



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
INSENERITEADUSKOND
Energiatehnoloogia instituut

MADALATEMPERATUURILISE KAUGKÜTTEVÕRGU ARENDAMINE PAEKALDA PIIRKONNAS

DEVELOPMENT OF LOW TEMPERATURE DISTRICT HEATING IN PAEKALDA AREA

MAGISTRITÖÖ

Üliõpilane: Mikk Prätz

Üliõpilaskood 176957MASM

Juhendaja: Igor Krupenski, Ph.D

Tallinn 2020

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.

"....." 2020.

Autor:

/ allkiri /

Töö vastab magistritööle esitatud nõuetele

"....." 2020.

Juhendaja:

/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

".....".....2020.

Kaitsmiskomisjoni esimees

/ nimi ja allkiri /

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks¹

Mina Mikk Prätz (sünnikuupäev: 13.02.1992)

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose Madalatemperatuurilise kaugküttevõrgu arendamine Paekalda piirkonnas,

mille juhendaja on Igor Krupenski,

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.

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

_____ (allkiri)

_____ (kuupäev)

TalTech Energiatehnoloogia instituut

LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Üliõpilane: Mikk Prätz, 176957MASM

Õppekava, peeriala: MASM02/15, Energiatehnoloogia ja soojusenergeetika

Juhendaja(d): lektor, Igor Krupenski, Ph.D, +372 5800 3989

Lõputöö teema:

Madaltemperatuurilise kaugküttevõrgu arendamine Paekalda piirkonnas

Development of low temperature district heating in Paekalda area

Lõputöö põhieesmärgid:

1. Uurida madaltemperatuurilise kaugküttevõrgu arendamise võimalusi Tallinna linnas kasutades kõrgetemperatuurilise kaugküttevõrgu tagasivoolu liini
2. Teha arvutused madaltemperatuurilise kaugküttevõrgu mõjust suurele kaugküttevõrgule ja tootmisallikate efektiivsusele
3. Analüüsida kahe erineva lahenduse (madaltemperatuuriline kaugküttevõrk, kõrgetemperatuuriline kaugküttevõrk) soojuskadude väärtusi
4. Koostada mõlema lahenduse (madaltemperatuuriline kaugküttevõrk, kõrgetemperatuuriline kaugküttevõrk) projektid kajastades nende erinevusi

Lõputöö etapid ja ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Tähtaeg
1.		
2.		
3.		

Töö keel: eesti keel

Lõputöö esitamise tähtaeg: ".....".....2020 a

Üliõpilane: Mikk Prätz

..... ".....".....2020 a

/allkiri/

Juhendaja: Igor Krupenski

..... ".....".....2020 a

/allkiri/

Programmijuht:

..... ".....".....2020 a

/allkiri/

SISUKORD

JOONISTE LOETELU	6
TABELITE LOETELU	8
EESSÕNA	9
SISSEJUHATUS	10
1 ÜLEVAADE MADALATEMPERatuurilISEST KAUGKÜTTEVÕRGUST JA SELLE PERSPEKTIIVIST EESTIS NING EUROOPAS	11
1.1 Neljanda põlvkonna kaugküte	11
1.2 Perspektiiv	13
2 SOOJUSKADUDE ARVUTUSED	16
2.1 Meetodika ja valemid	16
2.2 Kõrgetemperatuurilise kaugküttevõrgu soojuskadude arvutus	18
2.3 Madalatemperatuurilise kaugküttevõrgu soojuskadude arvutus	19
3 KAUGKÜTTEVÕRGU PROJEKTLAHENDUS	23
3.1 Kõrgetemperatuurilise kaugküttevõrgu projekt	24
3.1.1 Tehniline lahendus	25
3.1.2 Torustiku paigutamise reeglid	32
3.1.3 Lekkeavastamissüsteem (LAS) ja signaaltraadid	36
3.1.4 Paisumispadjad	38
3.2 Madalatemperatuurilise kaugküttevõrgu projekt	39
3.2.1 Tehnilise lahenduse võrdlemine	39
3.2.2 Soojussõlme andmete erinevused	45
4 MADALATEMPERatuurilISE KAUGKÜTTEVÕRGU JUURUTAMINE OLEMASOLEVASSE KAUGKÜTTEVÕRKU	47
4.1 Võimalikud tehnilised lahendused	48
4.2 Arvutused	50
4.2.1 Tulemused	52
4.3 Mõju tootmisallikatele	53
4.4 Investeeringute analüüs	54
4.5 Tasuvuse analüüs	56
KOKKUVÕTE	58
SUMMARY	60
KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU	62
LISAD	64
LISA 1 Torude ja liitmike hinnad	64
LISA 2 Pumbajaama seadmete kulud	65
LISA 3 Soojusvaheti hinnad	66
GRAAFILINE OSA	67
GRAAFILINE OSA 1 Kaugküttetorustiku asendiplaan	67
GRAAFILINE OSA 2 Kaugküttetorustiku signaaltraatide skeemi leht ST-5.2	68
GRAAFILINE OSA 3 Madalatemperatuurilise kaugküttetorustiku asendiplaan	69

JOONISTE LOETELU

Joonis 1.1 Kaugkütte põlvkondade kontseptsiooni võrdlus [5]	12
Joonis 1.2 Kaugkütte osakaal Euroopa Liidu riikides [1].....	14
Joonis 2.1 Kõrgetemperatuurilise arvutuse andmed Logstor kalkulaatoris	18
Joonis 2.2 Kõrgetemperatuurilise arvutuse tulemused Logstor kalkulaatoris.....	19
Joonis 2.3 Madalatemperatuurilise arvutuse andmed Logstor kalkulaatoris.....	20
Joonis 2.4 Madalatemperatuurilise kaugküttevõrgu arvutuse tulemused, kus peale- ja tagasivoolutorud on 2 isolatsiooniklassiga.....	20
Joonis 2.5 Madalatemperatuurilise kaugküttevõrgu arvutuse tulemused, pealevoolutoru on 2 isolatsiooniklassiga ja tagasivoolutoru 1 isolatsiooniklassiga.....	21
Joonis 2.6 Madalatemperatuurilise kaugküttevõrgu arvutuse tulemused, kus peale- ja tagasivoolutoru on 1 isolatsiooniklassiga	21
Joonis 2.7 Madalatemperatuurilise kaugküttevõrgu soojuskao tulemuste võrdlus	22
Joonis 3.1 Planeeritud hooned Paekalda arenduses [6].....	23
Joonis 3.2 Lõik ÜH1 - N4	25
Joonis 3.3 Lõik N5 - N10	26
Joonis 3.4 Lõik R1 - N18.....	26
Joonis 3.5 Lõik HS1 - N33.....	27
Joonis 3.6 Lõik HS1- HS4	27
Joonis 3.7 Lõik HS4 - PTT7	28
Joonis 3.8 Lõik PTT10 - PTT12.....	28
Joonis 3.9 Lõik N27 - P10	29
Joonis 3.10 Lõik PTT15 - HS18	30
Joonis 3.11 Lõik HS11 - PTT13	30
Joonis 3.12 Lõik HS18 - P21	31
Joonis 3.13 Kaugküttetorustiku tüüplõige tee all.....	34
Joonis 3.14 Kaugküttetorustiku tüüplõige haljasala all.....	34
Joonis 3.15 Lõik HS19 - P19 Paekalda taristu kaugküttetorustiku pikiprofililt	35

Joonis 3.16 Paisumispatjade paigalduse tüüpjoonis.....	38
Joonis 3.17 Madalatemperatuurilise võrgu alguspunkt	40
Joonis 3.18 LTDH lõik HS1 - N17	41
Joonis 3.19 LTDH lõik PTK3 – PTK6	41
Joonis 3.20 LDTH lõik HS3 – PTT9	42
Joonis 3.21 LTDH lõik HS15 - PTT15 ja lõik HS17 - R4.....	43
Joonis 3.22 LTDH lõik HS7 - HS10	43
Joonis 3.23 LTDH lõik HS19 - P21	44
Joonis 4.1 Tallinna kaugküttevõrk (Lasnamäe - Maardu lõik) ja Lahekalda rajooni asukoht [6].....	47
Joonis 4.2 Skeemid kõrge- ja madalatemperatuurilise võrgu ühendamis võimalustega [6].....	50
Joonis 4.3 Kolme toruga tehnilise lahenduse rakendamisel investeringute tasuvusaeg [6].....	57

TABELITE LOETELU

Tabel 1.1 Kaugkütte põlvkondade isloomulikud üldised erinevused [4]	13
Tabel 1.2 Madalatemperatuurilise kaugkütte praktilised lahendused [9].....	15
Tabel 3.1 Kõrgetemperatuurilise kaugküttetorustiku pikkus	25
Tabel 3.2 Tehnovõrkude paigutamise vähim sügavus [14]	32
Tabel 3.3 Tehnovõrkude kaugused hoonetest ja rajatistest [14]	33
Tabel 3.4 Tehnovõrkude vahelised kaugused rööpkulgemisel [14]	33
Tabel 3.5 Tehnovõrkude vahelised kaugused püstsuunas nende lõikumisel [14]	33
Tabel 3.6 Kõrge- ja madalatemperatuurilise torustiku pikkused	44
Tabel 3.7 Sõjusõlme andmed primaar graafik 65/35	45
Tabel 3.8 Sõjusõlme andmed primaar graafik 115/35.....	46
Tabel 4.1 Tallinn DH Lasnamäe - Maardu lõigu tehnilised parameetrid [6]	48
Tabel 4.2 Energia tootmise tõus tagasivoolu temperatuuri 1°C vähenemise korral	54
Tabel 4.3 Kolmanda lahenduse rakendamise eelised [6]	55
Tabel 4.4 Vajalikud investeeringud Paekalda arenduse kaugküttevõrguga ühendamiseks	55

EESSÕNA

Käesoleva magistritöö teema on valitud magistritöö juhendaja Igor Krupenski poolt välja pakutud teemadest ning on seotud firma HeatConsult OÜ projektiga Paekalda taristu kaugküttetorustikud. Lõputöö eesmärk on uurida Paekalda piirkonna madalatemperatuurilise võrgu arendamist, töö käigus võrrelda madalatemperatuurilist ning kõrgetemperatuurilist kaugküttevõrku ning nende projekte.

Töö koostamine ja andmete kogumine toimus Eestis. Projektiga seonduv info on võetud HeatConsult OÜ andmebaasidest, samuti oli magistritöö autor seotud projekti koostamisega. Abistajaks oli magistritöö juhendaja, lektor Igor Krupenski, Ph.D.

Töö autor tänab töö koostamisel abiks olnud inimesi.

Märksõnad: madalatemperatuuriline kaugküte, energia kaskaad, magistritöö

SISSEJUHATUS

Lõputöö teemaks on valitud madalatemperatuurilise kaugküttevõrgu arendamine Paekalda piirkonnas. Eesmärgiks on uurida madaltemperatuurilise kaugküttevõrgu arendamise võimalusi kasutades kõrgetemperatuurilise kaugküttevõrgu tagasivoolu liini, teha arvutused madalatemperatuurilise kaugküttevõrgu mõjust tagasivoolu liinile ning analüüsida antud madalatemperatuurilise ja kõrgetemperatuurilise võrgu erinevusi antud projekti puhul.

Kaugküte on kõige levinum ja efektiivsem soojusallikas riikides kus välistemperatuur võib langeda alla 0°C. Üleminek praeguselt energiasüsteemilt tuleviku säästva energialahenduseni, sealhulgas 100% taastuvenergia süsteemile, nõuab sidusat lähenemist mis integreerib erinevaid energia süsteemi osasid ja kasutab sünergiaid läbi kogu sektori. Kaugküttele ja jahutusel võib olla selles süsteemis oluline roll, aga tehnoloogia vajab generatsioonide vahetust, et nende potentsiaali täielikult ära kasutada. [1] [2]

Teema on valitud kuna töö autor töötades firmas HeatConsult OÜ oli seotud Paekalda taristu kaugküttetorustiku projekti koostamisel ning antud projekt läks töösse küll kõrgetemperatuurilisena kuid madalatemperatuuriline lahendus tundus autorile huvitav ja tulevikule mõeldes potentsiaalne lahendus kuidas teostada olemasoleva väljaarendatud võrgu uuendamist.

Töö on mõtteliselt jaotatud neljaks osaks. Esimeses peatükis on räägitud madalatemperatuurilistest kaugküttevõrkudest ja selle perspektiivist Eestis ning Euroopas. Teises peatükis on teostatud madalatemperatuurilise ja kõrgetemperatuurilise kaugküttevõrgu soojuskadude arvutused ning nende tulemuste võrdlus. Kolmandas peatükis on välja toodud kaugküttevõrkude projektlahendused. Neljandas peatükis räägitakse madalatemperatuurilise kaugküttevõrgu juurutamisest olemasoleva kõrgetemperatuurilise kaugküttevõrgu sisse, selle võimalikust tehnilisest lahendusest, mõjust tootmisallikatele ning majanduslik analüüs.

1 ÜLEVAADE MADALATEMPERATUURILISEST KAUGKÜTTEVÕRGUST JA SELLE PERSPEKTIIVIST EESTIS NING EUROOPAS

Kaugküte on soojusjaotussüsteem kuhu soojusenergia toodetakse tsentraalsest allikast ning tarnitakse äri- või elamuhoonete kütteks, näiteks ruumide kütmiseks ja sooja tarbevee valmistamiseks. [1]

Kaugkütte peamised edasiviivad jõud on varustuskindlus, paindlikus, mastaabisääst (suuremad seadmed maksavad vähem kui sama mahtu tootvad väiksemad seadmed), madala keskkonnamõju. Kaugkütte kasutamine parandab üldist ohutust kuna iga tarbija ei pea omama eraldi põletusseadet, vähendab heitgaaside koguseid kuna suuremaid põletusjaamu on lihtsam kontrollida ning keskkonnanõuded on rangemad. [1]

Kaugküte sai alguse rohkem kui sada aastat tagasi – esimene kaugküttesüsteem ehitati 1877. aastal Ameerikas, Lockportis. Venemaal rajati esimene kaugküttesüsteem Peterburis 1903. aastal, kusjuures energiakandjana kasutati elektrijaama turbiinides töötanud auru. [3]

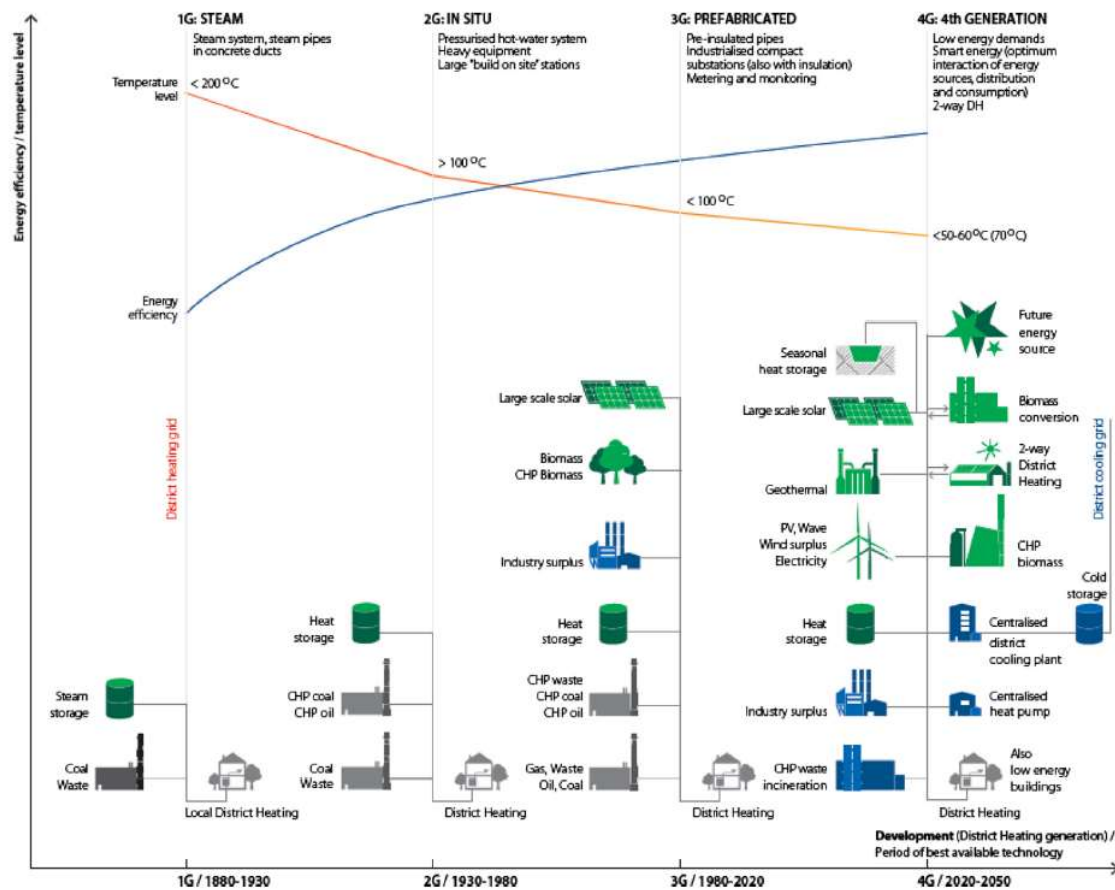
Kaugkütte arendus on kestnud kolm sajandit ning selle aja jooksul on võimalik eristada kolme erinevat kaugkütte põlvkonda. Kaugkütte kolmandat põlvkonda tuntakse kui traditsioonilist kaugkütet, sest on hetkelt kõige laialdasemalt kasutatav. Neljas põlvkond on kaugkütte uus arendus, mille põhiline eesmärk on liikuda energia säästlikkuse poole, vähendades soojuskadu ja loodusressursside kasutust. [4]

1.1 Neljanda põlvkonna kaugküte

Neljas põlvkond on kaugkütte tuleviku arengusuund mille eesmärgiks on muuta efektiivsemaks ja paindlikumaks hetkel laialdaselt kasutusel olevat traditsioonilist ehk kolmanda põlvkonna kaugkütet. Neljanda põlvkonna põhimõtted on: [4]

- madalam soojuskanda jaotustemperatuur;
- kütuse efektiivne kasutus koostootmisel;
- taastuvate energiaallikate ja heitsoojuse rakendamine;
- materjalide säästlik kasutus kompaktsemate seadmete rakendamisel;
- tarkade süsteemide (smart energy system) rakendamine.

Neljanda põlvkonna kaugküttevõrgu eesmärk on edastada soojust 30 – 70°C veega, kus on võimalik kasutada eelpingestatud, eelisoleeritud ja painduvaid plastik kahetorulist elementi (twin pipe). Kaugküttevõrgu ja tootjate eesmärk on välja arendada jätkusuutlik kaugkütte süsteem, mis kasutab ainult taastuvaid kütuseid, kombineerides biomassi-, tuule-, geotermilise- ja päikeseenergia. Erinevatel tootjatel avaneks rohkem võimalusi kaugküttevõrgus ära kasutada madala potentsiaaliga soojusallikaid. Tarkade süsteemide integreerimine kaugküttes võimaldaks muuta tarbimist efektiivsemaks, mugavamaks ja tarbijale säästlikumaks. [4] Neljanda põlvkonna kaugküttevõrgu kontseptsioon ja selle võrdlus kaugkütte esimese kolme põlvkonnaga on välja toodud joonisel 1.1.



Joonis 1.1 Kaugkütte põlvkondade kontseptsiooni võrdlus [5]

Kaugkütte on peale esimest põlvkonda olnud pidevalt arenduses ning erinevuste võrdlemiseks on tehtud tabel 1.1.

