eesti Energia koduleht, <https://www.energia.ee/et/avaleht>

LISAD

Lisa 1. Renoveeritud hoone soojussõlme mudel



Lisa 2. Renoveerimata hoone soojussõlme mudel



Lisa 3. Kaugküttesüsteemi mudel

