



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL  
INSENERITEADUSKOND

TTÜ Energiatehnoloogia instituut

## TALLINNA KESKLINNA KAUGJAHUTUSE ESKIISPROJEKT

TALLINN'S DOWNTOWN DISTRICT COOLING DRAFT PROJECT

MAGISTRITÖÖ

Üliõpilane:	Richard Havi
Üliõpilaskood:	163180MASM
Juhendaja:	Igor Krupenski

Tallinn, 2019

## 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.

“.....” ..... 2019

Autor: .....  
/ allkiri /

Töö vastab magistritööle esitatud nõuetele

“.....” ..... 2019

Juhendaja: .....  
/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

“.....” .....2019 .

Kaitsmiskomisjoni esimees .....  
/ nimi ja allkiri /

# Energiatehnoloogia instituut

## LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

**Üliõpilane:** Richard Havi, 163180MASM  
**Õppekava, peeriala:** MASM, Soojusenergeetika  
**Juhendaja(d):** lektor ja OÜ HeatConsult juhatuse liige, Igor Krupenski, +372 5800 3989  
**Konsultant:** Vladislav Mašatin, tootmisjuht,  
AS Utilitas Tallinn, +372 520 9454, vladislav.masatin@utilitas.ee

### Lõputöö teema:

Tallinna kesklinna kaugjahutuse eskiisprojekt  
Tallinn's downtown district cooling draft project

### Lõputöö põhieesmärgid:

1. Tallinna kesklinna baasil kaardistada tarbijad ja leida potentsiaalne jahutuskooormus
2. Teostada kaugjahutustorustiku trassi asukoha valik
3. Määrata kaugjahutustorustike läbimõõdud
4. Analüüsida projekteeritud kaugjahutustorustiku võrgu tehnilisi aspekte

### Lõputöö etapid ja ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Tähtaeg
1.	Lõputöö teema kinnitamine, algandmete kogumine ja kirjanduse lugemine	Veebruar 2019
2.	Tarbijate kaardistamine, jahutuskooormuste arvutamine, kaugjahutustorustiku trasseeringu koostamine	Märts 2019
3.	Hüdrauliliste ja soojuslike arvutuste teostamine	Aprill 2019
4.	Lõputöö vormistamine ja esitamine	Mai 2019

**Töö keel:** eesti keel

**Lõputöö esitamise tähtaeg:** "....." .....2019 a

**Üliõpilane:** Richard Havi

..... "....." .....2019 a  
/allkiri/

**Juhendaja:** Igor Krupenski

..... "....." .....2019 a  
/allkiri/

**Konsultant:** Vladislav Mašatin

..... "....." .....2019 a  
/allkiri/

# SISUKORD

JOONISTE LOETELU.....	6
TABELITE LOETELU .....	7
EESSÕNA.....	8
SISSEJUHATUS .....	9
1. LÕPUTÖÖ ARVUTUSLIK OSA.....	10
1.1 Hüdrauliliste arvutuste teostamise meetodika.....	10
1.2 Hüdrauliliste arvutuste teostamise valemid .....	12
1.3 Hoonete jahutuskoormuse arvutamine .....	16
1.4 Kaugjahutustorustiku soojuskadude arvutamine .....	16
1.5 Kaugjahutustorustiku temperatuuri tõusu ja kao arvutamine .....	18
2. KAUGJAHUTUS .....	22
2.1 Miks on kaugjahutus vajalik .....	23
2.1.1 Keskkonnaalased eelised.....	24
2.1.2 Majanduslikud eelised.....	25
2.2 Kaugjahutuses ja kaugküttes kasutatud temperatuurid .....	26
2.3 Kaugjahutuse turg .....	29
2.4 Kaugjahutuses kasutatud torustiku materjali ja tüübi võrdlus .....	30
2.4.1 Eelisooleeritud torustikud .....	32
2.4.2 Teras .....	35
2.4.3 Vask .....	35
2.4.4 Kõrgtugev malm(Ductile Iron).....	36
2.4.5 Tsementeeritud torustikud .....	36
2.4.6 Fiiberklaasist torustikud .....	36
2.4.7 Polüvinüülkloriid ehk PVC torustikud.....	37
2.4.8 Polüetüleen ja kõrge tihedusega polüetüleen torustikud (PE ja HDPE torustikud) .....	37
2.4.9 Kokkuvõte.....	38
3. KAUGJAHUTUSTORUSTIKU TRASSEERINGU VALIK.....	39
3.1. Torustiku läbimõõdud kinnistute ja lõikude kaupa.....	40
KOKKUVÕTE .....	52
SUMMARY .....	54