Tabel 1.1 Kaugkütte põlvkondade isloomulikud üldised erinevused [4]

	I põlvkond	II põlvkond	III põlvkond	IV põlvkond
TOOTJA				
Eelistatav tootja	Katlajaam	Katlajaam	Koostootmisjaam	Koostootmisjaam
Kütus, energiaallikas	Kivisüsi	Kivisüsi, raske kütteõli	Raske kütteõli, gaas, biomass, prügi	Biomass, päike, tuul, geotermaal
Soojuskanal	Aur	Vesi	Vesi	Vesi
Temperatuur	150 – 300°C	>100°C	<100°C	30 - 70°C
VÕRK				
Keskkond	Betoonkanalid	Betoonkanalid	Maa-alune võrk	Maa-alune võrk
Toru süsteem	2 toru	2 toru	2 toru	1 toru (kaks ühes)
Torud	Teras	Teras	Eelpingestatud teras	Eelpingestatud plastik ja teras
Isolatsioon	Kohapeal	Kohapeal	Eelisolatsioon	Eelisolatsioon
TARBIJA				
Soojuskanal	Aur/Kondensaad	Vesi	Vesi	Vesi
Keskkond	Radiaator	Radiaator	Radiaator	Põrandaküte
Soojussõlm	Soojussõlm	Toru-toru soojusvaheti	Plaatsoojusvaheti	Plaatsoojusvaheti

1.2 Perspektiiv

Euroopa liit on seadnud prioriteediks saada liidriks puhtale energiale üleminekul ning on pühendunud vähendama CO₂ heitkoguseid aastaks 2030 kuni nelikümmend protsenti. Selle raamistiku peamised eesmärgid hõlmavad energiatõhususe parandamist, taastuvenergia allikate kasutamise laiendamist ja tarbijatele parema hinnaga energia tootmist. Kaugkütte tehnoloogia võib nende eesmärkide saavutamisele kaasa aidata. Eesti on Euroopas kaugkütte valdkonnas üks liidritest, kui 2018-ndal aastal tarniti kaugküttevõrkude kaudu umbes 70% kogu energiavajadusest. [6]

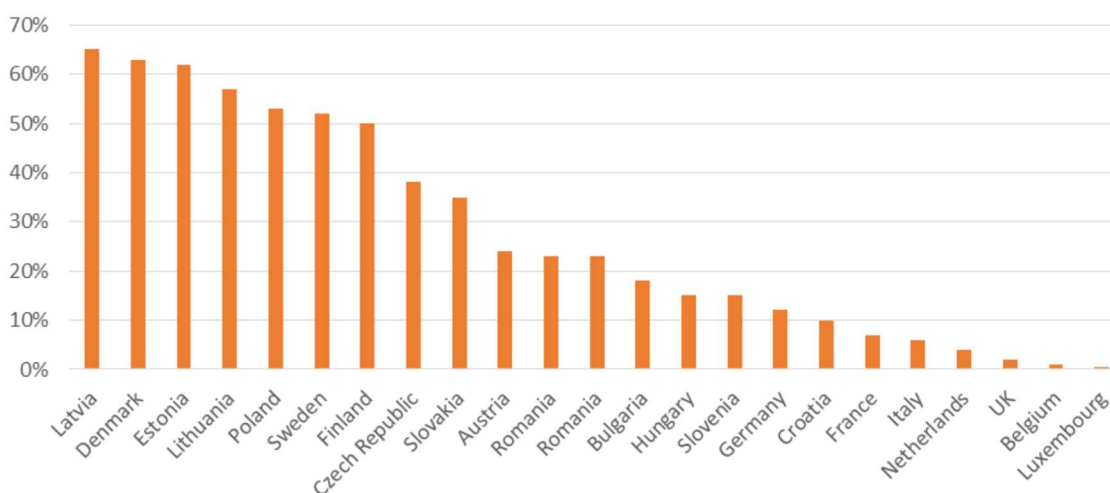
Kaugkütte tulevikus paistab paljutõotavaid võimalusi energiasektori arengu osas. Küttesüsteemis tuleb aga teha olulisi muudatusi, et konkureerida teiste soojusvarustuslahendustega. Vastavalt uutele tingimustele, mis on seotud taastuvate energiaallikate ja madala soojusvajadusega hoonetes. [7] Neljanda põlvkonna kaugkütte kontseptsioon määratleb mitmesuguseid muudatusi ja suundasid, mis on vajalikud olemasolevate kaugküttesüsteemide arendamisel. Kaugküttevõrk peaks olema suuteline varustama hooneid madalate temperatuuridega (<50-60°C) ruumide

kütteks ja sooja vee ettevalmistamiseks, vähendama ülekande soojuskadusid, suurendama taastuenergiaallikate kasutamist, heitsoojuse taaskasutamist soojuse tootmisel ning võimaldama tarkade süsteemide kasutamist. [6]

Kuigi neljanda põlvkonna kaugkütte kontseptsiooni on rakendatud mitmes Euroopa kaugküttevõrgus on siiski palju riike, sealhulgas Eesti kus kaugküttevõrke võib kirjeldada teise või kolmanda põlvkonna võrgustikuna. Neid iseloomustab fossiilsete kütuste kasutamine ja kõrged voolutemperatuurid. Kaugkütteoperaatorid saavad vähendada pealevoolu temperatuure kuid on endiselt tõkkeid seotud tarbijate ja hoonestikuga. Madalatemperatuuriline võrk on kõige efektiivsem kui see ühendatakse madala soojuskoormusega hoonega. [7] [8]

Takistus madala temperatuuriga küttele üleminekul on kodumajapidamises kasutatavate kütteseadmete kõrge projekteeritud temperatuur. Madala temperatuuriga soojusjaotussüsteemide edukaks rakendamiseks tuleb ebaefektiivsed ehitised renoveerida. Olemasolevate elamurajoonide renoveerimise protsess on aeglane ning peale renoveerimist ei võimalda sageli endiselt madalamat pealevoolu temperatuuri kasutada. Eeldatakse, et olemasolev kaugküttesektor siseneb üleminekuperioodi, mis võib kesta mitu aastakümnet. Kogu selle perioodi vältel töötavad samaaegselt nii praegused kui ka uue põlvkonna tehnoloogiad. [6]

Euroopa Liidus varustab kaugküte 11-12% kogu soojusvajadusest, ligikaudu 6000 kaugküttevõrgustikuga. [1] Jooniselt 1.2 on näha, et mitmes riigis on kaugküte osakaal madala ning võimalus madalatemperatuurilist kaugküttevõrku arendada on perspektiivis olemas.



Joonis 1.2 Kaugküte osakaal Euroopa Liidu riikides [1]

Tabel 1.2 Madalatemperatuurilise kaugkütte praktilised lahendused [9]

Nimi	Aasta	Peale- voolu temp.	Tagasi- voolu temp.	Välis- temp.	Tarnitud soojus	Müüdnud soojus	Soojuskadu
		°C	°C	°C	GJ	GJ	GJ
Kirsehit, Türgi	1995	57	38	11	39312	33572	5739
Lystrup, Taani	2009	52	34	8	986	790	196
Okotoks, Kanada	2007	39	31	4	2705	2564	141
Halmstad, Rootsi	2010	70	38	7	920	809	111
Falkenberg, Rootsi	2010	78	44	7	1374	1252	122
München, Saksamaa	2006	59	33	10	6534	6379	155
Slough, UK	2010	51	34	11	178	129	49
Høje Taastrup, Taani	2013	70	40	9	1978	1715	263

Tabelis 1.2 on välja toodud reaalsed madalatemperatuurilised kaugküttevõrgud mis annab alust uskuda, et madalatemperatuuriline süsteem on töökindel ja jätkusuutlik lahendus. [9]

2 SOOJUSKADUDE ARVUTUSED

Antud peatükis on teostatud soojuskadude arvutused kõrgetemperatuurilise ja madalatemperatuurilise kaugküttevõrgu kohta. Arvutuste tegemiseks kasutati Logstor A/S soojuskadude kalkulaatorit. [10]

2.1 Metoodika ja valemid

Soojuskadu kaugküttetorustikus sõltub paljudest teguritest, neist olulisemad on: [3]

- kahe keskkonna – torudes voolava kaugküttevõrve ja torusid ümbritseva õhu või pinnase temperatuuride vahe;
- kahe keskkonna vaheliste kihtide summaarne soojustakistus, mis oleneb kihtide paksusest ja nende materjali soojusjuhtivusteguritest. Tasapinnalise kihi soojustakistus võrdub teatavasti kihi paksuse ja soojusjuhtivusteguri jagatisega;
- toru sisepinna ja isoleeritud toru välispinna konvektiivse soojusülekanne tegurid.

Kogusoojuskadu torustikus on arvatud valemiga: [11]

$$P_{hl} = P_{so} + P_{ro} = L * \pi * d * (\Theta_s + \Theta_r) / (R_i + R_g + R_c) , \quad (2.1)$$

kus P_{hl} – kogusoojuskadu peale- ja tagasivoolu torudele, W

P_{so} – soojuskadu pealevoolu torust, tagasivoolu toru soojusliku mõjuta, W

P_{ro} – soojuskadu tagasivoolu torust, pealevoolu toru soojusliku mõjuta, W

L – torustiku pikkus, m

d – toru välisläbimõõt, m

Θ_s – pealevoolu ja pinnase temperatuuride vahe, °C

Θ_r – tagasivoolu ja pinnase temperatuuride vahe, °C

R_i – isoleermaterjali soojustakistus, m²K/W

R_g – pinnase soojustakistus, m²K/W

R_c – peale- ja tagasivoolu vahelise soojusvahetuse soojustakistus, m²K/W

Soojuskadu ainult pealevoolu torule on arvatud valemiga: [11]

$$P_s = P_{so} + P_{sr} = L * \pi * d * \left((R_g + R_i) * \Theta_s - R_c * \Theta_r \right) / \left((R_g + R_i)^2 - R_c^2 \right), \quad (2.2)$$

kus P_s – soojuskadu pealevoolu torule, W

P_{sr} – soojuskadu pealevoolu torust tagasivoolu torule, W

Soojuskadu tagasivoolu torule on arvatud valemiga: [11]

$$P_r = P_{ro} + P_{sr} = L * \pi * d * \left((R_g + R_i) * \Theta_r - R_c * \Theta_s \right) / \left((R_g + R_i)^2 - R_c^2 \right), \quad (2.3)$$

kus P_r – soojuskadu tagasivoolu torust, W

Soojuskadu pealevoolu torust tagasivoolu torule on arvatud valemiga: [11]

$$P_{sr} = L * \pi * d * \left(R_c * (\Theta_s - \Theta_r) \right) / \left((R_g + R_i)^2 - R_c^2 \right), \quad (2.4)$$

Pealevoolu vee ja pinnase temperatuuride erinevus on arvatud valemiga: [11]

$$\Theta_s = t_s - t_a, \quad (2.5)$$

kus t_s – pealevoolu temperatuur, °C

t_a – pinnase temperatuur, °C

Tagasivoolu vee ja pinnase temperatuuride erinevus on arvatud valemiga: [11]

$$\Theta_r = t_r - t_a, \quad (2.6)$$

kus t_r – tagasivoolu temperatuur, °C

Kolm soojustakistust (isoleermaterjali soojustakistus, pinnase soojustakistus ja soojusvahetusest tulenev soojustakistus) on arvutatud valemitega: [11]

$$R_i = (d/2 * \lambda_i) * \ln(D/d), \quad (2.7)$$

$$R_g = (d/2 * \lambda) * \ln(4 * h/D), \quad (2.8)$$

$$R_c = (d/2 * \lambda) * \ln(((2 * h/s)^2 + 1)^{0,5}), \quad (2.9)$$

kus D – isolatsiooni välisläbimõõt, m

h – sügavus toru tsentri ja maapinna vahel, m

s - pealevoolu ja tagasivoolu torude tsentrite vaheline kaugus, m

λ_i – isolatsiooni materjali soojusjuhtivus, W/m°C

λ – pinnase soojusjuhtivus, W/m°C

2.2 Kõrgetemperatuurilise kaugküttevõrgu soojuskadude arvutus

Kõrgetemperatuurilise kaugküttevõrgu torustike arvutuse pealevoolu jaoks on kasutatud 3 isolatsiooniklassiga eelisooleeritud torusid ja tagasivoolu jaoks 2 isolatsiooniklassiga eelisooleeritud torusid. Pinnase soojusjuhtivus on valitud 1,6W/mK. Pinnase temperatuur talvisel perioodil on valitud 5°C ning suvisel 10°C. Logstori kalkulaator kasutab polüuretaanist isolatsiooni soojusjuhtivust λ_{50} , mis on polüuretaanvahu soojusjuhtivus 50°C juures ehk 0,0263 – 0,0268 W/mK. [12] [13] Kõik sisestatud lähteandmed on näidatud joonisel 2.1 ja joonisel 2.2 on näha sisestatud torulõikude läbimõõdud ja pikkused.

The screenshot shows the LOGSTOR Energy loss calculator interface. It features a top navigation bar with tabs for Heatloss, Finance, CO2, Return On Investment, Service Life Cost, Temperature drop, and Type. Below the navigation bar are several buttons: Add project, Open/Save, Print, Info, Clear All, and a set of No buttons for Heatloss, Finance, CO2, Return On Investment, Service Life Cost, Temperature drop, and Type. The main interface is divided into four panels:

- Temperature:** Includes input fields for Flow (Winter: 78, Summer: 70), Return (Winter: 37, Summer: 50), Ambient (Winter: 5, Summer: 10), and Days (Winter: 232, Summer: 124).
- System Parameters:** Includes Definition λ PUR, Average period (dropdown), calculating year (0), Soil cover (h) (1000 mm), Ambient PUR, use λ certificate (No), and a dropdown for soil $\lambda = 1.6$ W/mK.
- Finance:** Includes Currency (EUR), price / kWh (0.02), and Interest rate [%] (4).
- CO2-emission:** Includes Fuel type (Natural Gas), Efficiency [%] (85), and Operation Time/Year (8544).

Joonis 2.1 Kõrgetemperatuurilise arvutuse andmed Logstor kalkulaatoris

1. Paekalda taristu 115-65													Calculate	Add pipe	Delete pipe	Copy Project	Delete project
No	Type of system	PipeSystem	Length (m)	C (mm)	Series d1	d1	D1	Series d2	d2	D2	Diff.	Lambda	W/m Win. / Sum.	MWh/year			
1	Pair(un-equal)	Steel Conti	126	250	3	300	560	2	300	500		0.025	30.88 / 29.41	32.69			
2	Pair(un-equal)	Steel Conti	216	250	3	250	500	2	250	450		0.025	27.62 / 26.31	50.13			
3	Pair(un-equal)	Steel Conti	49	250	3	200	400	2	200	355		0.025	27.95 / 26.62	11.50			
4	Pair(un-equal)	Steel Conti	7	250	3	200	400	2	200	355		0.025	27.95 / 26.62	1.64			
5	Pair(un-equal)	Steel Conti	28	250	3	200	400	2	200	355		0.025	27.95 / 26.62	6.58			
6	Pair(un-equal)	Steel Conti	33	250	3	200	400	2	200	355		0.025	27.95 / 26.62	7.75			
7	Pair(un-equal)	Steel Conti	48	250	3	150	315	2	150	280	<input checked="" type="checkbox"/>	0.023	24.88 / 23.7	10.04			
8	Pair(un-equal)	Steel Conti	37	250	3	150	315	2	150	280	<input checked="" type="checkbox"/>	0.023	24.88 / 23.7	7.74			
9	Pair(un-equal)	Steel Conti	57	250	3	150	315	2	150	280	<input checked="" type="checkbox"/>	0.023	24.88 / 23.7	11.92			
10	Pair(un-equal)	Steel Conti	35	250	3	150	315	2	150	280	<input checked="" type="checkbox"/>	0.023	24.88 / 23.7	7.32			
11	Pair(un-equal)	Steel Conti	30	250	3	150	315	2	150	280	<input checked="" type="checkbox"/>	0.023	24.88 / 23.7	6.28			
12	Pair(un-equal)	Steel Conti	33	250	3	100	250	2	100	225	<input checked="" type="checkbox"/>	0.023	19.99 / 18.47	5.37			
13	Pair(un-equal)	Steel Conti	42	250	3	200	400	2	200	355		0.025	27.95 / 26.62	9.87			
14	Pair(un-equal)	Steel Conti	24	250	3	200	400	2	200	355		0.025	27.95 / 26.62	5.63			
15	Pair(un-equal)	Steel Conti	32	250	3	200	400	2	200	355		0.025	27.95 / 26.62	7.51			
16	Pair(un-equal)	Steel Conti	28	250	3	200	400	2	200	355		0.025	27.95 / 26.62	6.58			
17	Pair(un-equal)	Steel Conti	81	250	3	200	400	2	200	355		0.025	27.95 / 26.62	19.02			
18	Pair(un-equal)	Steel Conti	5	250	3	200	400	2	200	355		0.025	27.95 / 26.62	1.18			
19	Pair(un-equal)	Steel Conti	48	250	3	200	400	2	200	355		0.025	27.95 / 26.62	11.27			
20	Pair(un-equal)	Steel Conti	4	250	3	200	400	2	200	355		0.025	27.95 / 26.62	0.94			
21	Pair(un-equal)	Steel Conti	27	250	3	150	315	2	150	280	<input checked="" type="checkbox"/>	0.023	24.88 / 23.7	5.64			
22	Pair(un-equal)	Steel Conti	46	250	3	150	315	2	150	280	<input checked="" type="checkbox"/>	0.023	24.88 / 23.7	9.61			
													Total MWh/year	236.21			

Joonis 2.2 Kõrgetemperatuurilise arvutuse tulemused Logstor kalkulaatoris

Jooniselt 2.2 saab välja lugeda, et kõrgetemperatuurilise kaugküttevõrgu soojuskadu on 236,21 MWh/aastas.

2.3 Madalatemperatuurilise kaugküttevõrgu soojuskadude arvutus

Madalatemperatuurilise kaugküttevõrgu kohta on tehtud kolm varianti. Esimesel juhul on eelisoleeritudtorustiku peale- ja tagasivoolu isolatsiooniklassiks valitud mõlemal juhul 2. Teise variandi korral on isolatsiooniklass pealevoolu torul 2 ja tagasivoolu torul 1 ning kolmanda variandi puhul on mõlema toru isolatsiooniklassiks 1. Kalkulaatorisse sisestatud lähteandmed on näidatud joonisel 2.3 ja joonisel 2.4 on näha madalatemperatuurilise kaugküttevõrgu jaoks sisestatud torulõikude läbimõõdud ja pikkused.

Energy loss

Heatloss: Yes Finance: Yes CO2: No Return On Investment: No Service Life Cost: No Temperature drop: No Type: EN 13941

Add project Open/Save Print Info Gear All

Temperature

Winter Summer

Flow [°C] 65 65

Return [°C] 30 30

Ambient [°C] 5 10

Days 232 124

System Parameters

Definition λ PUR Average period

calculating year 30

Soil cover (h) mm 1000

Ambient PUR, use λ certificate No

Finance

Currency EUR

price / kWh 0.02

Interest rate [%] 4

CO2-emission

Fuel type Natural Gas

Efficiency [%] 85

Operation Time/Year 8544

Joonis 2.3 Madaltemperatuurilise arvutuse andmed Logstor kalkulaatoris

1. Paekalda taristu 65-30 iso klass 2

Calculate Add pipe Delete pipe Copy Project Delete project

No	Type of system	PipeSystem	Length (m)	C (mm)	Series d1	d1	D1	Series d2	d2	D2	Diff.	Lambda	W/m Win. / Sum.	MWh/year
1	Pair(equal)	Steel Conti	126	250	2	300	500	2	300	500		0.025	28.6 / 25.24	29.53
2	Pair(equal)	Steel Conti	200	250	2	300	500	2	300	500		0.025	28.6 / 25.24	46.87
3	Pair(equal)	Steel Conti	49	250	2	200	355	2	200	355		0.025	26.12 / 23.05	10.49
4	Pair(equal)	Steel Conti	7	250	2	200	355	2	200	355		0.025	26.12 / 23.05	1.50
5	Pair(equal)	Steel Conti	28	250	2	200	355	2	200	355		0.025	26.12 / 23.05	5.99
6	Pair(equal)	Steel Conti	30	250	2	200	355	2	200	355		0.025	26.12 / 23.05	6.42
7	Pair(equal)	Steel Conti	43	250	2	150	280	2	150	280	✓	0.023	21.93 / 19.35	7.73
8	Pair(equal)	Steel Conti	37	250	2	150	280	2	150	280	✓	0.023	21.93 / 19.35	6.65
9	Pair(equal)	Steel Conti	50	250	2	150	280	2	150	280	✓	0.023	21.93 / 19.35	8.98
10	Pair(equal)	Steel Conti	35	250	2	125	250	2	125	250	✓	0.023	19.09 / 16.85	5.47
11	Pair(equal)	Steel Conti	30	150	2	80	180	2	80	180	✓	0.023	16.07 / 14.18	3.95
12	Pair(equal)	Steel Conti	26	150	2	65	160	2	65	160	✓	0.023	15.18 / 13.4	3.24
13	Pair(equal)	Steel Conti	42	250	2	250	450	2	250	450		0.025	25.18 / 22.22	8.67
14	Pair(equal)	Steel Conti	24	250	2	250	450	2	250	450		0.025	25.18 / 22.22	4.96
15	Pair(equal)	Steel Conti	32	250	2	200	355	2	200	355		0.025	26.12 / 23.05	6.84
16	Pair(equal)	Steel Conti	24	250	2	200	355	2	200	355		0.025	26.12 / 23.05	5.14
17	Pair(equal)	Steel Conti	77	250	2	200	355	2	200	355		0.025	26.12 / 23.05	16.48
18	Pair(equal)	Steel Conti	5	250	2	200	355	2	200	355		0.025	26.12 / 23.05	1.07
19	Pair(equal)	Steel Conti	41	250	2	200	355	2	200	355		0.025	26.12 / 23.05	8.77
20	Pair(equal)	Steel Conti	4	250	2	200	355	2	200	355		0.025	26.12 / 23.05	0.85
21	Pair(equal)	Steel Conti	27	250	2	200	355	2	200	355		0.025	26.12 / 23.05	5.78
22	Pair(equal)	Steel Conti	46	250	2	200	355	2	200	355		0.025	26.12 / 23.05	9.85
													Total MWh/year	205.23

Joonis 2.4 Madaltemperatuurilise kaugküttevõrgu arvutuse tulemused, kus peale- ja tagasivoolutorud on 2 isolatsiooniklassiga

Joonistelt 2.4 – 2.6 selgub, et soojuskadu on kõige väikse esimese variandi puhul kui peale- ja tagasivoolutorud on mõlemad 2 isolatsiooniklassiga. Sellisel juhul tuleb soojuskaotaväärtuseks 205,23 MWh/aastas. Teise variandi puhul on tulemus 232,06 MWh/aastas ning kolmanda variandi puhul 251,76 MWh/aastas, mis on isegi suurem kui kõrgetemperatuurilise võrgu puhul (236,21 MWh/aastas). Madaltemperatuurilise kaugküttevõrgu kolme variandi tulemust on võrreldud joonisel 2.7.

2. Paekalda taristu 65-30 iso klass 1 ja 2

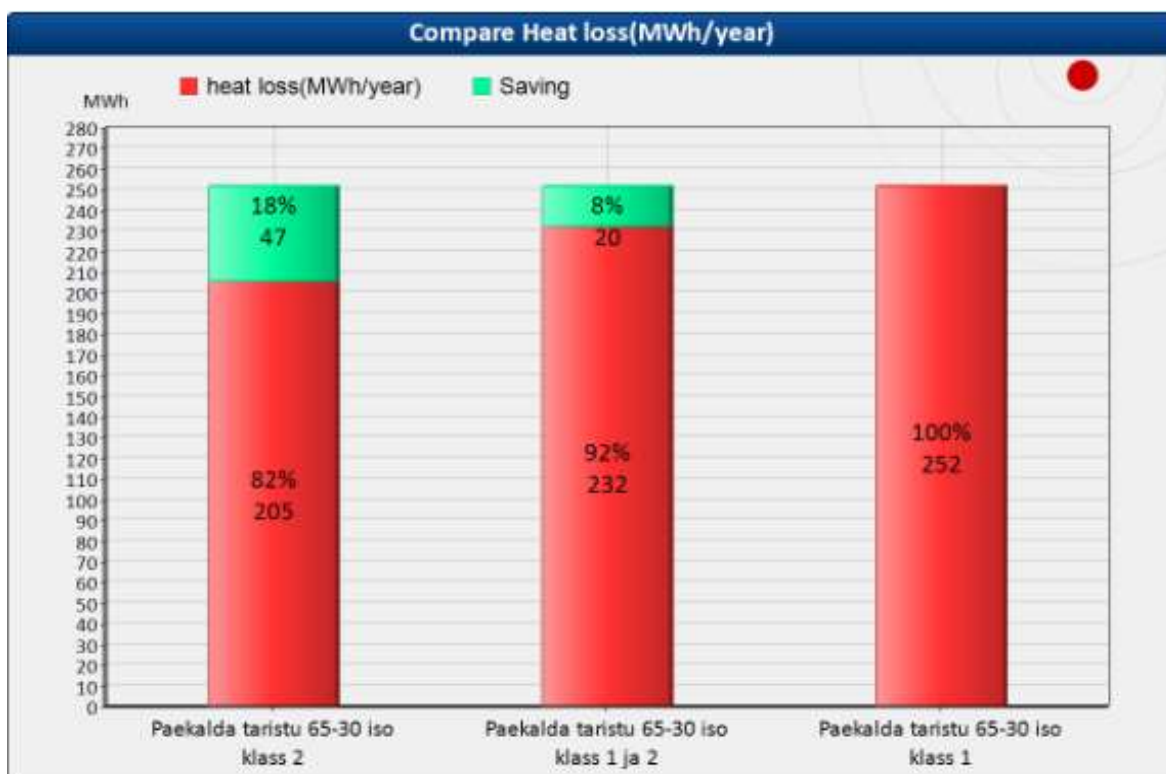
														Calculate	Add pipe	Delete pipe	Copy Project	Delete project
No	Type of system	PipeSystem	Length (m)	C (mm)	Series d1	d1	D1	Series d2	d2	D2	Diff.	Lambda	W/m Win. / Sum.	MWh/year				
1	Pair(un-equal)	Steel Conti	126	250	2	300	500	1	300	450		0.025	32.76 / 28.9	33.82				
2	Pair(un-equal)	Steel Conti	200	250	2	300	500	1	300	450		0.025	32.76 / 28.9	53.68				
3	Pair(un-equal)	Steel Conti	49	250	2	200	355	1	200	315	✓	0.025	29.4 / 25.94	11.80				
4	Pair(un-equal)	Steel Conti	7	250	2	200	355	1	200	315	✓	0.025	29.4 / 25.94	1.69				
5	Pair(un-equal)	Steel Conti	28	250	2	200	355	1	200	315	✓	0.025	29.4 / 25.94	6.74				
6	Pair(un-equal)	Steel Conti	30	250	2	200	355	1	200	315	✓	0.025	29.4 / 25.94	7.23				
7	Pair(un-equal)	Steel Conti	43	250	2	150	280	1	150	250	✓	0.023	24.41 / 21.54	8.60				
8	Pair(un-equal)	Steel Conti	37	250	2	150	280	1	150	250	✓	0.023	24.41 / 21.54	7.40				
9	Pair(un-equal)	Steel Conti	50	250	2	150	280	1	150	250	✓	0.023	24.41 / 21.54	9.99				
10	Pair(un-equal)	Steel Conti	35	250	2	125	250	1	125	225	✓	0.023	21.17 / 18.68	6.08				
11	Pair(un-equal)	Steel Conti	30	150	2	80	180	1	80	160	✓	0.023	17.43 / 15.38	4.28				
12	Pair(un-equal)	Steel Conti	26	150	2	65	160	1	65	140	✓	0.023	16.65 / 14.69	3.55				
13	Pair(un-equal)	Steel Conti	42	250	2	250	450	1	250	400		0.025	28.72 / 25.34	9.89				
14	Pair(un-equal)	Steel Conti	24	250	2	250	450	1	250	400		0.025	28.72 / 25.34	5.65				
15	Pair(un-equal)	Steel Conti	32	250	2	200	355	1	200	315	✓	0.025	29.4 / 25.94	7.71				
16	Pair(un-equal)	Steel Conti	24	250	2	200	355	1	200	315	✓	0.025	29.4 / 25.94	5.78				
17	Pair(un-equal)	Steel Conti	77	250	2	200	355	1	200	315	✓	0.025	29.4 / 25.94	18.54				
18	Pair(un-equal)	Steel Conti	5	250	2	200	355	1	200	315	✓	0.025	29.4 / 25.94	1.21				
19	Pair(un-equal)	Steel Conti	41	250	2	200	355	1	200	315	✓	0.025	29.4 / 25.94	9.88				
20	Pair(un-equal)	Steel Conti	4	250	2	200	355	1	200	315	✓	0.025	29.4 / 25.94	0.96				
21	Pair(un-equal)	Steel Conti	27	250	2	200	355	1	200	315	✓	0.025	29.4 / 25.94	6.50				
22	Pair(un-equal)	Steel Conti	46	250	2	200	355	1	200	315	✓	0.025	29.4 / 25.94	11.08				
													Total MWh/year	232.06				

Joonis 2.5 Madalatemperatuurilise kaugküttevõrgu arvutuse tulemused, pealevoolutoru on 2 isolatsiooniklassiga ja tagasivoolutoru 1 isolatsiooniklassiga

3. Paekalda taristu 65-30 iso klass 1

														Calculate	Add pipe	Delete pipe	Copy Project	Delete project
No	Type of system	PipeSystem	Length (m)	C (mm)	Series d1	d1	D1	Series d2	d2	D2	Diff.	Lambda	W/m Win. / Sum.	MWh/year				
1	Pair(equal)	Steel Conti	126	250	1	300	450	1	300	450		0.025	36.93 / 32.59	38.13				
2	Pair(equal)	Steel Conti	200	250	1	300	450	1	300	450		0.025	36.93 / 32.59	60.53				
3	Pair(equal)	Steel Conti	49	250	1	200	315	1	200	315	✓	0.023	30.3 / 26.74	12.17				
4	Pair(equal)	Steel Conti	7	250	1	200	315	1	200	315	✓	0.023	30.3 / 26.74	1.74				
5	Pair(equal)	Steel Conti	28	250	1	200	315	1	200	315	✓	0.023	30.3 / 26.74	6.95				
6	Pair(equal)	Steel Conti	30	250	1	200	315	1	200	315	✓	0.023	30.3 / 26.74	7.45				
7	Pair(equal)	Steel Conti	43	250	1	150	250	1	150	250	✓	0.023	26.88 / 23.71	9.46				
8	Pair(equal)	Steel Conti	37	250	1	150	250	1	150	250	✓	0.023	26.88 / 23.71	8.15				
9	Pair(equal)	Steel Conti	50	250	1	150	250	1	150	250	✓	0.023	26.88 / 23.71	11.01				
10	Pair(equal)	Steel Conti	35	250	1	125	225	1	125	225	✓	0.023	23.24 / 20.51	6.67				
11	Pair(equal)	Steel Conti	30	150	1	80	160	1	80	160	✓	0.023	18.79 / 16.58	4.62				
12	Pair(equal)	Steel Conti	26	150	1	65	140	1	65	140	✓	0.023	18.11 / 15.98	3.86				
13	Pair(equal)	Steel Conti	42	250	1	250	400	1	250	400		0.025	32.28 / 28.48	11.11				
14	Pair(equal)	Steel Conti	24	250	1	250	400	1	250	400		0.025	32.28 / 28.48	6.34				
15	Pair(equal)	Steel Conti	32	250	1	200	315	1	200	315	✓	0.023	30.3 / 26.74	7.95				
16	Pair(equal)	Steel Conti	24	250	1	200	315	1	200	315	✓	0.023	30.3 / 26.74	5.96				
17	Pair(equal)	Steel Conti	77	250	1	200	315	1	200	315	✓	0.023	30.3 / 26.74	19.12				
18	Pair(equal)	Steel Conti	5	250	1	200	315	1	200	315	✓	0.023	30.3 / 26.74	1.24				
19	Pair(equal)	Steel Conti	41	250	1	200	315	1	200	315	✓	0.023	30.3 / 26.74	10.18				
20	Pair(equal)	Steel Conti	4	250	1	200	315	1	200	315	✓	0.023	30.3 / 26.74	0.99				
21	Pair(equal)	Steel Conti	27	250	1	200	315	1	200	315	✓	0.023	30.3 / 26.74	6.71				
22	Pair(equal)	Steel Conti	46	250	1	200	315	1	200	315	✓	0.023	30.3 / 26.74	11.42				
													Total MWh/year	251.76				

Joonis 2.6 Madalatemperatuurilise kaugküttevõrgu arvutuse tulemused, kus peale- ja tagasivoolutoru on 1 isolatsiooniklassiga



Joonis 2.7 Madalatemperatuurilise kaugküttevõrgu soojuskaod tulemuste võrdlus

Seega saab siin välja tuua, et soojuskaod madalatemperatuurilises kaugküttevõrgus on 30, 98 MWh võrra aastas väiksemad kui sarnase lahendusega kõrgetemperatuurilise võrgu puhul ehk madalatemperatuurilise võrgu puhul on aastased kaod ligikaudu 13% väiksemad.

3 KAUGKÜTTEVÕRGU PROJEKTLAHENDUS

Paekalda (Lahekalda) uusarendus rajatakse 17 hektari suurusele alale kuhu ehitatakse 37 uut hoonet. Arenduse kogu põrandapindala on 180000 m² ning hooned vajavad kaugküttevõrgust soojust ruumide kütmiseks, vee ja ventilatsiooni soojendamiseks. Kogu Paekalda arenduse soojusvajadus on 15 MW. Joonis 3.1 näitab planeeritud hoonete paigutust Paekalda rajoonis. [6]



Joonis 3.1 Planeeritud hooned Paekalda arenduses [6]

3.1 Kõrgetemperatuurilise kaugküttevõrgu projekt

Paekalda taristu kaugküttetorustiku projekti eesmärk on lahendada Paekalda arendusala soojusvarustus. Projekteeritud torustik on maa-alune ja eelisoleeritud torumaterjalist lekke avastamissüsteemi (LAS) signaaltraatidega. Projektis on kasutatud üksiktorusid (single torud).

- Kaugküttevõrgu projekteerimisel on lähtutud AS Utilitas Tallinn poolt väljastatud liitumise tehnilistest tingimustest nr 21300-03-19/7.
- Kaugküttetorustik on projekteeritud standardite EVS-EN 253, EVS-EN 448, EVS-EN 488, EVS-EN 489 ja EVS-EN 13941 järgi.
- Projekti koostamisel on arvestatud eelisoleeritud torumaterjali tootjatehaste soovitustega.
- Kõik projekteeritud kaugküttetorustiku lõigud on isekompeneesruvad – soojusliikumised kompenseeritakse L-, U- ja Z- paisumistsoonides, ning ei vaja enne kinni katmist eelpingestamist.

AS Utilitase Tallinn tehnilistes tingimustes nr 21300-03-19/7 välja toodud soojuskandja parameetrid:

- arvutuslik temperatuurigraafik 122 °C soojusallikast väljumisel. Maksimaalne temperatuur on 130 °C. Minimaalne temperatuur 65 °C ja see tuleb võtta sooja tarbevee soojusvaheti valiku aluseks.
- maksimaalne rõhk soojusvõrgus katsetuste ajal on 1,6 MPa. Rõhkude minimaalne vahe, millest tuleb lähtuda soojussõlme arvutuste teostamisel ja seadmete valikul on 0,1 MPa.

Tegemist on klassikalise lahendusega Utilitas Tallinn võrgupiirkonnas.

3.1.1 Tehniline lahendus

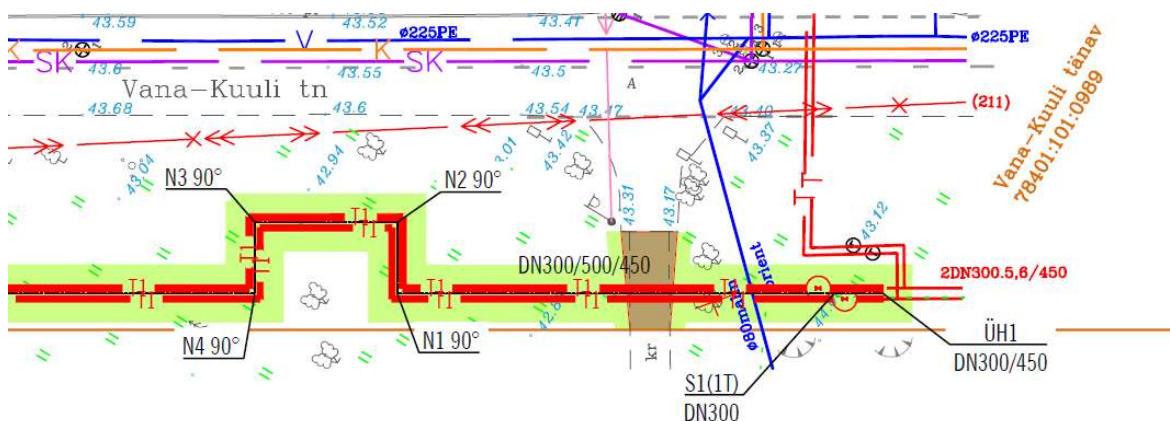
Torustik on standardi EVS-EN 13941 järgi A klassi torustik ja projekteeritud torustiku pikkused on läbimõõtude kaupa välja toodud tabelis 3.1. Siinkohal võib välja tuua, et torustiku pikkus sisaldab pealevoolutoru ja tagasivoolutoru pikkust ehk üks meeter torustiku tähendab ühte meetrit pealevoolutoru ja ühte meetrit tagasivoolutoru.

Tabel 3.1 Kõrgetemperatuurilise kaugküttetorustiku pikkus

Läbimõõt	Torustiku pikkus
	m
DN300/500/450	397,8
DN250/450/400	216,7
DN200/400/355	379,7
DN150/315/280	279,4
DN100/250/225	31,4
DN80/200/180	26,8
DN65/180/160	69,4
DN50/160/140	8,3

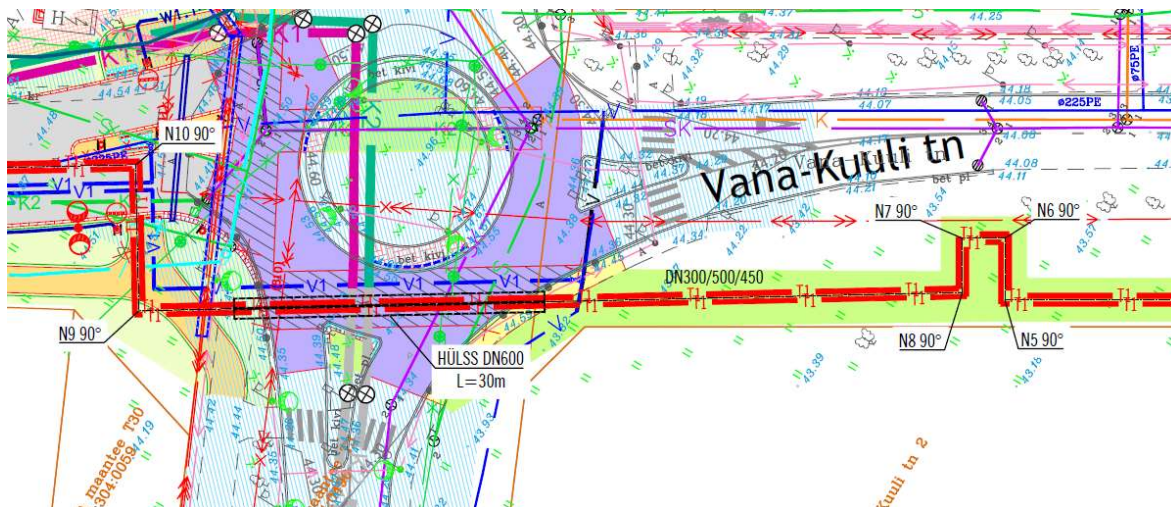
Kasutan torustiku trasseeringust parema ülevaate saamiseks väljalõikeid kõrgetemperatuurilise kaugküttetõrugu asendiplaanilt. Terviklik joonis on välja toodud GRAAFILISES OSAS 1.

Projekteeritud torustik DN300/500/450 algab punktist ÜH1, kus teostatakse ühendus olemasoleva 2xDN300/450 kaugküttetorustikuga ning paigaldatakse sulgarmatuur S1.



Joonis 3.2 Lõik ÜH1 - N4

Ühenduspunkti järel kulgeb torustik paralleelselt Vana-Kuuli tänavaga Narva maantee suunas, mille alt viiakse torustik läbi avatud meetodil terashülsis DN600.



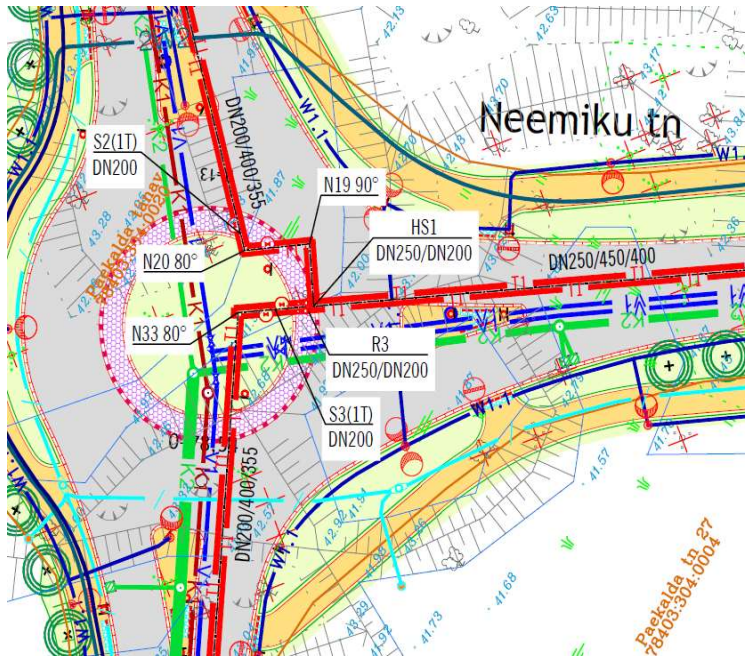
Joonis 3.3 Lõik N5 - N10

Punktis R1 teostatakse projekteeritud torustiku üleminek läbimõõdult DN300/500/450 läbimõõdule DN250/450/400 ning torustik jätkub endises sihis loode suunas.



Joonis 3.4 Lõik R1 - N18

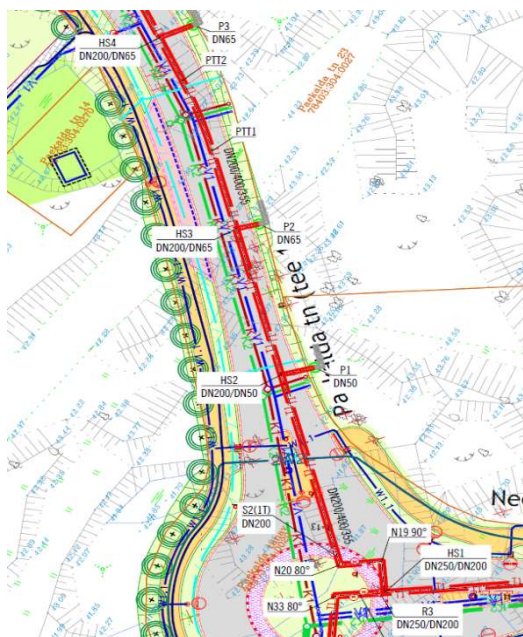
Paekalda tänavale projekteeritud ringristmiku all paigaldatakse torustikule T-hargnemissõlm HS1 DN250/450/400 – DN200/400/355, millest algab mööda tänavat kirdesse kulgev harutorustik DN200/400/355. Harutorustikule paigaldatakse hargnemise järel sulgarmatuur S2. Peatorustik viiakse pärast hargnemissõlme punktis R3 üle läbimõõdule DN200/400/355, sellele paigaldatakse sulgarmatuur S3 ning torustik pööratakse mööda Paekalda tänavat edelasse ning kulgeb vastavalt asendiplaanile ümber arendusala lõuna poolt. (vt joonis 3.5)



Joonis 3.5 Lõik HS1 - N33

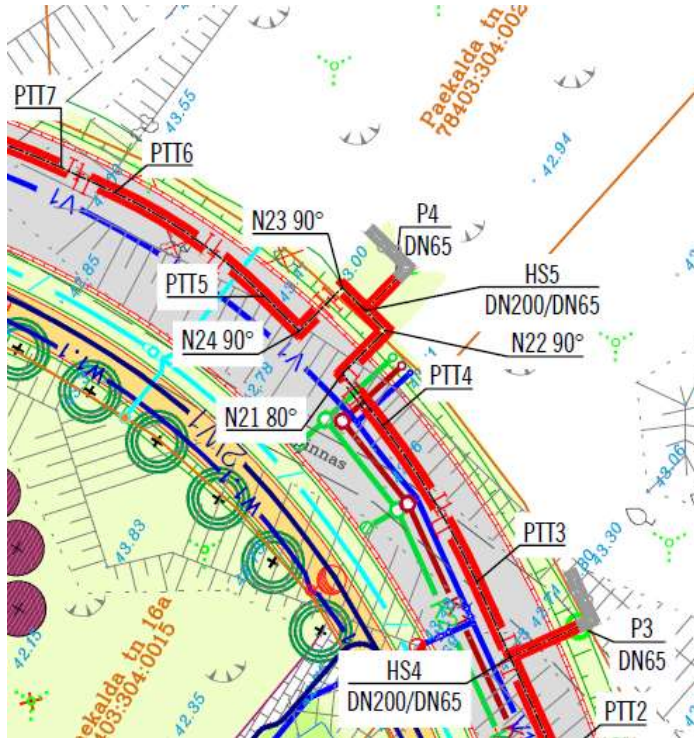
Harutorustik DN200/400/355 kulgeb vastavalt asendiplaanile ümber arendusala põhja poolt.

Punktis HS2 paigaldatakse torustikule T-hargnemissõlm HS2 DN200/DN50, haru viiakse tänavaalalt välja ning paigaldatakse sellele punktis P1 pime. Edasi kulgeb torustik mööda Paekalda tänavat. Torustikule paigaldatakse T-hargnemissõlm DN200/DN65 punktides HS3 ja HS4 ning harud viiakse tänavaalalt välja ja paigaldatakse sellele vastavalt punktis P2 ja P3 pime.