KASUTATUD KIRJANDUS.....	56
LISAD .....	58
LISA 1 Hüdraulilise arvutused ilma soojuskaota .....	58
LISA 2 Hüdraulilised arvutused koos soojuskadudega .....	61
LISA 3 Projekteeritud kaugjahutustorustike skeem .....	64

## JOONISTE LOETELU

Joonis 2.1 Kaugjahutustorustiku süsteemi põhimõtteline joonis, kus sinisega on näidatud külma vee pealevoolutorustik ja oranžiga on näidatud tagasivoolutorustikku[14]. .....	22
Joonis 2.2.1 Kaugkütte- ja kaugjahutustorustike läbimõõdu sõltuvus soojuskoormusest ja temperatuuride vahest. ....	27
Joonis 2.2.2 Kaugkütte- ja kaugjahutustorustike soojuskadude võrdlus. ....	28
Joonis 2.4.1 Terastorustike ja plasttorustike karedusest tulenev mõju rõhukaole. ....	31
Joonis 2.4.1.1 Logstori terases eelisolereitud torustik. 1 - terasest töötoru, 2 - polüuretaan isolatsioon(PUR), 3 - polüetüleen või HDPE ümbristoru, 4 - kaks 1,5 mm <sup>2</sup> vaskjuhet lekkeavastussüsteemi jaoks, kus üks juhe on tinatatud, 5 - torustiku identifitseerimise silt[21]. ....	33
Joonis 3.1.1 Kaugjahutustorustike harutorustiku HS2 skeem.....	40
Joonis 3.1.2 Kaugjahutustorustike harutorustiku HS3 skeem.....	41
Joonis 3.1.3 Kaugjahutustorustike harutorustiku HS7 skeem.....	42
Joonis 3.1.4 Kaugjahutustorustike harutorustiku HS8 skeem.....	42
Joonis 3.1.5 Kaugjahutustorustike harutorustiku HS14 skeem.....	44
Joonis 3.1.6 Kaugjahutustorustike harutorustiku HS20 skeem.....	45
Joonis 3.1.7 Kaugjahutustorustike harutorustiku HS25 skeem.....	46
Joonis 3.1.8 Kaugjahutustorustike harutorustiku HS4-4-1 skeem. ....	47
Joonis 3.1.9 Kaugjahutustorustike harutorustiku HS4-4 skeem. ....	48
Joonis 3.1.10 Kaugjahutustorustike harutorustiku HS4-3 kuni HS4-3-0 skeem.....	49
Joonis 3.1.11 Kaugjahutustorustike harutorustiku HS4-3-0 kuni Maneeži tn 3 skeem. ....	50
Joonis 3.1.12 Kaugjahutustorustike harutorustiku HS4-2 kuni Narva mnt 5 skeem.....	51

## TABELITE LOETELU

Tabel 1.6.1 Soojuskadude arvutuse tulemused, kus pealevoolutorustik on 0 klassi eelisoleeritud torustik ja tagasivoolutorustik on tavaline terastoru.....	20
Tabel 1.6.2 Soojuskadude arvutuse tulemused, kus peale- ja tagasivoolutorustik on 0 klassi eelisoleeritud torustikud.....	20
Tabel 1.6.3 Temperatuuri muutuste arvutuse tulemused, kus pealevoolutorustik on 0 klassi eelisoleeritud torustik ja tagasivoolutorustik on tavaline terastoru .....	21
Tabel 1.6.4 Temperatuuri muutuste arvutuse tulemused, kus peale- ja tagasivoolutorustik on 0 klassi eelisoleeritud torustikud .....	21

## EESSÕNA

Käesoleva magistr töö teema oli valitud magistr töö juhendaja Igor Krupenski poolt välja pakutud teemadest. Lõputöö eesmärk oli projekteerida Tallinna kesklinna kaugjahutustorustikud eskiisprojekti staadiumis. Täiendavalt on lisatud kaugjahutustorustiku projekti puutuvate tehniliste aspektide analüüs.

Töö koostamine ja andmete kogumine toimus Eestis. Abistajateks oli magistr töö juhendaja, lektor ja OÜ Heatconsult juhatuse liige Igor Krupenski ja konsultandiks oli AS-i Utilitas Tallinn tootmisjuht Vladislav Mašatin.

Töö autor avaldab tänu töö koostamisel abiks olnud inimestele.