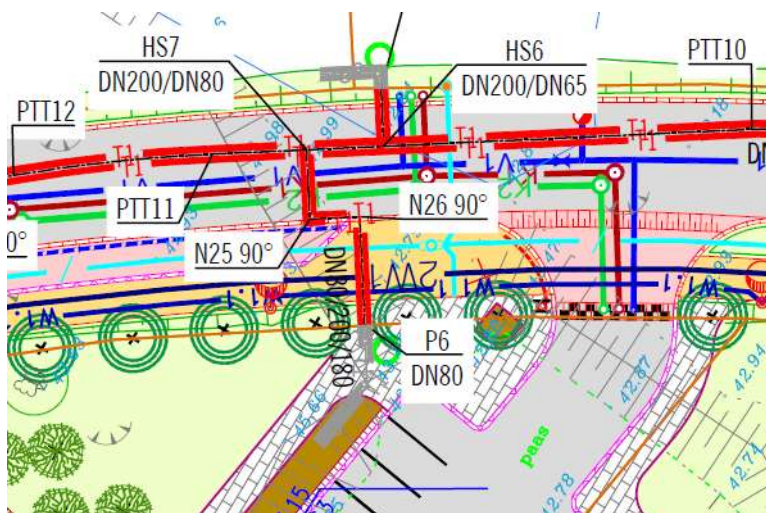
Joonis 3.6 Lõik HS1- HS4

Torustik DN200/400/355 kulgeb edasi paralleelselt mööda Paekalda tänavat. Vastavalt asendiplaanile paigaldatakse sellele põlved N21, N22, N23 ja N24. Lõigule N22-N23 paigaldatakse T-hargnemine HS5 DN200/DN65, haru viiakse tänavaalalt välja ning paigaldatakse sellele punktis P4 pime.



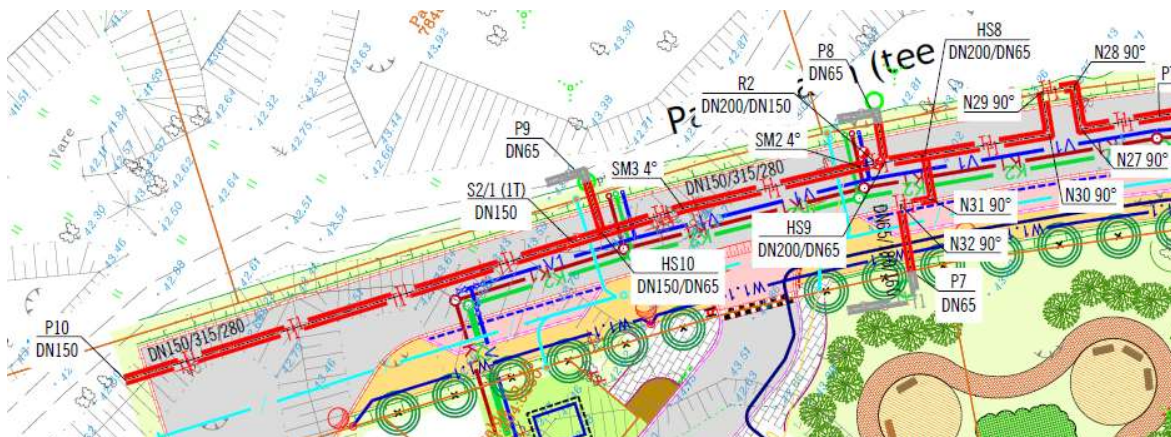
Joonis 3.7 Lõik HS4 - PTT7

Punktis HS6 paigaldatakse torustikule T-hargnemissõlm HS6 DN200/DN65. Haru viiakse tänavaalalt välja ning sellele paigaldatakse pimeots P5. Torustikule paigaldatakse peale hargnemist HS6 hargnemine HS7 DN200/DN80. Haru HS7 ehitatakse välja vastavalt asendiplaanile. Torustik viiakse läbi punktide N25 ja N26 tänavaalalt välja ning seejärel paigaldatakse sellele pimeots P6.



Joonis 3.8 Lõik PTT10 - PTT12

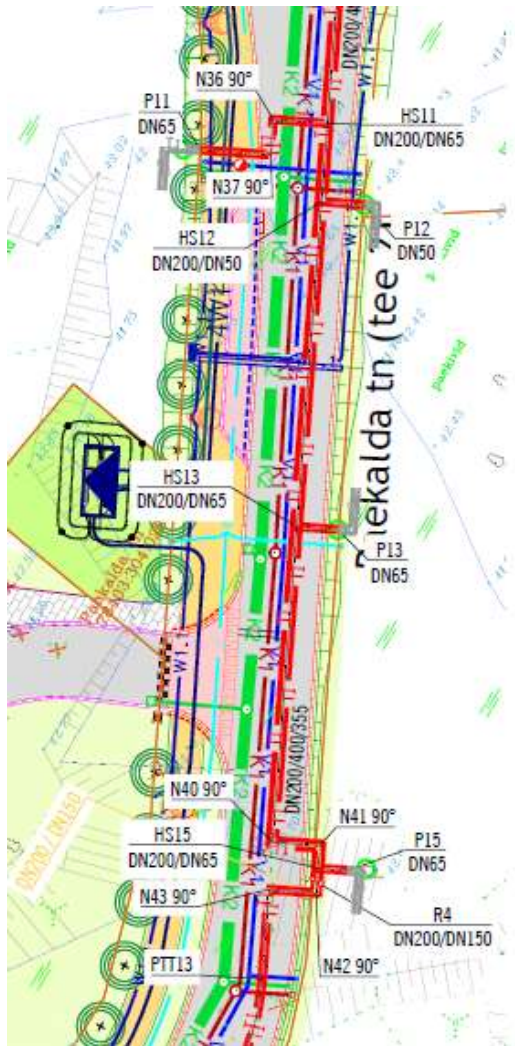
Torustik liigub edasi mööda Paekalda tänavat vastavalt asendiplaanile. Punktis HS8 paigaldatakse T-hargnemissõlm HS8 DN200/DN65. Haru HS8 DN65/180/160 ehitatakse välja vastavalt asendiplaanile ning viiakse läbi punktide N31 ja N32 tänavaalalt välja ning seejärel paigaldatakse sellele pimeots P7. Peale haru HS8 paigaldatakse torustikule haru HS9 DN200/DN65, haru viiakse tänavaalalt välja ning paigaldatakse sellele punktis P8 pime.



Joonis 3.9 Lõik N27 - P10

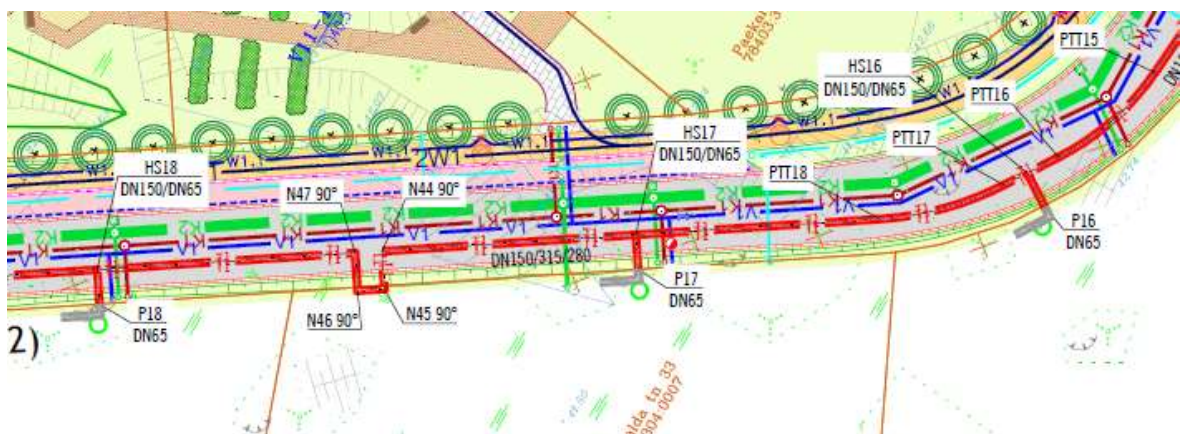
Torustikule paigaldatakse peale hargnemist HS9 üleminek R2 DN200/DN150 ning jätkatakse torusikuga DN150/315/280. Punktis HS10 DN150/DN65 paigaldatakse torustikule hargnemine. Haru viiakse tänavaalalt välja ning paigaldatakse sellele punktis P9 pime. Torustiku haru viiakse Paekalda tänav lõpuni ning paigaldatakse sellele pimeots P10.

Punktis HS11 paigaldatakse hargnemissõlm DN200/DN65. Hargnemine HS11 DN65/180/160 viiakse vastavalt asendiplaanile läbi punktide N36 ja N37 teelalt välja punkti P11 ning paigaldatakse sellele pimeots. Punktist HS11 edasi viiakse peatorustik punktini HS12 DN200/DN50. Punktis HS12 DN200/DN50 paigaldatakse torustikule hargnemine DN50/160/140. Haru viiakse tänavaalalt välja ning paigaldatakse sellele pime punktis P12. Peatorustik viiakse edasi mööda Paekalda tänavat. Punktis HS13 DN200/DN65 paigaldatakse sellele T-hargnemine. Haru HS13 DN65/180/160 viiakse tänavaalalt välja ning paigaldatakse sellele pimeots punktis P13. Peatorustik viiakse edasi mööda Paekalda tänavat. Vastavalt asendiplaanile paigaldatakse peale punkti N40 ja N41 hargnemine HS15 DN200/DN65. Hargnemine DN65/180/160 viiakse tänavaalalt välja ning paigaldatakse sellele punktis P15 pime. (vt joonis 3.10)



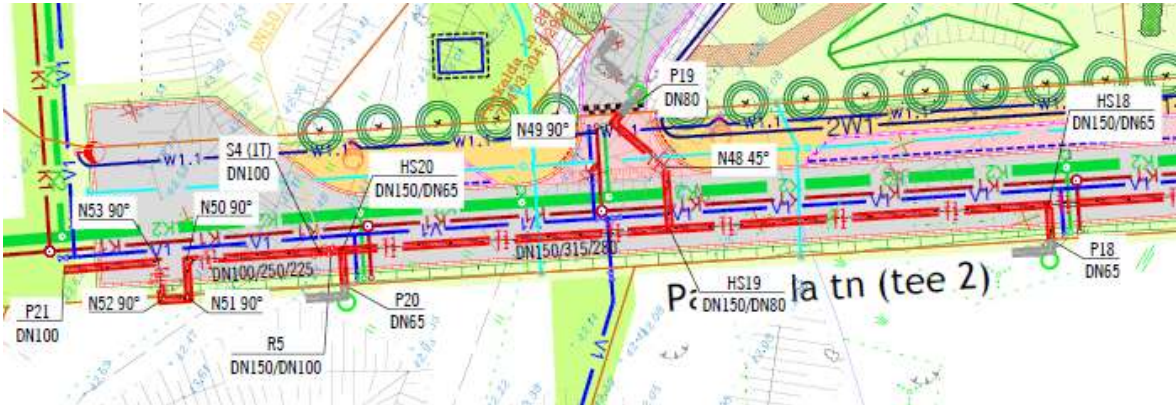
Joonis 3.11 Lõik HS11 - PTT13

Peatorustikule paigaldatakse peale hargnemist HS15 üleminek R4 ning jätkatakse torustikuga mõõdus DN150/315/280 läbi punktide N42 ja N43 viiakse torustik hargnemiseni HS16 DN150/DN65.



Joonis 3.10 Lõik PTT15 - HS18

Hargnemisele HS16 DN65/180/160 paigaldatakse pimeots punktis P16. Peatorustikuga jätkatakse mööda Paekalda tänavat. Punktis HS17 paigaldatakse sellele hargnemine DN150/DN65. Harule HS17 DN65/180/160 paigaldatakse pimeots P17. Peatorustikuga jätkatakse mööda Paekalda tänavat läbi punktide N44, N45, N46 ja N47. (vt joonis 3.11) Seejärel paigaldatakse torustikule punktis HS18 hargnemine DN150/DN65 mis lõppeb pimeotsaga P18.



Joonis 3.12 Lõik HS18 - P21

Peatorustik hargneb uuesti punktis HS19. Haru DN80 viiakse vastavalt asendiplaanile läbi punktide N48 ja N49 tänavaalalt välja ning paigaldatakse pimeots P19. Peatorustik liigub edasi mööda Paekalda tänavat hargnemiseni HS20 DN150/DN65, kus harule DN65/180/160 paigaldatakse pimeots P20. Peatorustikule paigaldatakse peale hargnemist HS20 üleminek R5 ning jätkatakse torustikuga DN100/250/225. Torustik viiakse vastavalt asendiplaanile läbi punktide N50, N51, N52 ja N53 Paekalda tänava lõpp punkti P21 kuhu paigaldatakse pimeots.

Sulgarmatuurid paigaldatakse torustikule vastavalt montaažiskeemile (jälgida teenindusarmatuuri asukohta sulgarmatuuri suhtes: kas peatoru poole või tagurpidi).

Sulgarmatuuri teenindamiseks on kaugküttetorustikule projekteeritud raudbetoonkaevud Ø1160/1000 ning Ø1700/1500 koos malmluugiga (luugi kandevõime: 40 tonni).

3.1.2 Torustiku paigutamise reeglid

Torud peavad kaevikus paiknema sirgelt ilma suuremate jõnksudeta ja torude vahel peab olema projektiga ettenähtud vahe. Kummagi toru kohale 200 kuni 500 mm kõrgusele tuleb paigaldada nõuetekohane hoiatuslint. Kaugküttetorustiku paiknemine kaevikus on näha Joonis 3.13 ja Joonis 3.14.

Kaugküttevõrgu projekteerimisel tuleb arvestada standardis EVS-EN 843 välja toodud reeglitega: [14]

- Paigutamise vähim sügavus (Tabel 3.2)
- Tehnovõrkude kaugused hoonetest ja rajatistest (Tabel 3.3)
- Tehnovõrkude vahelised kaugused rööpkulgemisel (Tabel 3.4)
- Tehnovõrkude vahelised kaugused püstsuunas nende lõikumisel (Tabel 3.5)

Tabel 3.2 Tehnovõrkude paigutamise vähim sügavus [14]

Tehnovõrgu liik	Tehnovõrgu paigutamise vähim sügavus maapinnast (m)
Veetorud läbimõõduga:	
kuni 500 mm	0,2 m külmumispiirist allapoole
üle 500	külmumispiirist allapoole
Isevoolse kanalisatsiooni toru läbimõõduga:	
kuni 500 mm	0,3 m võrra külmumispiirist ülespoole
üle 500	sama, 0,5 m võrra, kuid mitte vähem kui 1,0 m püsikatendi ja 0,7 m haljasriba all
Kanalisatsiooni survetorustik	1,8 m
Gaasitoru	0,8 m
Kaugküttetoru kanalis	0,5 m
Sama, kanalita	0,6 m
Sõiduteevälised sidekaablid	0,7 m
Sama, sõidutee all	1,0 m
Pikisuunalised elektrikaablid pingega	
kuni 20 kV	0,7 m
35 kV	1,0 m
110 kV	1,5 m
Sõiduteega lõikuvad elektrikaablid pingega	
kuni 35 kV	1,0 m
110 kV	1,5 m

Tabel 3.3 Tehnovõrkude kaugused hoonetest ja rajatistest [14]

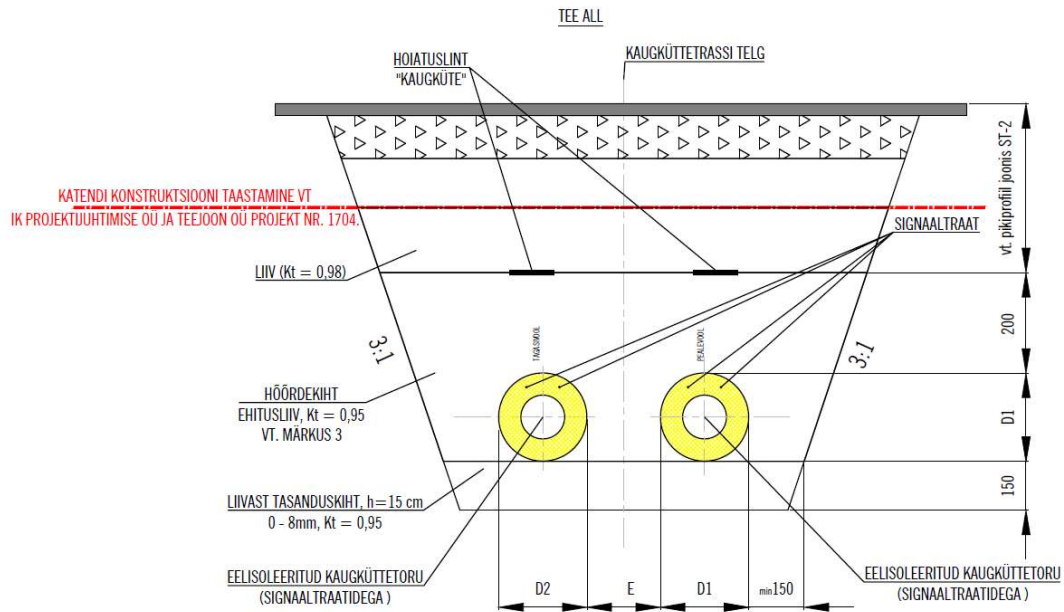
Tehnovõrgu liik	Kaugus (puhas vahe) horisontaalsuunas (m) tehnovõrgust kuni								
	hoone ja rajatise vundamendini	massiivse pürde, estakaadi ja raudtee õhuliini-masti vundamendini	äärmise rööbastee teljeni		sõidutee äärekivi esiservani	küveti välis-serva või tee muldkeha jalamini	elektriõhuliini posti vundamendini, pingega		
			1520 mm raudteel	trammi-teel			kuni 6 kV	6 kV kuni 35 kV	110 kV
Veetoru ja survekanalisatsioon	3	3	4	2,8	1,5	1	1	2	3
Isevoolne kanalisatsioon	3	1,5	4	2,8	1,5	1	1	2	3
Drenaaž	0,4	0,4	0,4	-	0,4	-	-	-	-
Gaasitoru survega kuni 5 MPa 5 MPa kuni 16 MPa	1	1	3,8	2,8	1,5	1	1	10	10
	2	1	7,8	3,8	1,5	1	1	10	10
Kaugküttetoru	2	1,5	4	2,8	1,5	1	1	2	3
Kaablid kanalita paigutamisel	0,6*	0,5	3,25	2,8	1,5	1	1**	5***	10
Kanalid, tehnovõrgu tunnelid	2	1,5	4	2,8	1,5	1	1	2	3

Tabel 3.4 Tehnovõrkude vahelised kaugused rööpkulgemisel [14]

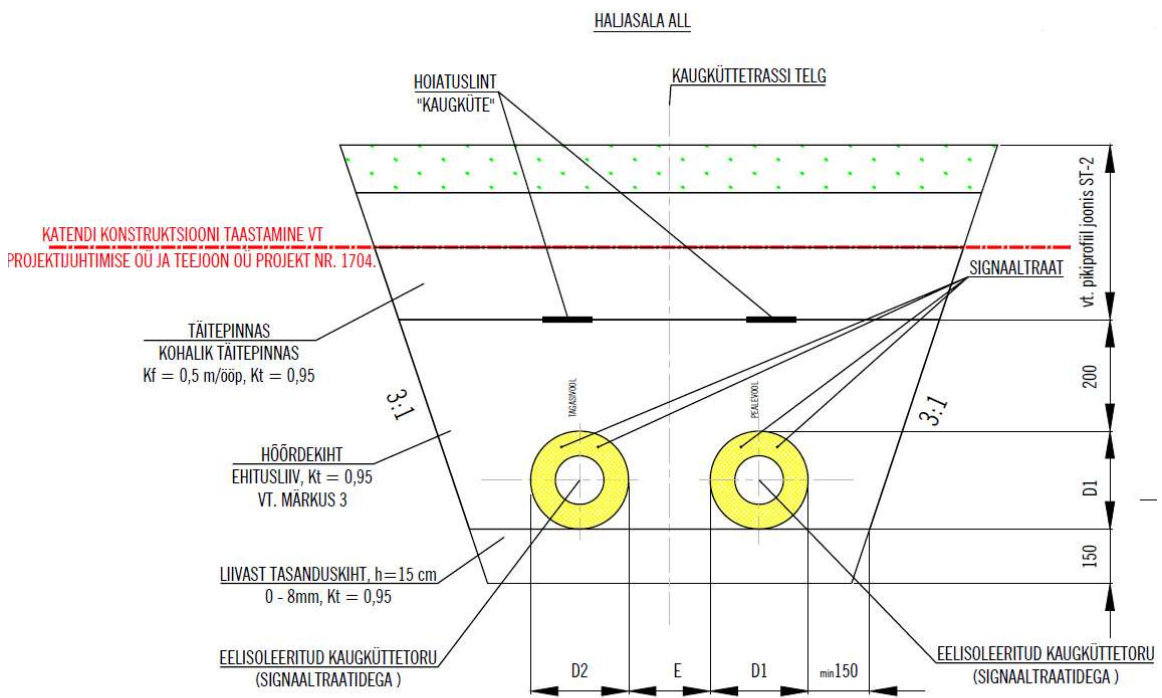
Tehnovõrgu liik	Kaugus (puhas vahe) horisontaalsuunas tehnovõrkude välispindade vahel (m)							
	veetoru ja survekanalisatsioonini	isevoolse kanalisatsiooni ja drenaažini	gaasitoru survega (bar)		elektrikaablini	sidekaablini	kaugkütetoruni	kanali, tehnovõrgu tunnelini
			≤ 5	5 kuni 16				
Veetoru ja survekanalisatsioon	0,2	0,2****	0,5	0,5	1	0,5	1	1,5
Isevoolne kanalisatsioon ja drenaaž	0,2****	0,4	1	1,5	1	0,5	1	1
Gaasitoru survega: ≤ 5 bar 5 bar kuni 16 bar	0,5	1	0,3	0,3	1	0,5	1	1
	0,5	1,5	0,3	0,3	1	0,5	1	1,5
Elektrikaabel: kuni 35 kV 110 kV	1	1	1	1	0,2 kuni 0,5*	0,25 kuni 0,5	2**	2
	1	1	1	1	1***	1	2	2
Sidekaabel	0,5	0,5	0,5	0,5	0,25 kuni 0,5	-	0,3	1
Kaugküte	1	1	1	1	2**	0,3	-	2
Kanal, tehnovõrgu tunnel	1,5	1	1	1,5	2	1	2	-

Tabel 3.5 Tehnovõrkude vahelised kaugused püstsuunas nende lõikumisel [14]

Tehnovõrgu liik	Kaugus püstsuunas kuni (m)						
	veetoru ja survekanalisatsioonini	isevoolse kanalisatsioonini	gaasitoruni		kaugkütetoruni	elektrikaablini	sidekaablini
			teras	PE			
Veetoru ja survekanalisatsioon	0,10	0,10	0,15	0,15	0,20	0,30 (0,20 ²⁾)	0,30 (0,20 ²⁾)
Isevoolne kanalisatsioon	0,10	0,10	0,20	0,20	0,20	0,30 (0,20 ²⁾)	0,30 (0,20 ²⁾)
Gaasitoru ¹⁾ : teras polüetüleen (PE)	0,15	0,20	0,10	0,10	0,20	0,30 ³⁾	0,30
	0,15	0,20	0,10	0,10	0,30 (0,10 ⁴⁾)	0,30 ³⁾ (0,10 ⁵⁾)	0,10
Kaugküte	0,20	0,20	0,20	0,30 (0,10 ⁴⁾)	0 ⁶⁾	0,20	0,20
Elektrikaabel: alla 1kV 1 kV kuni 35 kV 110 kV	0,30	0,30	0,30	0,30	0,20	0,20 ¹⁰⁾	0,20 ¹⁰⁾
	0,30 (0,20 ²⁾)	0,30 (0,20 ²⁾)	0,30	0,30 ³⁾ (0,10 ⁵⁾)	0,20	0,30 ¹⁰⁾	0,30 ¹⁰⁾
	0,60 ⁷⁾	0,60	0,50 ⁸⁾	0,50 ⁸⁾	0,60 ⁹⁾	0,30*	0,30*
Sidekaabel	0,30 (0,20 ²⁾)	0,30 (0,20 ²⁾)	0,30	0,10	0,20	0,20 kuni 0,30	0,05



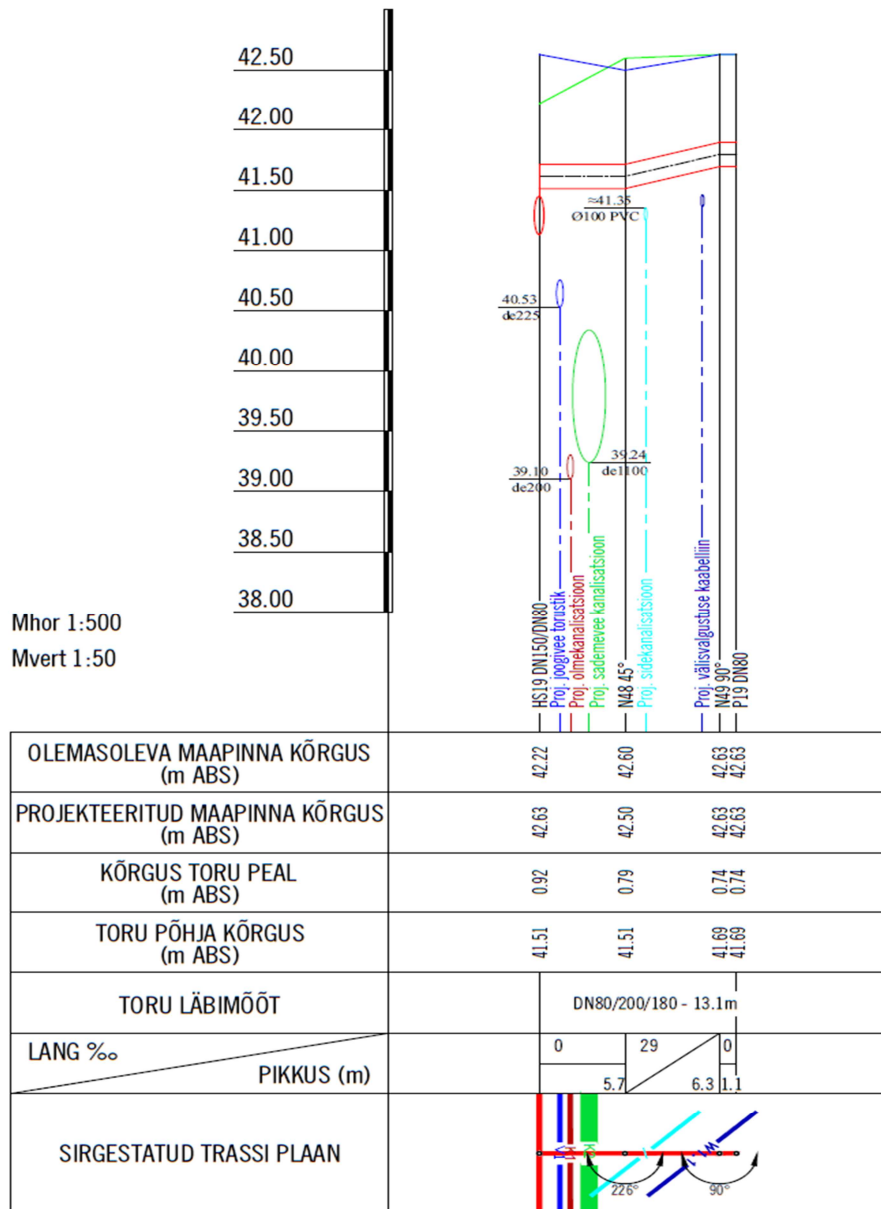
Joonis 3.13 Kaugküttetorustiku tüüplõige tee all



Joonis 3.14 Kaugküttetorustiku tüüplõige haljasala all

Tabelid 3.2 ja 3.5 on eriti vajalikud kaugküttetorustiku pikiprofiili koostamiseks. Seega toon siia näitena lõigu HS19 – P19 Paekalda taristu kaugküttetorustiku pikiprofiilist. (vt Joonis 3.15) Sellel lõigul toimub ristumine mitmete projekteeritud tehnovõrkudega.

HS19 - P19



Joonis 3.15 Lõik HS19 - P19 Paekalda taristu kaugküttetorustiku pikiprofiililt

3.1.3 Lekkeavastamissüsteem (LAS) ja signaaltraadid

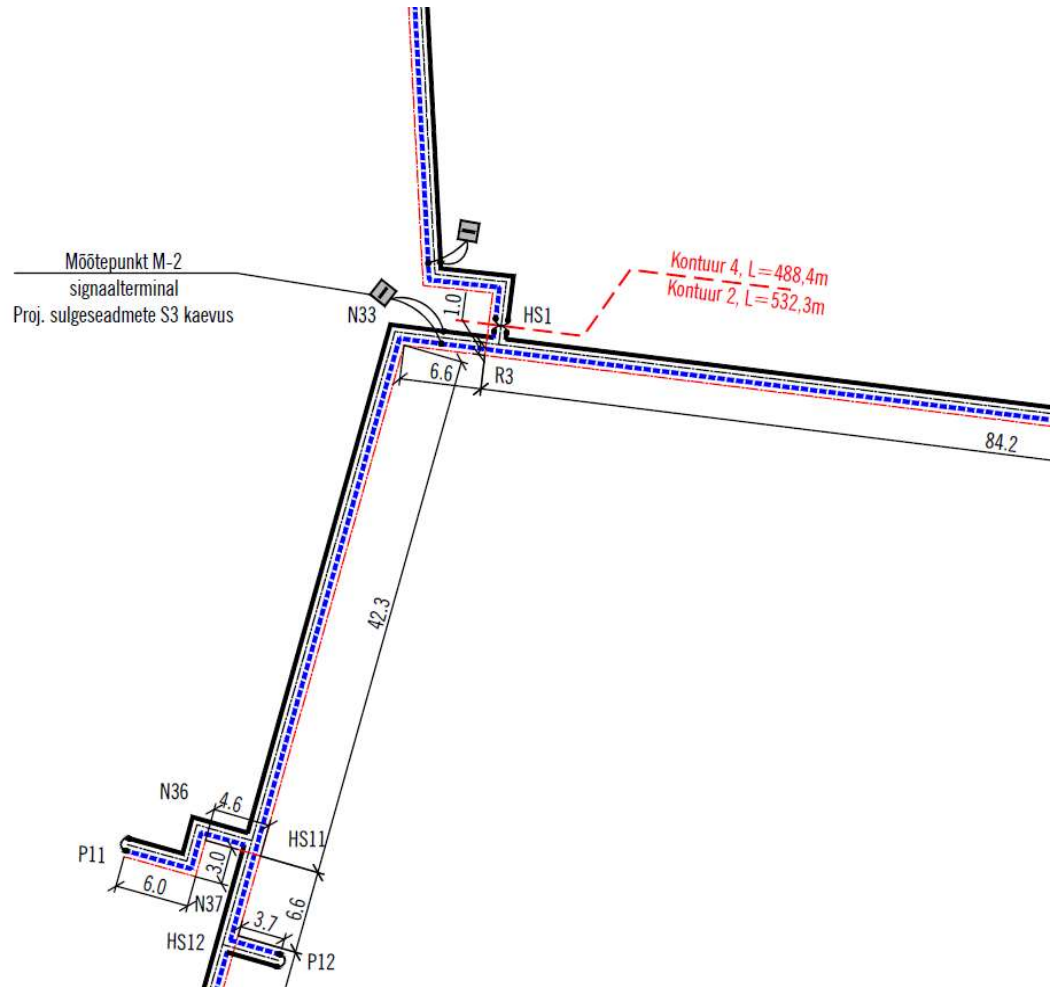
Lekke avastamissüsteem tuleb koostada täites standardi EVS-EN 14419 nõudeid. Montaaži ei tohi anda eelisoleeritud torusid, mille isolatsioonitakistus on väiksem kui 10 MΩ. Vastav kontroll tuleb teostada torude vastuvõtmisel ja enne torude kokku keevitamist. Isolatsioonitakistust (takistust signaaltraadi ja terastoru vahel) tuleb mõõta/kontrollida pingega 250V.

Märgunud isolatsioon tuleb korralikult põletileegiga kuivatada - või halvemal juhul isolatsiooni lõigates kihikaupa (ca 10 mm) eemaldada. LAS signaaltraadid ühendatakse pressühendustega (ik crimp connector). Pressühenduste tegemiseks tuleb kasutada nõuetekohaseid materjale ja tööriistu (liivapaber, tangid jms). Pressühenduste juures loetakse optimaalseks tulemuseks signaaljuhtmete kontuuritakistust mitte rohkem kui 1,5 Ω kokku ühendatud 100 m traadipikkuse kohta.

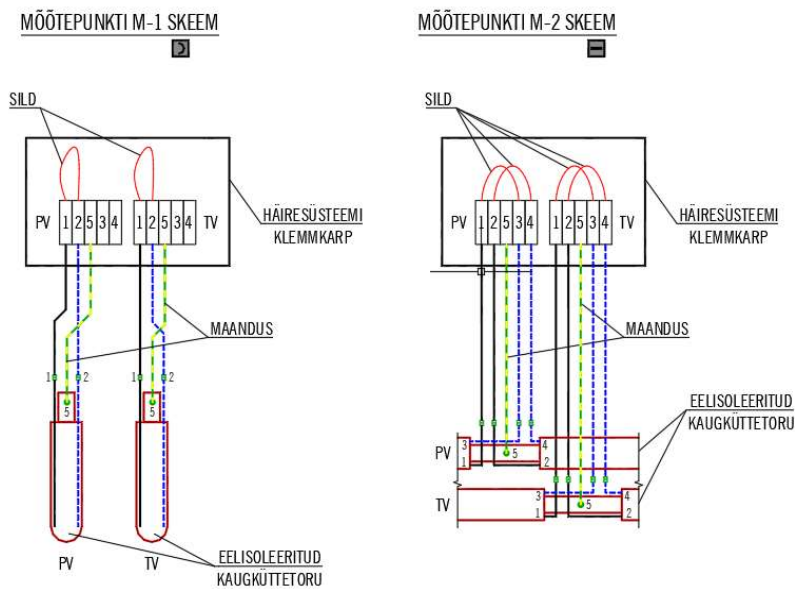
Parima tulemuse saamiseks on soovitatav paigaldada jätkupakendeid järjest ühest otsast teise poole ja vältida vahepealseid nõ avatud kohti. Tööde ajal on soovitatav iga jätkupakendi paigaldamisel teha nii kontuuritakistuse kui isolatsioonitakistuse mõõtmised ja tulemused fikseerida nn töömärkmetena. Eesmärgipärane on tehtud töömärkmete lisamine täitedokumentatsioonile.

Mõõtepunktides, kus hilisemate kontrollmõõtmiste tegemiseks tuuakse LAS signaaltraadid vastavasse karpi (niiskuskindlusega IP56, lühterklemm), tuleb väljavõtt teha nõuetekohaselt ja kasutades selleks valmistajatehase poolt ettenähtud materjale (massiklemm, poldid/mutrid, juhtmed, tihendusmaterjalid/mastikslindid, otsamüts). Massiklemmil ei tohi olla teravaid nurki, mis peavad olema ümardatud ning massiklemm tuleb toru külge keevitada. Väljavõtt peab olema veetihe ja sealtkaudu ei tohi LAS sattuda vett/niiskust. Vastavate ühenduste tegemisel tuleb jälgida ühenduskohti ja ühenduskaabli soonte värvi ning ühendamisel/pikendamisel kasutatud juhtmete värvi tuleb fikseerida vastavas aktis.

Joonisel 3.16 on näidatud väljalõige signaaltraatide skeemist GRAAFILISES OSAS 2. Jooniselt näeb, et signaalterminaalid on paigutatud projekteeritud sulgeseadme kaevu. Sellisel juhul näeb mõõtepunkti skeem välja nagu skeem M-2 joonisel 3.17. Kui signaalterminaal on ühendatud maja soojussõlme näeb see välja nagu skeem M-1. Projekteerimisel lähtutakse sellest, et mõõtepunktile oleks juurdepääs tagatud võimalikult lihtsalt.



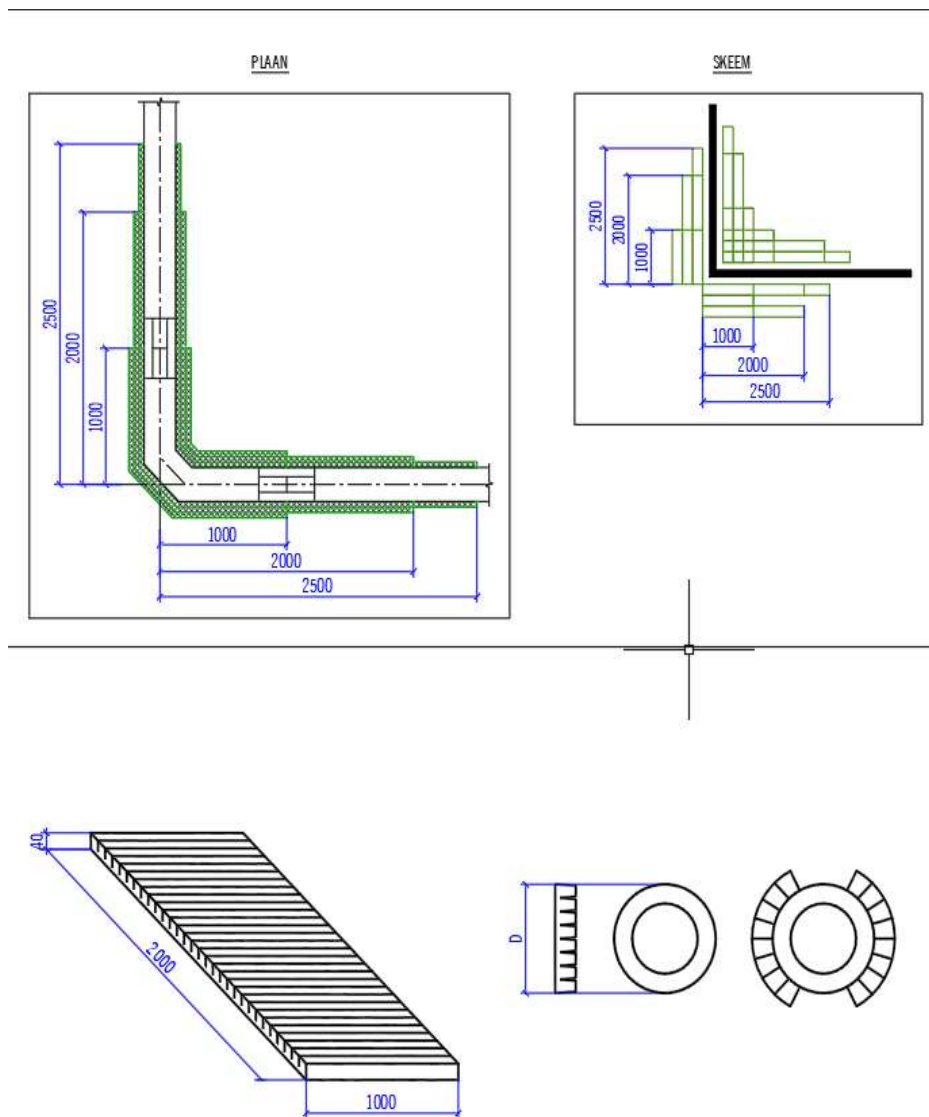
Joonis 3.16 Kaugküttetorustiku signaaltraatide skeem



Joonis 3.17 Mõõtepunktide skeemid

3.1.4 Paisumispadjad

Paisumispatajasid kasutatakse soojuspaisumise osaliseks kompenseerimiseks. Paisumispatjade kasutamiseks ei tohi esmakordne paisumis liikumine ületada 84 mm ja väliskesta pinnatemperatuur ei tohiks ületada 50°C. Paisumispatju toodetakse polüetüleenvahust ning neid on saadaval ainult ühes suuruses mida siis kohandatakse vastavalt korpuse läbimõõdule. [15] Joonisel 3.18 on välja toodud paisumispatjade paigaldamise tüüpjoonis, ning on näha, et paisumispatjade tüüpsuurus on 40x1000x2000 mm.



Joonis 3.16 Paisumispatjade paigalduse tüüpjoonis

3.2 Madalatemperatuurilise kaugküttevõrgu projekt

Üldised põhimõtted on madalatemperatuurilise kaugküttevõrgu projekteerimise juures sarnased kõrgetemperatuurilisega. Projekt peab vastama samadele standarditele ja seadusandlusele nagu kõrgetemperatuurilise kaugküttevõrgu projekt. Torustik on maa-alune ja eelisoleeritud torumaterjalist lekke avastamissüsteemi (LAS) signaaltraatidega ning projektis on kasutatud üksiktorusid (single torud) ehk tüüpjoonised on samuti samad mis kõrgetemperatuurilise projekti puhul.

Selle alapeatüki eesmärk on võrrelda mis on kahe projekti puhul erinevat, ning igat punkti mida seletati lahti alapunktis 3.1 siin enam eraldi välja ei too.

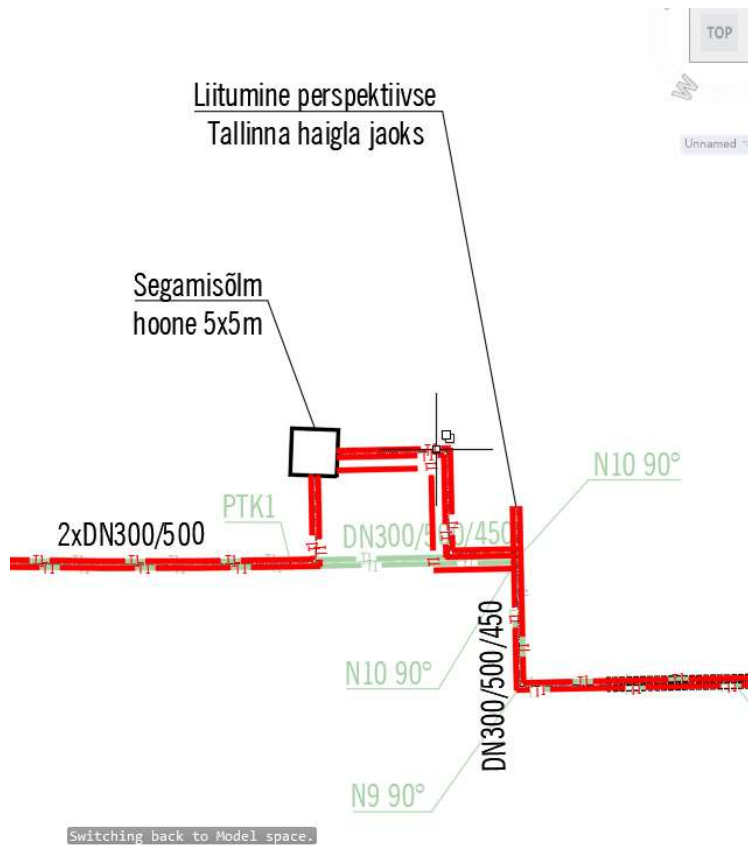
3.2.1 Tehnilise lahenduse võrdlemine

Madalatemperatuurilise võrgu kohta AS Utilitas Tallinn tehnilisi tingimusi väljastatud ei ole kuna realselt töösse läks kõrgetemperatuuriline lahendus. Kui kõrgetemperatuurilise projekti korral oli arvestatud maksimaalse temperatuuriga 130 °C ja minimaalse temperatuuriga 65 °C siis Paekalda madalatemperatuurilise kaugküttevõrgu puhul on arvestatud temperatuurigraafikuga 65/35 °C.

Kõrgetemperatuurilise ja madalatemperatuurilise kaugküttevõrgu asendiplaanide lihtsamaks võrdlemiseks on asendiplaanilt eemaldatud teiste projektide joonised ning lisatud on kõrgetemperatuuriline trass koos märkmetega. Selles punktis kasutan väljavõtteid lihtsustatud asendiplaanist, terviklik joonis on välja toodud GRAAFILISES OSAS 3.

Trasseering

Kuna perspektiivse Tallinna haigla hoonete jaoks on vaja luua liitumispunkt kõrgetemperatuurilise graafikuga siis algab madalatemperatuuriline võrk 3 toru T-hargnemistega mis viiakse segamissõlme, ning hargnemised toimuvad kõrgetemperatuurilise torustiku punkti N10 lähedal (vt Joonis 3.17). Seega ei alustata madalatemperatuurilise torustikuga punktist ÜH1 (vt Joonis 3.2) nagu kõrgetemperatuurilise torustiku puhul. Seega ei arvestata kahe lahenduse torustiku pikkuste võrdluses kõrgetemperatuurilise võrgu lõiguga ÜH1 – N10 (lõigu pikkus 272 m, toru läbimõõt DN300).

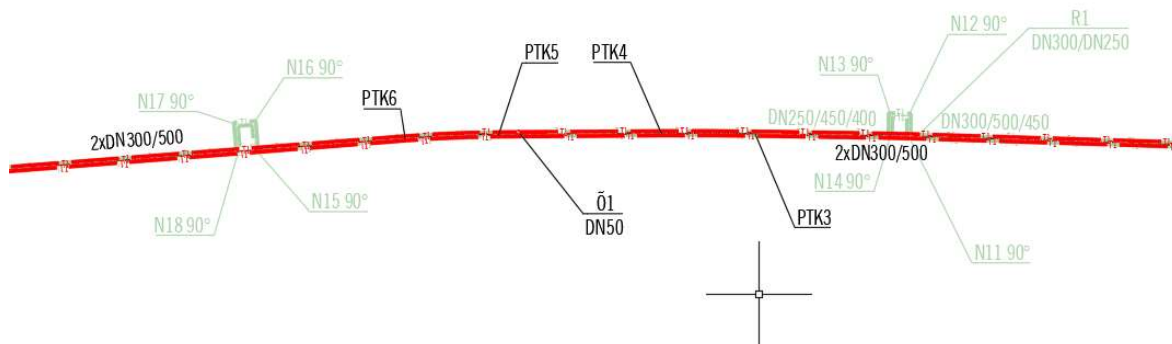


Joonis 3.17 Madalatemperatuurilise võrgu alguspunkt

Segamissõlme skeem on välja toodud Joonis 4.2, 3c.

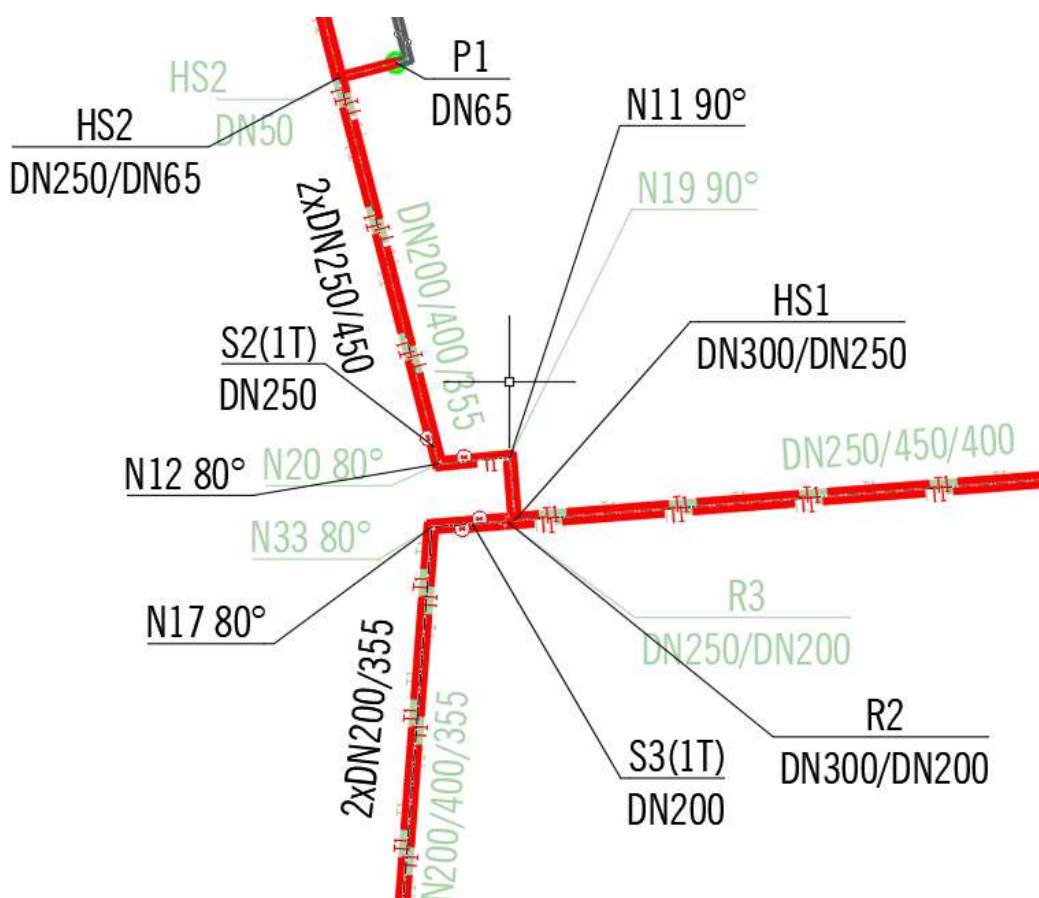
Alapeatükis 2.3 sai välja toodud, et kõige väiksem soojuskadu on madalatemperatuurilise torustiku puhul kui pealevoolu ja tagasivoolu torude isolatsiooniklass on mõlemal juhul 2. Ehk siis torustik algab läbimõõduga 2xDN300/500, kõrgetemperatuurilise võrgu puhul oli torustik DN300/500/450 ja seda on näha ka joonisel 3.17. Edasi liigub madalatemperatuuriline torustik sama trasseringut mööda nagu kõrgetemperatuuriline. Erinevused tekivad kuna madalama temperatuuri puhul ei ole torule vaja lisada nii palju kompensaatoreid ja torustiku läbimõõdud võivad olla suuremad.

Kui kõrgetemperatuurilise võrgu puhul toimus punktis R1 üleminek läbimõõdult DN300 läbimõõdule DN250 ja peale seda oli tekitatud U – kompensaatorid punktides N11 – N14 ning punktides N15 – N17 siis madalatemperatuurilise võrgu puhul kompensaatoreid ei ole vaja ja torustik jätkub läbimõõdul 2xDN300/500, seda on näha ka joonisel 3.18.



Joonis 3.19 LTDH lõik PTK3 – PTK6

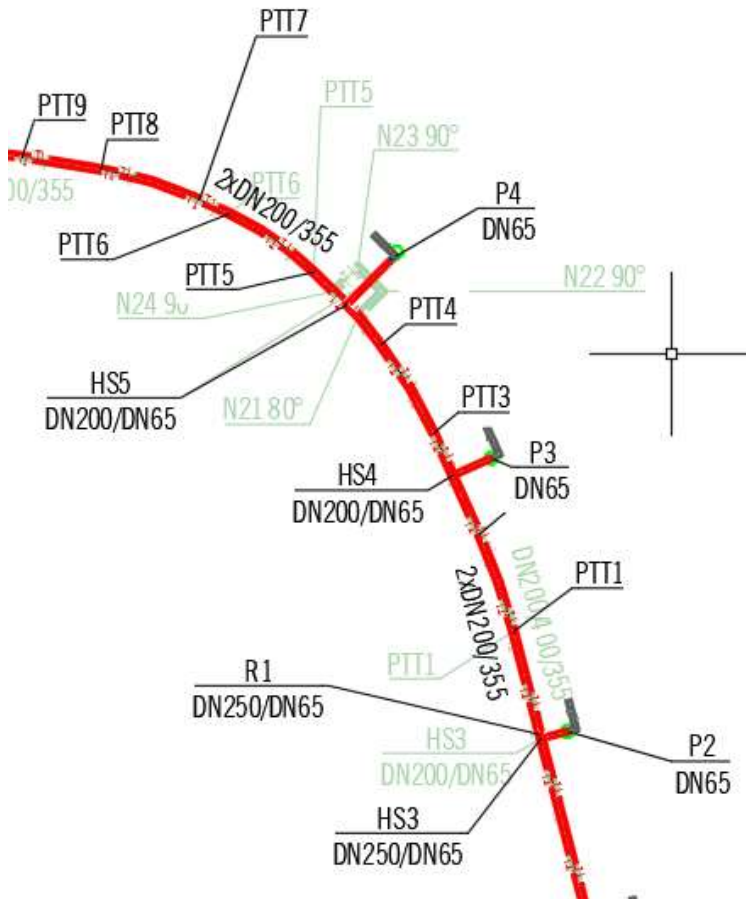
Punktis HS1 toimub hargnemine DN300/DN250. Harutoru 2xDN250/450 liigub samamoodi nagu kõrgetemperatuurilise trassi puhul kuid toru läbimõõdud on erinevad.



Joonis 3.18 LTDH lõik HS1 - N17

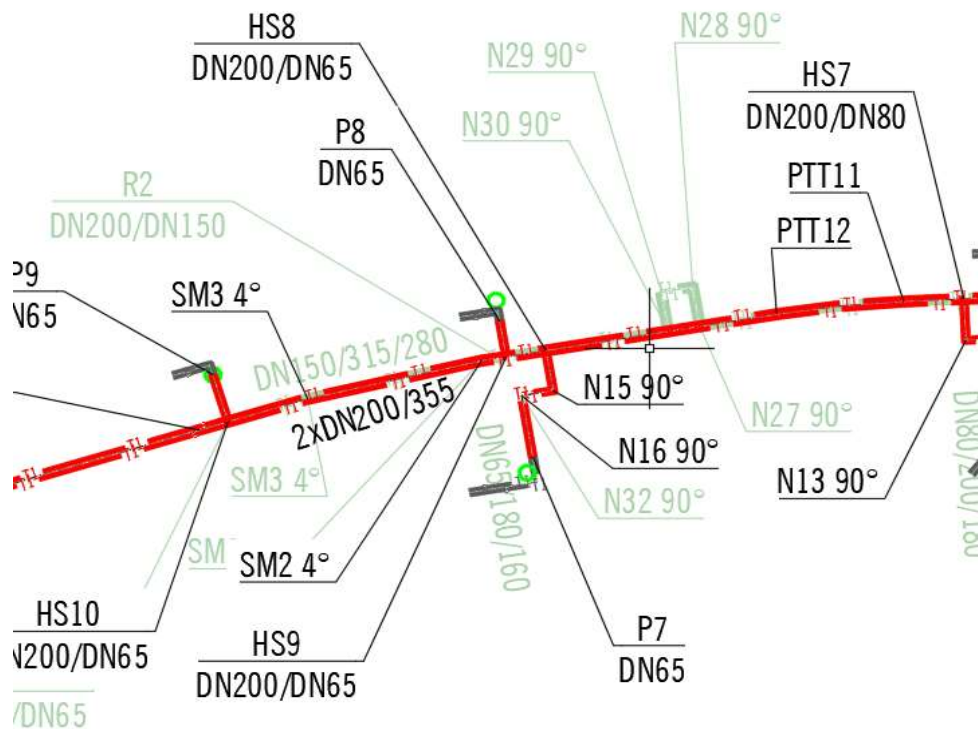
Hargnemise HS3 DN250/DN65 järel punktis R1 viiakse madalatemperatuuriline võrk üle läbimõõdule 2xDN200/355, kõrgetemperatuurilise võrgu korral selles kohas üleminek puudus.

Järgmise erinevuse trasseeringus leiab HS5 juures kus kõrgetemperatuurilise võrgu korral oli tekkitatud U-kompensaator kuid madalatemperatuuri korral ei ole see vajalik.



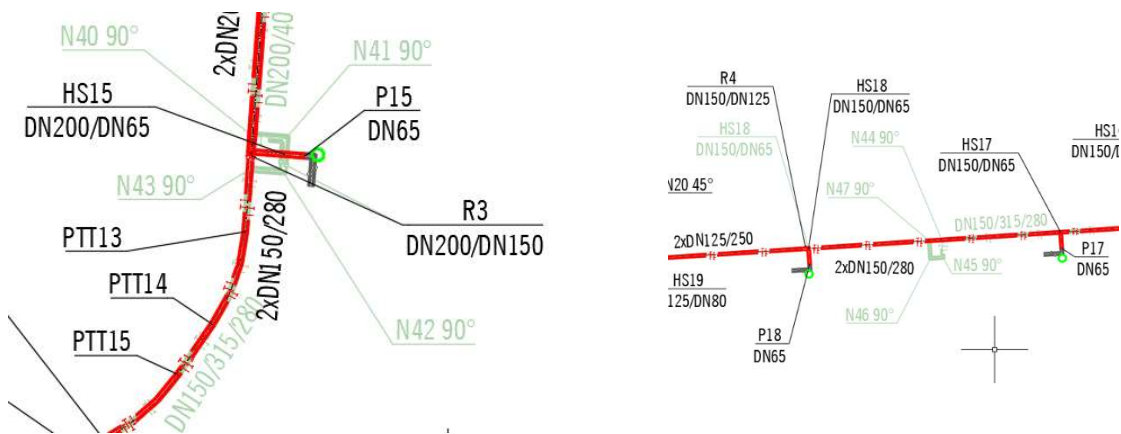
Joonis 3.20 LDTH lõik HS3 – PTT9

Madalatemperatuurilise võrgu punktide PTT12 ning HS8 vahelisel lõigul on kõrgetemperatuurilise võrguga võrreldes taas üks U-kompensaator vähem ja hargnemise HS9 järel viidi kõrgetemperatuuriline võrk üle läbimõõdule DN150 kuid madalatemperatuurilisega jätkatakse DN200. (vt joonis 3.21)



Joonis 3.22 LTDH lõik HS7 - HS10

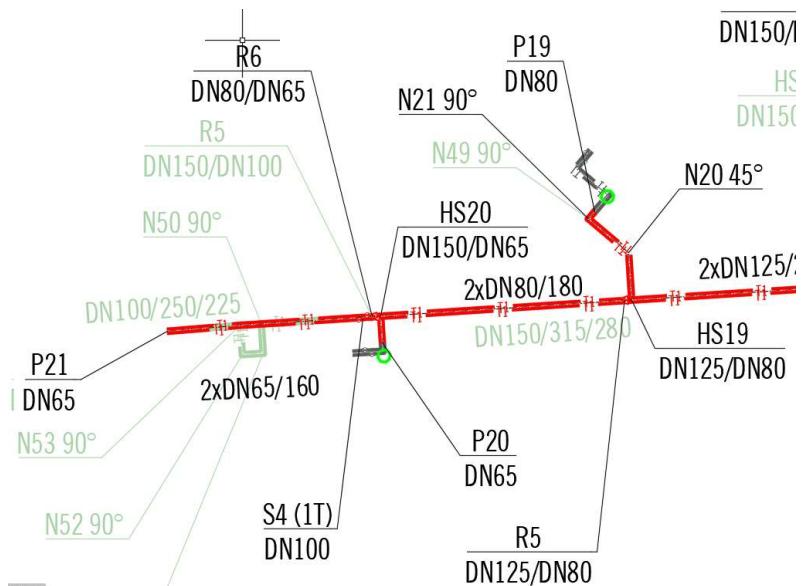
Veel jäävad U-kompensaatorid ära hargnemise HS15 juures ning lõigu HS17 – HS18 vahelt. Erinevused tekivad ka hargnemise HS18 juures kus madalatemperatuuriline võrk viiakse üle läbimõõdule DN125, aga kõrgetemperatuuriline torustik läheb edasi DN150. (vt joonis 3.22)



Joonis 3.21 LTDH lõik HS15 - PTT15 ja lõik HS17 - R4

Viimased erinevused on hargnemise HS19 juures peale mida madalatemperatuuriline torustik viiakse DN125 pealt üle läbimõõdule DN80, aga kõrgetemperatuuriline võrk jätkab endiselt läbimõõduga DN150.

U-kompensaator jääb madalatemperatuurilisel torustikul ära lõigul HS20 – P21, ning peale hargnemist HS20 toimub madalatemperatuurilise võrgu puhul üleminek R6 DN80/DN65 ja kõrgetemperatuuriline viiakse samas punktis läbimõõdult DN150 üle DN100 peale.



Joonis 3.23 LTDH lõik HS19 - P21

Seega jäi kokku vähemaks seitse U-kompensaatorit, ning seda on näha tabelis 3.6 kus võrreldakse omavahel kahe projekti torustike pikkusi ja madalatemperatuuriline võrk on 59 m võrra lühem.

Tabel 3.6 Kõrge- ja madalatemperatuurilise torustiku pikkused

Läbimõõt	Kõrgetemperatuuriline	Madalatemperatuuriline
	Torustiku pikkus	
	m	
DN300	125,8	313,6
DN250	216,7	66,7
DN200	379,7	364,9
DN150	279,4	131,5
DN125	-	34,8
DN100	31,4	-
DN80	26,8	43,4
DN65	69,4	123,6
DN50	8,3	-
KOKKU	1137,5	1078,5

3.2.2 Soojussõlme andmete erinevused

Tabelis 3.7 on toodu andmed Paekalda taristu madalatemperatuurilise graafikuga soojussõlme kohta, kus primaarpoole graafikuks on 65°C / 35°C.

Tabeli 3.8 on näidatud kõrgema temperatuurigraafikuga soojussõlme andmed, kus primaar graafik on 115°C / 35°C.

Ühele hoonele projekteeritud soojustarbivate võimsus on kokku 331 kW, millest kütte 86 kW, ventilatsiooniküte 58 kW ja soe tarbevesi 187 kW.

Tabel 3.7 Sõjussõlme andmed primaar graafik 65/35

SOOJUSVAHETI	MÕÕTÜHIK	SOE VESI 201SV01		PÕRANDKÜTE 101SV01		VENTILATSIOON- KÜTE 301SV01	
VALMISTAJA (NAITEKS)		SWEP		SWEP		SWEP	
TUUP (NAITEKS)		PLAAT		PLAAT		PLAAT	
VÕIMSUS	kW	187		86		58	
		PRIM.	SEKUN.	PRIM.	SEKUN.	PRIM.	SEKUN.
VOOLUHULK	m ³ /h	3,63	3,24	2,49	14,86	1,68	1,67
TEMPERatuurIDE VAHE	°C - °C	65-20	5-55	65-35	35-30	65-35	60-30
RÕHULANG	kPa	10	10	10	20	10	20
PROOVIRÕHK	MPa	1,6	1,0	1,6	0,6	1,6	0,6
TERMOREGULEERVENTIIL		SOE VESI 201KV01		PÕRANDKÜTE 101KV01		VENTILATSIOON- KÜTE 301KV01	
VALMISTAJA (NAITEKS)		SIEMENS		SIEMENS		SIEMENS	
TUUP		2-TEE		2-TEE		2-TEE	
VOOLUHULK	m ³ /h	3,63		2,49		1,68	
RÕHULANG	kPa	33		39		45	
DIAMEETER / Kvs	DN / Kvs	20/ 6.3		15/ 4.0		15/ 2.5	

LISASEADMED	NIMETUS	
SOOJUSMÕÕTJA SOOJUSVÕRGU SISENDUSEL (KAMSTRUP)	QQ01	DN40 Qnom. = 10.0m ³ /h
DIF. RÕHUREGULAATOR (TA)	DRR01	DN32 Kvs = 12.5
VEEMÕÕTJA SÜSTEEMI TÄITMISEKS (KAMSTRUP)	VM01	DN20

MANOMEETRITE MÕÕTEPIIRKONNAD:

TARBEVEEKONTUURIS MÕÕTEPIIRKONNAGA 0 ÷ 10 bar

SISENDUSÕLMES 0 ÷ 16 bar

KÜTTESÜSTEEMIS 0 ÷ 6 bar

ARVESTUSLIKU VOOLUHULK

7,78 m³/h

SOOJUSSÕLME TAKISTUS (DIF-REG-TA)

0,60 bar

SOOJUSSÕLME TAKISTUS (DIF-REG-GA)

1,03 bar

Tabel 3.8 Sõjussõlme andmed primaar graafik 115/35

SOOJUSVAHETI	MÕÕTÜHIK	SOE VESI 201SV01		PÕRANDKÜTE 101SV01		VENTILATSIOON- KÜTE 301SV01	
VALMISTAJA (NAITEKS)		SWEP		SWEP		SWEP	
TUUP (NAITEKS)		PLAAT		PLAAT		PLAAT	
VOIMSUS	kW	187		86		58	
		PRIM.	SEKUN.	PRIM.	SEKUN.	PRIM.	SEKUN.
VOOLUHULK	m ³ /h	3,63	3,24	0,94	14,86	0,63	1,67
TEMPERatuurIDE VAHE	°C -°C	65-20	5-55	115-35	35-30	115-35	60-30
RÕHULANG	kPa	10	10	10	20	10	20
PROOVI RÕHK	MPa	1,6	1,0	1,6	0,6	1,6	0,6
TERMOREGULEERVENTIIL		SOE VESI 201KV01		PÕRANDKÜTE 101KV01		VENTILATSIOON- KÜTE 301KV01	
VALMISTAJA (NAITEKS)		SIEMENS		SIEMENS		SIEMENS	
TUUP		2-TEE		2-TEE		2-TEE	
VOOLUHULK	m ³ /h	3,63		0,94		0,63	
ROHULANG	kPa	33		35		40	
DIAMEETER / Kvs	DN / Kvs	20/ 6.3		15/ 1.6		15/ 1.0	

LISASEADMED	NIMETUS	
SOOJUSMÕOTJA SOOJUSVÕRGU SISENDUSEL (KAMSTRUP)	QQ01	DN25 Qnom. = 6.0m ³ /h
DIF. RÕHU REGULAATOR (TA)	DRR01	DN25, Kvs = 8
VEEMÕOTJA SÜSTEEMI TÄITMISEKS (KAMSTRUP)	VM01	DN20

MANOMEETRITE MÕÕTEPIIRKONNAD:

TARBEVEEKONTUURIS MÕÕTEPIIRKONNAGA 0 ÷ 10 bar

SISENDSÕLMES 0 ÷ 16 bar

KÜTTESÜSTEEMIS 0 ÷ 6 bar

ARVESTUSLIKU VOOLUHULK

5,01 m³/h

SOOJUSSÕLME TAKISTUS (DIF-REG-TA)

0,66 bar

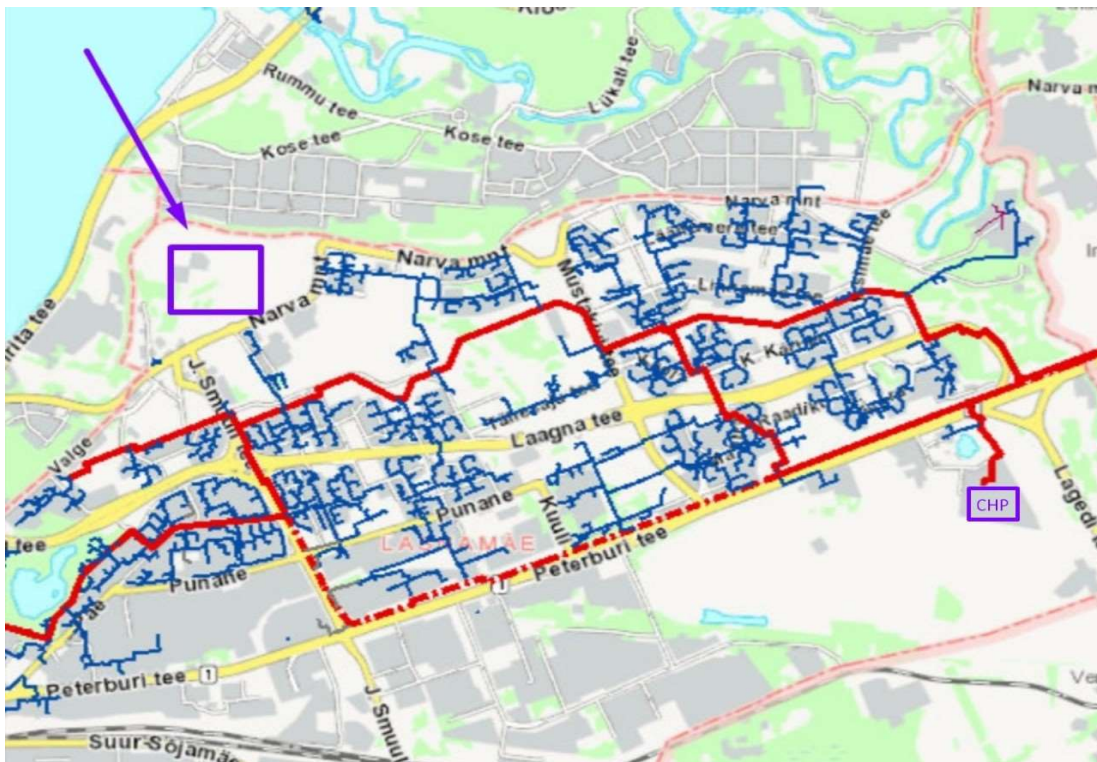
SOOJUSSÕLME TAKISTUS (DIF-REG-GA)

1,09 bar

4 MADALATEMPERatuurILISE KAUGKÜTTEVÕRGU JUURUTAMINE OLEMASOLEVASSE KAUGKÜTTEVÕRKU

Tallinnas arendatakse laialdaselt uusi elamurajoone nagu Paekalda ja teoreetiliselt on võimalik nendes rajoonides kasutada madalatemperatuurilist kaugküttevõrku. Uued arendused kasutavad enamasti põrandakütte lahendust mille jaoks ei ole vaja kõrgeid temperatuure ehk pealevoolu temperatuur võib olla 65°C, madalama temperatuuri korral tekib risk Legionella bakteri tekkeks. [6]

Võttes arvesse, et eksisteerib suur hulk vanu hooneid mis vajavad kõrgemat temperatuuri (kuni 80°C) tagasivoolu torustikes oleks parim viis Tallinna kaugküttevõrgu üleviimiseks neljandale põlvkonnale alustada uusarendusrajoonidest mis juba projekteeritakse madalatemperatuurilise kaugküttevõrgu jaoks. Nendega liita olemasolevad uuemad elamurajoonid kus hoonete kütte-, ventilatsiooni- ning jahutussüsteemi saab suuremate takistusteta liita madalatemperatuurilise kaugküttevõrgustikuga. Seega saaks tulevikus samm - sammult kogu linna madalatemperatuurilisele kaugküttele üle viidud. [6]



Joonis 4.1 Tallinna kaugküttevõrk (Lasnamäe - Maardu lõik) ja Lahekalda rajooni asukoht

Joonis 4.1 on näha, et Paekalda rajoon sobib madalatemperatuurilise lahenduse rakendamiseks hästi kuna asub olemasoleva kaugküttevõrgu piiril, arendusalast põhja jäävad majad asuvad väljaspool kaugkütte piirkonda ning kasutavad lokaalseid kütte lahendusi. [6]

Paekalda rajooni ühendamiseks olemasolevasse võrku mõjutab see ainult ühte osa võrgust kuna Lasnamäe – Maardu lõik on hüdrauliliselt ühendatud ülejäänud võrguga ainult suvel. Kõrgetemperatuurilise kaugküttevõrgu lõigu andmed millega Paekalda madalatemperatuuriline võrk ühendatakse on toodud tabelis 4.1.

Tabel 4.1 Tallinn DH Lasnamäe - Maardu lõigu tehnilised parameetrid [6]

Soojusallikad	<p><i>Tallinna CHP 1</i></p> <p>Elektriline võimsus: 25 MW_{el}; Soojuslik võimsus: 49 MW_{th}; Sutisugaaside kondensaator (FGC): 18 MW_{th}; Kogu soojuslik võimsus: 67 MW_{th} (koos FGC); Kütus: põhiliselt hakkepuit ja turvas; Soojustoodang (90% hakkepuit/10% turvas): 500 GWh_{th} Elektritoodang: 190 GWh_{el}</p> <p><i>Tallinna CHP 2:</i></p> <p>Elektriline võimsus: 21,4 MW_{el}; Soojuslik võimsus: 76,5 MW_{th}; Kütus: põhiliselt hakkepuit ja turvas; Soojustoodang (100% hakkepuit): 320 GWh_{th} Elektriline toodang: 150 GWh_{el}</p>
Võrgu parameetrid	Pikkus ~140 km, keskmine torustiku läbimõõt 287 mm.
Keskmine väliskeskkonna temperatuur kütteperioodil	+2.3°C
Pealevoolu temperatuur	+84°C
Keskmine küttekoormus	123,5 MW

4.1 Võimalikud tehnilised lahendused

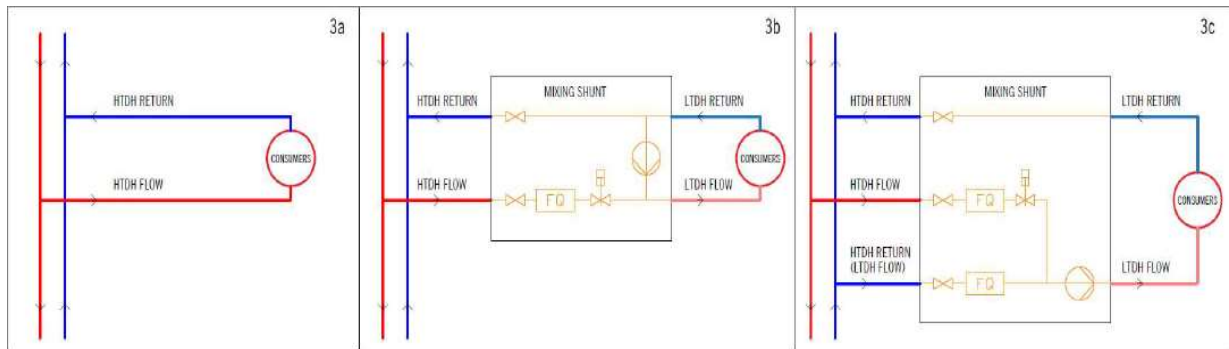
Madalatemperatuurilise energiakaskaadi integreerimine olemasolevasse kaugküttesüsteemi tähendab, et madalatemperatuuriline võrk saab pealevooluks vajaliku vee kõrge temperatuuriga kaugküttevõrgu tagasivooluliini kaudu, mis vähendab olemasoleva võrgu tagasivoolutemperatuuri veelgi. Seda lahendust saab rakendada juhul, kui on täidetud järgmised tingimused: on olemas väljakujunenud kõrge temperatuuriga kaugküttevõrk ning kavandatavad linnapiirkonnad, kus on võimalik kasutada kaugkütte jaoks madala temperatuuriga soojust. Need tingimused on

tüüpilised paljudes linnades nii Eestis kui ka teistes Euroopa riikides, kus on levinud kaugküttesüsteemid ja kiiresti arenev ehitussektor. [6]

Kuna olemasolevate kõrgetemperatuuriliste võrkude tagasivoolu temperatuur ei ole tavaliselt piisavalt kõrge, et varustada madalatemperatuurilist võrku aastaringselt soojusega, võib väikeses võrgus vaja minna täiendavat soojust, et tõsta pealevoolu temperatuuri. Lisasoojust saab toota tsentraliseeritult või igas hoones iseseisvalt, katelde (sh elektriküte), soojuspumpade, suurte päikesekollektoritega koos soojusenergia salvestamisega. [6]

Uue hoone olemasolevasse kaugküttevõrku ühendamiseks tuleb arendajal esitada avaldus kaugküttevõrgu operaatorile. Ühenduse piiriks on soojussõlm mis asub hoones. Iga hoone ühendatakse võrku eraldi haruna. Paekalda arendusala jaoks vaatame kolme olemasoleva kõrgetemperatuurilise võrguga ühendamise võimalust: [6]

1. Esimene valik – eeldab, et Paekalda ühendatakse kõrgetemperatuurilise kaugküttevõrguga soojusvaheti kaudu. Kuna tegemist on pörandaküttega vähendab selline lahendus olemasoleva suure kaugküttevõrgu temperatuuri. Selle valiku korral tagastatakse olemasolevasse võrku temperatuur 35 °C. (Joonis 4.2, 3a)
2. Teine valik – see lahendus eeldab, et põhivõrgust ühendatakse nii pealevoolu toru kui ka tagasivool toru segamissõlmega. Selle valiku puhul segatakse põhivõrgu pealevool madalatemperatuurilise võrgu tagasivooluga. Põhivõrgu tagastuv temperatuur on 49,7 °C ning temperatuurigraafikuks tuleb 65/35 °C. (Joonis 4.2, 3b)
3. Kolmas valik – eeldab, et põhivõrgu tagasivoolu toru ühendatakse segamissõlmega, põhivõrgu pealevoolu toru ühendatakse samuti segamissõlmega ja Paekalda madalatemperatuurilise kaugküttevõrgu tagasivool ühendatakse olemasoleva kõrgetemperatuurilise võrgu tagasivooluga. Sellisel juhul on põhivõrgu tagasivoolu temperatuuriks 49,7 °C ja Paekalda temperatuurigraafikuks tuleb 65/35°C. (Joonis 4.2, 3c)



Joonis 4.2 Skeemid kõrge- ja madalatemperatuurilise võrgu ühendamise võimalustega [6]

4.2 Arvutused

Arvutuste jaoks on kasutatud kõrgetemperatuurilise kaugküttevõrgu 2018 aasta kütteperioodi andmeid, mis on välja toodu Tabel 4.1.

Tagasivooluvee temperatuuri langus arvutati kahe erineva temperatuuri ja vooluhulgaga soojuskandja soojus- ja massivoolu ülekande ning Lasnamäe-Maardu kaugküttevõrgu ja Paekalda kaugküttevõrgu soojuskoormusest saadud massivoolu bilansi alusel.

Tagasivoolu temperatuuri arvutamine mitme segatud veevoolu temperatuurina (segamisjaama versioonid) määratakse võrrandi 4.1 abil:

$$t_{mix} = \frac{\sum_{i=0}^n F_i * t_i}{\sum_{i=0}^n F_i} \quad (4.1)$$

kus F_i – tagasivoolu vooluhulk kõigilt tarbijatelt (kõrgetemperatuurilise põhivõrgu ja madalatemperatuurilise võrgu tarbijad), kg / s

t_i – kõigilt tarbijatelt tagastava vee temperatuur, °C

i – vee vool, $i=1...n$

Soojusbilanss soojussõlmes võrgust ülekantava soojuse kohta arvutatakse valemiga:

$$Q_1 = F_1 * C_{p1} * (t_1' - t_1'') \quad (4.2)$$

kus F_1 – vee vooluhulk, kg / s

C_{p1} – vee soojusmahtuvus, kJ / (kg*°C)

t_1' – võrgu pealevoolu vee temperatuur, °C

t_1'' – võrku tagastatava vee temperatuur, °C

Tarbija poole antav soojus arvutatakse järgnevalt:

$$Q_2 = F_2 * C_{p2} * (t_2'' - t_2') \quad (4.3)$$

kus F_2 – vee vooluhulk, kg / s

C_{p2} – vee soojusmahtuvus, kJ / (kg*°C)

t_2' – tarbija küttesüsteemist tagastuva vee temperatuur, °C

t_2'' – tarbija küttesüsteemi siseneva vee temperatuur, °C

Soojusvaheti soojusbilanss arvutatakse valemiga:

$$Q_1 = Q_2 + Q_{sv} \quad (4.4)$$

kus Q_{sv} – soojusvaheti soojuskadu, kJ / s

kasutades soojusvaheti bilanssi saab määrata vajaliku pealevoolu vooluhulga F_1 , kg / s

Muutused tagastavas vee temperatuuris mõjutab aastast soojakadu, pumpamis võimsusi ning soojuse- ja elektri toodangu mahtu.

Soojusvaheti suurust saab arvutada valemiga:

$$A = \frac{Q}{K * \Delta T_{lm}} \quad (4.5)$$

kus Q – soojusmahtuvus, kW

ΔT_{lm} – logaritmiline temperatuuri vahe, °C

K – soojusülekanne tegur, W / m²K

4.2.1 Tulemused

Esimene tehniline lahendus

Soojuskandja vooluhulk põhivõrgus on 874,9 kg/s (sellest Paekalda võtab 22,9 kg/s ja soojusvaheti primaarkontuur on 84/35 °C) ja 852 kg/s moodustavad kõik muud olemasolevad Lasnamäe-Maardu võrgu kõrge temperatuuriga tarbijad. Välistemperatuuril 2,3°C on Paekalda rajooni soojuskoormus 123,5 MW. Suure kaugküttevõrgustiku primaarkontuur on 84 / 49,7 °C. Seega langeb põhivõrgu tagasivoolu temperatuur kogu kütteperioodi vältel järk-järgult umbes 0,39°C ehk 49,7°C pealt 49,31°C peale. [6]

Teine tehniline lahendus

Teise variandi puhul, kui põhivõrgu koguvoolukiirus on 874,8 kg/s on Paekalda madala temperatuuriga võrgus koguvooluhulk 37,2 kg/s ja see koosneb kokku segatud 14,42 kg/s madala temperatuuriga võrgu tagasivoolust (35 °C) ja 22,78 kg/s põhivõrgu toiteveest (84 °C). Põhivõrgu tagasivooluvee temperatuur langeb järk-järgult umbes 0,38 °C mis teeb siis kütteperioodi vältel tähendab 49,7 °C pealt kuni 49,32 °C peale. [6]

Kolmas tehniline lahendus

Kolmanda variandi puhul, kui kogu vooluhulk võrgus on 868,6 kg/s siis Paekalda madala temperatuuriga võrgus on koguvooluhulk 37,2 kg/s ja koosneb kokku segatuna põhivõrgu tagasivoolust võetavast 20,6 kg/s ning põhivõrgu pealevoolust võetavast 16,6 kg/s. Seega väheneb põhivõrgu tagasivoolu temperatuur kogu kütteperioodi vältel järk-järgult umbes 0,63 °C ehk 49,7 °C pealt 49,07 °C peale.

Järeldus

Arvestades asjaolu, et teise variandi korral väheneb tagasivoolu temperatuur vähem kui esimese ehk tavapärase lahenduse puhul ja kolmanda lahenduse puhul oli temperatuuri langemine kõige suurem, siis edaspidi võrreldakse omavahel ainult esimest ja kolmandat varianti. Edasiste arvutuste jaoks kasutati 0,24 °C kraadist põhivõrgu tagasivoolu temperatuuri vahet. [6]

4.3 Mõju tootmisallikatele

Energiakaskaadi integreerimine põhjustab muutusi olemasolevale kaugküttesüsteemile, kuna madalam tagasivoolu temperatuur mõjutab soojuskadusid. See suurendab soojusenergia tootmisüksuste (koostootmisjaamad, päikesekollektorid, soojuspumbad) ja soojuse salvestamise tõhusust. Lisaks suurendab tagasivoolu temperatuuride oluline langus auruturbiini efektiivsust ja soojuselektrijaamades energia tootmise efektiivsust. [17] Seda illustreerib hästi Rankine'i tsükli termodünaamilised põhimõtted, mis on ka tööpõhimõteteks elektri ja soojuse koostootmisjaamas kus temperatuuride vahe (kuuma auru temperatuuri ja kaugküttevõrgu tagasivoolu temperatuuri vahe) mõjutab elektrienergia tootmist. Kuna koostootmisjaamades kasutatakse kaugküttevõrgu tagasivooluvett turbiinidest tuleva kuuma auru kondenseerimiseks. Seega suurendab madalam tagasivoolu temperatuur kondensaatori kondenseerumisvõimet. See toob kaasa suurema rõhulangu turbiinis, mis loob eeldused elektritootmise suurendamiseks. [18]

Madalamad temperatuurid võrgus tähendavad väiksemat soojuskadu, mis tähendab ka madalamaid pumpamiskulusid. Madalamad tagasivoolu temperatuurid mõjutavad soojus- ja elektrienergia koostootmist positiivselt ja suurendavad heitgaaside soojustagastust. Suitsugaaside kondensaator kogub põlemisprotsessis tekkivate suitsugaaside veeaurust jääksoojust ning kasutab seda tarbevee soojendamiseks. Suureneva jahutusvõimuse, mis on seotud madalama tagasivoolu temperatuuriga, suureneb ka suitsugaaside kondenseerumine ehk suitsugaasidest kondenseerub rohkem niiskust ja kogutakse rohkem jääksoojust. Sõltuvalt kasutatavast tehnoloogiast ja kütuse omadustest võib suitsugaasidest tagastuv soojusenergia kogus suurenedagi 10 kuni 35 %. [19]

Nagu arvatud peatükis 2, siis väikese madalatemperatuurilise kaugküttevõrgu puhul on aastased soojuskadod 13% väiksemad kui sarnase lahendusega kõrgetemperatuurilise kaugküttevõrgu puhul. Kui see madalatemperatuuriline võrk ühendada suure kaugküttetorustiku võrgustikuga siis saab sellest võrgu osa ja soojuskao vähenemist selles võib pidada kaugkütte operaatori eeliseks. [6]

Eelised saab kindlaks teha, kui võrrelda soojuse ja elektri aastast toomist, lähtudes tagasivoolutemperatuurist kaugküttevõrgu lõigus. Tabelis 4.2 on välja toodud eelised mis tulevad kui tagasivoolu temperatuur langeb mõlemas koostootmisjaamas 1°C võrra. See tabel põhineb andmetel Tabel 4.1. [6]

Tabel 4.2 Energia tootmise tõus tagasivoolu temperatuuri 1°C vähenemise korral

Kasu	Mahu suurenemine	Tööaeg	Toodetud energia
Täiendav elektritootmine Tallinna CHP 1	100 kW _{el}	8400 h	840 MWh _{el}
Täiendav elektritootmine Tallinna n Tallinna CHP 2	100 kW _{el}	8400 h	840 MWh _{el}
Täiendav soojustagastus Tallinna CHP 1	300 kW _{th}	8400 h	2520 MWh _{th}
Täiendav soojustagastus Tallinna CHP 2	300 kW _{th}	5700 h	1710 MWh _{th}

2018 aasta kütteperioodi põhjal väheneb aastane soojuskadu suures võrgus 0,2% võrra, kui kasutada Paekalda rajoonis madalatemperatuurilist lahendust valik 3.

Elektri toodang suureneb 400 MWh aastas ja soojustoodang suureneb 1015 MWh aastas. [6]

4.4 Investeeringute analüüs

Torustike jaoks vajalike investeeringute osas tuleb arvestada, et kõik vajalikud komponendid (sh torud, liitmikud ja jätkupakendid) arutati Paekalda taristu kaugküttetorustikude projektide materjali põhjal. (vt peatükk 3) Tegelikud hinnad aasta 2019 kohta saadi jaemüüjalt Logstor A/S. Eeldati, et torustiku kokkupanek maksab umbes 70 - 80% torude ja liitmike ühisest hinnast, mis sõltuvad torude läbimõõdust, isolatsiooniklassist ja ühenduste arvust. Monteerimiskulud varieeruvad ka sõltuvalt võrgu tüübist. Kaevetööd on erinevate võrgulahenduste puhul enamasti ühesugused, seega ei võetud seda kulude erinevuste võrdlemisel arvesse. [6]

Soojusvaheti kulud arvestatakse soojusvaheti suuruse põhjal (vt valem (4.5)), võttes arvesse hoone parameetreid. Nagu torude puhul saadi õiged hinnad jaemüüjalt.

Nagu selgub tabelist Tabel 3.6 siis madalatemperatuurilise lahenduse ehk kolmanda valiku korral on torustiku kogupikkus lühem kui esimese lahenduse puhul. Võttes arvesse nii isolatsiooni tüüpi kui ka võrgu geomeetriat, tehti kindlaks, et esimese variandi kasutamisel on Paekalda võrgus soojuskadod aastas 236,2 MWh ja teise variandi korral 205,2 MWh (vt peatükk 2).

Võttes arvesse soojuskao vähenemist suures võrgus ja paigaldatavas madalatemperatuurilise kaugküttevõrgu segmendis, hinnatakse suitsugaaside kondensaatoris kütusesäästu suurema soojuse taaskasutuse tõttu umbes 1500 MWh. Kokkuvõtlikud eelised on esitatud tabelis 4.3. CO₂ kokkuhoiuga ei ole arvestatud, sest hakkepuidu tarbimise vähenemine, mis on tingitud analüüsitud tehnilisest lahendusest ei vähenda CO₂ heitkoguseid. Seda seetõttu, et hakket peetakse CO₂-neutraalseks kütuseks.

Tabel 4.3 Kolmanda lahenduse rakendamise eelised [6]

Eelised	Kogus	Hind	Sissetulek
Soojuskao vähenemine suures kaugküttevõrgus	207 MWh	35 EUR/MWh	7 245 EUR
Elektrienergia tootmise suurenemine	400 MWh _{el}	90 EUR/MWh	36 000 EUR
Soojuse taaskasutamise suurenemine FGC-s	1 015 MWh	35 EUR/MWh	35 525 EUR
Soojuskadude vähenemine uues madalatemperatuurilises lõigus	31 MWh	35 EUR/MWh	1 085 EUR
		KOKKU	79 855 EUR

Torude ja liitmike hinnad, pumbajaama ning soojussõlme üksikasjalikud kulud mõlema variandi jaoks on esitatud Lisades 1 kuni 3. Kokkuvõtlikud tulemused on toodud tabelis 3.4.

Tabel 4.4 Vajalikud investeeringud Paekalda arenduse kaugküttevõrguga ühendamiseks

Lahendus	Torustik ilma liitmiketa	Liitmikud	Torustik liitmikega	Pumbajaam	Soojusvahetid	Kokku
	EUR	EUR	EUR	EUR	EUR	EUR
1	200246	103922	304168	0	41050	345218
3	228488	56396	284884	49100	77514	411498

4.5 Tasuvuse analüüs

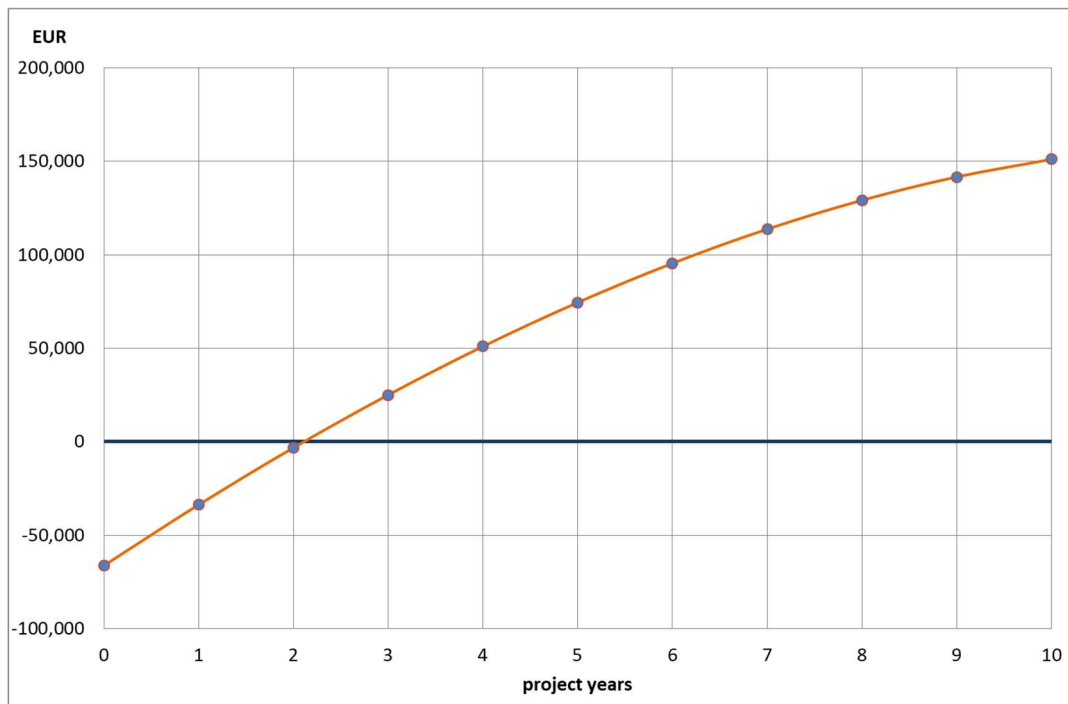
Tehnoloogia osas on eespool nimetatud tagasivoolutoru ühendamise võimalused usaldusväärsed ja jätkusuutlikud. Siiski on juriidilised ja majanduslikud tingimused, mis mõjutavad suuresti nende võimaluste teostatavust. [6]

Üks peamisi aspekte on kaugkütte üksuste omamine. Eesti seaduste kohaselt sõltumata millist tehnilist lahendust kasutatakse kuuluvad kaugküttevõrgu torustikud kaugkütte operaatorile. Hoonete soojussõlmed aga arendajale / hoone omanikule. See tähendab, et tarbija ei saa soojuskadude vähenemisest ja / või soojuse tootmise tõhususe paranemisest otseselt kasu, kuna positiivne mõju jaguneb kõigi kaugküttevõrgu klientide vahel võrdselt ära. Samas suurendab madalam pealevoolu temperatuur soojussõlmede paigaldamisega seotud kulusid ning muid kütte- ja ventilatsiooniseadmete valiku ning ehitamisega seotud kulusid (vt alapeatükk 4.4). [6]

Teine oluline tegur on tariifisüsteem Eestis. Kõik Eesti kaugkütte piirkondadega seotud tariifid on määratud Eesti Konkurentsiamet poolt. Eestis on ainult ühte tüüpi soojusenergia tariife, üheosalised tariifid, mille puhul tarbija maksab ainult tarbitud energiakoguse (MWh) eest. [20] Sellisel juhul ei sõltu tariif ühenduse tüübist, pole vahet kas tarbija on ühendatud kõrg- või madala temperatuuriga kaugküttevõrguga.

Näiteks Lätis ja Leedus on tariifidega sama olukord: on üheosaline tariif, mis sõltub ainult tarbitud soojusenergia kogusest ja mille määrab kindlaks valitsus. [21] Näiteid muudest tariifisüsteemidest, kus tariif sõltub ainult korteri / hoone piirkonnast, näiteks Serbias [22] On ka riike, kus kaugkütte tariife ei reguleeri valitsus nagu näiteks Rootsi [23] ja Soome [24]. Ehk nendes riikides määrab iga kaugkütte ettevõtte hinnakujunduse mudelid erinevatele kliendigruppidele ise. Hinnad võivad sisaldada mitut osa: energiakomponent, võimsusekomponent (maksimaalne kasutatav võimsus) ning lisaks sellele kasutavad mitmed ettevõtted fikseeritud aasta tasu või voolukomponenti. [25]

Arvestades saadud sissetulekuid Tabel 4.3, investeeringuid Tabel 4.4 ja pumba täiendava elektritarbimisega seotud kulusid (350MWh) ning pumbajaama käitamise ja hooldus kulusid (10 000 EUR / aastas) on arvatud kolmanda tehnilise lahenduse investeeringute tasuvusaeg. Arvutuse tulemusi on illustreeritud graafiliselt. (vt Joonis 4.3) [6]



Joonis 4.3 Kolme toruga tehnilise lahenduse rakendamisel investeeringute tasuvusaeg [6]

Põhivõrgu tagasivoolu temperatuuri langus ei ole väga suur, kuid annab siiski positiivse majandusliku efekti. Paekalda piirkonnale madalatemperatuurilise kaugküttevõrgu paigaldamine tehnilise meetodi kolm (vt alapeatükk 4.1) abil tuli selle lahenduse investeeringute tasuvusajaks kõigest 2 aastat. [6]

KOKKUVÕTE

Lõputöös on uuritud madalatemperatuurilise kaugküttevõrgu arendamise võimalusi kasutades kõrgetemperatuurilise kaugküttevõrgu tagasivoolu liini Paekalda arendusala põhjal.

Neljanda põlvkonna kaugkütte kontseptsioon määratleb mitmesuguseid muudatusi ja suundasid, mis on vajalikud olemasolevate kaugküttesüsteemide arendamisel. Kaugküttevõrk peaks olema suuteline varustama hooneid madalate temperatuuridega (<50-60°C) ruumide kütteks ja sooja vee ettevalmistamiseks, vähendama ülekande soojuskadusid, suurendama taastuenergiaallikate kasutamist, heitsoojuse taaskasutamist soojuse tootmisel ning võimaldama tarkade süsteemide kasutamist. [6]

Selgus, et Euroopa Liidus varustakse kaugküttega 11-12% kogu soojusvajadusest, Eestis on kaugkütte osakaal küll kõrge, kuid mitmes Euroopa riigis on kaugkütte osakaal väga madala ning perspektiivis oleks nendes riikides hea võimalus kaugkütet arendada.

Teises peatükis koostades soojuskadude arvutused Logstor A/S soojuskadude kalkulaatori abil sai omavahel võrrelda tavapärasest kõrgetemperatuurilise temperatuurigraafikuga kaugküttevõrgu lahendust ning madalatemperatuurilise kaugküttevõrgu lahendust kus väiksema võrgu pealevooluks kasutati olemasoleva kõrgetemperatuurilise võrgu tagasivoolu. Soojuskaod madalatemperatuurilises kaugküttevõrgus on ligikaudu 31 MWh võrra aastas väiksemad kui sarnase lahendusega kõrgetemperatuurilise võrgu puhul ehk madalatemperatuurilise võrgu puhul on aastased kaod 13% väiksemad.

Järgmises peatükis on lahti seletatud koostatud Paekalda taristu kaugküttetorustiku projekt. Kirjeldatud trasseeringut selle paiknemist ja läbimõõte, toodud välja kaugkütteprojektis toru paigutamiseks vajalikud põhimõtted ja standardid. Näidati osa projekteeritud joonistest ning nende alusel võrreldi sarnase trasseeringuga kõrge- ja madalatemperatuurilise projekti torude pikkusi ning läbimõõte. Madalatemperatuuriga projekti korral olid torustikud lühemad kuna neid pea nii palju kompenseerima kui kõrgema temperatuurigraafiku puhul.

Madalatemperatuurilise energiakaskaadi integreerimine olemasolevasse kaugküttesüsteemi tähendab, et madalatemperatuuriline võrk saab pealevooluks vajaliku vee kõrge temperatuuriga kaugküttevõrgu tagasivooluliini kaudu. Selleks vaatasin kolme lahendust esimene klassikaline soojussõlme kaudu ühendamine ehk projekteeritud majadeni viiakse kõrgema temperatuurigraafikuga kaugküttetorustik ja üleminek madalamale temperatuurile toimub soojussõlmes. Teine lahendus kus

põhivõrgust ühendatakse nii pealevoolu toru kui ka tagasivoolu toru segamissõlmega. Selle valiku puhul segatakse põhivõrgu pealevoolu madalatemperatuurilise võrgu tagasivooluga. Arvutusi tehes, aga selguse, et sellise lahenduse puhul langeb suure võrgu tagasivoolu temperatuur veel vähem kui esimese lahenduse puhul. Parimaks osutus kolmas tehniline lahendus, mille puhul põhivõrgu tagasivoolu toru ühendatakse segamissõlmega, põhivõrgu pealevoolu toru ühendatakse samuti segamissõlmega ja Paekalda madalatemperatuurilise kaugküttevõrgu tagasivoolu ühendatakse olemasoleva kõrgetemperatuurilise võrgu tagasivooluga ehk 3 toruga meetod.

Selgus, et kolmanda valiku puhul väheneb aastane soojuskadu suures võrgus kuhu Paekalda madalatemperatuuriline võrk ühendatakse 0,2% võrra, elektri toodang kahes koostootmisjaamas suurenes aastas 400 MWh ja soojusetoodang 1015 MWh.[6] Arvestades soojuskadude vähenemist kolme toruga meetodi puhul, elektrienergia tootmise tõhususe tõusu, suitsugaaside kondensaatori tõhususe tõusu, investeeringuid torudesse, liitmike hindasid ning muid käitlemis ja hoolduskulusid tuli kolmanda meetodi tasuvus ajaks kõigest 2 aastat.

Kuna Eesti seaduste kohaselt sõltumata millist tehnilist lahendust kasutatakse kuuluvad kaugküttevõrgu torustikud kaugkütte operaatorile hoonete soojussõlmed aga arendajale või hoone omanikule, siis tarbija ei saa soojuskadude vähenemisest ja soojuse tootmise tõhususe paranemisest otseselt kasu. Mistõttu on hetkel raske äratada huvi arendajates kuigi projekti tasuvusaeg on väike. Kolme toruga tehnilisel lahendusel on siiski kõvasti potentsiaali ning madalatemperatuurilise kaugküttevõrgu arendamiseks Eestis tuleks alustada seadusandluse muutmisega.

SUMMARY

The thesis investigates the possibilities of developing a low-temperature district heating network using a high-temperature district heating return line based on the Paekalda development area.

The fourth generation district heating concept defines the various changes and directions needed to develop existing district heating systems. The district heating network should be able to supply buildings with low temperatures (<50-60 ° C) for space heating and hot water preparation, reduce transmission heat losses, increase the use of renewable energy sources, recover waste heat for heat production and enable the use of smart systems.[6]

It was found that in the European Union only 11-12% of the total heat is provided by district heating, while the share of district heating in Estonia is high, but there are several European countries where the share of district heating is very low and in the long term would be good to develop district heating in these countries.

In the second chapter, the heat loss calculations using the Logstor A/S heat loss calculator were used to compare the conventional high-temperature district heating network solution with the low-temperature district heating network solution using return line from the existing high-temperature network. The heat losses in the low-temperature district heating network are approximately 31 MWh / year lower than in a similar solution for a high-temperature network, ie for a low-temperature network, the annual losses are 13% lower.

The following chapter explains the prepared Paekalda infrastructure district heating pipeline project. Described the routing and diameter of pipes, outlined in the district heating project the principles and standards required for pipe placement. Some of the design drawings were shown and the lengths and diameters of the high and low temperature project pipelines with similar alignment were compared. For a low temperature project, the pipelines were shorter because they did not had to be compensated as much as for a higher temperature schedule.

The integration of a low-temperature energy cascade into an existing district heating system means that the low-temperature network receives the supply flow from the high-temperature DHN return line. To do this, I looked at three solutions: the first classical connection through a heating substation, ie the district heating pipeline with a higher temperature schedule is carried to the designed houses and the transition to a lower temperature takes place in the heating substation. Another solution is to connect both

the feed pipe and the return pipe to the mixing shunt. With this option, the main DH supply feed is mixed with the low temperature return feed. When calculating, however, it is clear that in this solution the return temperature of the large network is even less reduced than in the first solution. The third technical solution, in which the return line of the main DH network is connected to the mixing shunt, the supply line of the main network is also connected to the mixing shunt and the low temperature district heating network of Paekalda takes its supply water from the existing high temperature networks return flow i.e the 3-pipe connection.

The third option showed that annual heat loss in the large grid where the Paekalda low-temperature grid is connected will be reduced by 0.2%, the annual electricity production in the two CHP plants increased by 400 MWh and the heat production by 1015 MWh. [6] Considering the reduction in heat losses for the three-pipe method, the increase in power generation efficiency, the flue gas condenser efficiency, the pipeline investments, the cost of fittings and other handling and maintenance costs brought the third methods payback period is only 2 years.

However, since according to Estonian law, regardless of the technical solution used, the district heating pipeline belongs to the district heating operator and developer or the owner of the building owns substation, the consumer does not directly benefit from the reduction of heat losses and improvement of heat production efficiency. This makes it difficult to attract developers at the moment even though the payback period for the project is short. However, the three-pipe technical solution has a lot of potential and the development of low-temperature district heating network in Estonia should start with legislative changes.

KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU

- [1] Mašatin, V. (2018). Obstacles for Implementation of 4th Generation District Heating for Large Scale Networks. Tallinn: TTÜ Press.
- [2] Lund, H., Østergaard, P. A., Chang, M., Werner, S., Svendsen, S., Sorknæs, P., Thorsten, J. E., Hvelplund, F., Mortensen, B. O. G., Mathiesen, B. V., Bojesen, C., Duic, N., Zhang, X., Möller, B. (2018). The status of 4th generation district heating: Research and results. *Energy*, 164, 147-159.
- [3] Ingermann, K. (2012). Kaugkütte soojuskaod. *Keskkonnatehnika*, 3/2012, 27-30.
- [4] Kraav, E. (2015). Neljanda põlvkonna kaugküte.
- [5] Lund, H., Werner, S., Wiltshire, R., Svendsen, S., Thorsen, J., Hvelplund, F., Mathiesen, B. (2014). 4th Generation District Heating (4GDH) Integrating smart thermal grids into future sustainable energy systems. *Energy*, 68, 1-11.
- [6] Krupenski, I., Volkova, A., Ledvanov, A., Latõšov, E., Hlebnikov, A., Lepiksaar, K., Mašatin, V. (2019) Energy cascade connection of a low-temperature district heating network to the return line of a high-temperature district heating network.
- [7] Werner, S. (2017). International review of district heating and cooling. *Energy*, 137, 617-631.
- [8] Blumberga, A., Cilinskis, E., Gravelins, A., Svarckopfa, A., Blumberga, D. (2018). Analysis of regulatory instruments promoting building energy efficiency. *Energy Procedia*, 147, 258-267.
- [9] Volkova, A., Krupenski, I., Pieper, H., Ledvanov, A., Latõšov, E. (2019). Small low-temperature district heating network development prospects. *Energy*, 178, 714-722.
- [10] Imran, M., Usman, M., Im, Y.H., Park, B.S. (2017). The feasibility analysis for the concept of low temperature district heating network with cascade utilization of heat between networks. *Energy Procedia*, 116, 4-12.
- [11] Logstor Calculator - Energy loss. <http://calc.logstor.com/en/energitab/>.
- [12] Frederiksen, S., Werner, S. (2013). *District Heating and Cooling*. Lund: Studentlitteratur AB.
- [13] Logstor A/S. Design Manual, Version 2019.02.
- [14] Jarfelt, U., Ramnäs, O. (2006). Thermal conductivity of polyurethane foam - best performance. 10th International Symposium on District Heating and Cooling, 3-5. Chalmers University of Technology Goteborg, Sweden.

- [15] Eesti standardikeskus. (2016). Linnatänavad. EVS 843:2016.
- [16] Logstor A/S. Product Catalogue District Energy. Version 2019.12.
- [17] Köfinger, M., Basciotti, D., Schmidt, RR. (2017). Reduction of return temperatures in urban district heating systems by the implementation of energy-cascades. *Energy Procedia*, 116, 438-451.
- [18] Gustafsson, J., Delsing, J., van Deveneter, J. (2010). Improved district heating substation efficiency with a new control strategy. *Applied Energy*, 87, 1996-2004.
- [19] Flores, J. C., Lacarrière, B., Chiu, J. N. W., Martin, V. (2017). Assessing the techno-economic impact of low-temperature subnets in conventional district heating networks. *Energy Procedia*, 116, 260-272.
- [20] Konkurentsiamet. (2013). Soojuse piirhinna kooskõlastamise põhimõtted. Tallinn.
- [21] Ziemele, J., Gravelins, A., Blumberga, A., Blumberga, D. (2017). Sustainability of heat energy tariff in district heating system: Statistic and dynamic methodologies. *Energy*, 137, 834-845.
- [22] Lukić, N., Jurišević, N., Nikolić, N., Gordić, D. (2015). Specific heating consumption in the residential sector of Serbia—example of the city of Kragujevac. *Energy and Buildings*, 107, 163-171.
- [23] Åberg, M., Fälting, L., Forssell, A. (2016). Is Swedish district heating operating on an integrated market?—Differences in pricing, price convergence, and marketing strategy between public and private district heating companies. *Energy Policy*, 90, 222-2.
- [24] Dominković, D. F., Wahlroos, M., Syri, S., Pedersen, A. S. (2018). Influence of different technologies on dynamic pricing in district heating systems: Comparative case studies. *Energy*, 153, 136-148.
- [25] Sernhed, K., Gåverud, H., Sandgren, A. (2017). Customer perspectives on district heating price models. *International Journal of Sustainable Energy Planning and Management*, 13, 47-60.

LISAD

LISA 1 Torude ja liitmike hinnad

Torud ja liitmikud	Esimene tehniline lahendus, EUR	Kolmas tehniline lahendus, EUR
DN300/500	15024	-
DN300/450	12620	66567
DN250/450	26304	-
DN250/400	22296	13123
DN200/400	23696	-
DN200/355	21140	50952
DN150/315	14612	-
DN150/280	13036	13121
DN125/280	8657	-
DN125/250	7892	6559
DN100/250	1883	-
DN100/225	1680	1202
DN80/200	1995	-
DN80/180	1908	2298
DN65/180	3179	-
DN65/160	2836	4447
DN50/160	88	-
DN50/140	77	-
Kokku	178 922	158 269

LISA 2 Pumbajaama seadmete kulud

Pumbajaam kulud kolmanda tehnilise lahenduse jaoks			
	EUR/tk	tk	Kokku
Pump Grundfos NKE	7000	2	14000
Terastorud	1000	1	1000
Saatjad	300	1	300
Ventiilid	1800	1	1800
Jaama ehitamise materjalid	18000	1	18000
Elektri ühendused	2000	1	2000
Ehitustööd	12000	1	12000
		Kokku	49,100.00

LISA 3 Soojusvaheti hinnad

Soojusvaheti tüüp	Esimene tehniline lahendus			Kolmas tehniline lahendus		
	EUR/ maja	Majade arv	EUR	EUR/ maja	Majade arv	EUR
Soojusvaheti väikse maja jaoks	1260	28	35280	1819	28	50932
Soojusvaheti keskmise maja jaoks	2320	1	2320	3450	1	3450
Soojusvaheti suure maja jaoks	3450	1	3450	4900	1	4900
		Kokku	41,050		Kokku	59,282

GRAAFILINE OSA

GRAAFILINE OSA 1 Kaugküttetorustiku asendiplaan

GRAAFILINE OSA 2 Kaugküttetorustiku signaaltraatide skeemi leht ST-5.2

GRAAFILINE OSA 3 Madalatemperatuurilise kaugküttetorustiku asendiplaan