Märksõnad: kaugjahutus, magistr töö, eelisoleeritud torustikud, hüdraulika



## SISSEJUHATUS

Lõputöös on probleemiks võetud lahendada Tallinna kesklinna kaugjahtusvõrgu projekteerimine eskiisprojekti tasemel. Eesmärk on teostada kaugjahutustorustiku trassi asukoha esialgne valik, kaardistada potentsiaalsed tarbijad, leida torustike läbimõõdud ja analüüsida mõningaid kaugjahtusvõrgu tehnilisi võimalusi.

Kaugküte on Eestis palju kasutatud soojusvarustuse liik ja seda on kasutatud aastakümneid. Kaugjahutus on Eestis uus valdkond, mida on hakatud arendama Tartus ja Pärnus. Samas, mujal maailmas, näiteks Rootsis ja Põhja-Ameerikas on kaugjahutusvõrgud kasutusel aastakümneid.

Teema on valitud pidades silmas vajadust tutvustada keskkonnasäästlikku ja võrreldes olemasolevatega, optimaalsemat jahutusviisi. Siseruumide jahutamine, kasutades selleks kaugjahutust, on aktuaalne teema, sest seoses kliima globaalse soojenemisega keskmine õhutemperatuur tõuseb ja Eestis keskmise elatustaseme tõusmisega ka nõudmised sisekliima mugavusele tõusevad. Lisaks, vaja on jahutamine teostada keskkonnasäästlikult ja majanduslikult kasulikult, mida tsentraalse kaugjahutuse kasutamine võimaldab.

Töö on mõtteliselt jaotatud kolmeks osaks. Esimeses peatükis on esitatud Tallinna kesklinna kaugjahutuse eskiisprojekti teostamiseks tehtud lõputöö arvutuslik osa, selle meetodikad ja tulemused. Teine peatükk käsitleb kaugjahutusvõrku üldiselt ja selle eeliseid, selle tehnilisi aspekte ja nende võrdlust. Täiendavalt, pakub välja optimaalsema lahenduse. Kolmandas peatükis on esitatud eskiisprojekti staadiumis projekteeritud kaugjahutustorustiku trasseeringu kirjeldus ja läbimõõdud kinnistute kaupa. Lõputöös on esitatud kolm lisa, esimesed kaks on hüdrauliliste arvutuste kohta ja kolmas on projekteeritud kaugjahutustorustike skeem.

Algselt on kaardistatud tarbijad, teostatud kaugjahutustorustiku trassi asukoha valik ja arvatud tarbijate jahutuskoormused. Järgnevalt leitud info kohaselt on teostatud kaugjahutustorustike hüdraulika, soojuskadude ja temperatuuri muutuste arvutused. Esitatud on leitud tulemused. Täiendavalt, on lühidalt analüüsitud erinevaid torustiku tüüpe ja materjale. Kirjeldatud on projekteeritud kaugjahutustrassi ja selle läbimõõde.

# 1. LÕPUTÖÖ ARVUTUSLIK OSA

Järgnevates alapunktides on esitatud lõputöö teostamiseks kasutatud arvutuslikud valemid ja meetodikad. Teostatakse hüdraulilised arvutused, leitakse soojuskaod, temperatuuri muutused kaugjahutustorustiku võrgus ja tarbijate jahutuskooormused.

## 1.1 Hüdrauliliste arvutuste teostamise meetodika

Hüdrauliliste arvutuste teostamise eesmärk on hinnata kaugjahutustorustikus olevat absoluutset rõhku, tekkivaid rõhulange ja esinevat vedeliku voolamise kiirust, mille abil leida sobilik kaugjahutustorustiku läbimõõt. Lisaks, läbimõõtude määramisel tuleks hinnata kaugjahutusvõrgule perspektiivsete tarbijate täiendava lisamise võimekust ja linna arenguid. Samas, võib tekkida probleem üledimensioneerimisega, sest puudub kontroll uute hoonete ehitamise üle ja nende kaugjahutusvõrguga liitumissoovide üle. Eesmärk on leida sobiv läbimõõt, et ei tekiks üledimensioneerimine või aladimensioneerimine.

Kui torustikud on üledimensioneeritud, siis tekib liigselt kõrge kaugjahutuse võrgu materjalide ja nende paigalduse maksumus ning liiga suured soojuskaod [12]. Lisaks, süsteem töötab ebaefektiivselt ja võrguvaldaja saadav tulu on oodatust väiksem [17]. Samas, aladimensioneerimine on ka kallis, sest sellel juhul tuleb maa seest liiga väike torustik välja kaevata, asendada see uuega ja selle tegevuse ajal tagada teenus olemasolevatele tarbijatele. Tehnilisest vaatepunktist, torustikes läheb vee kiirus liiga suureks, mille tõttu on rõhukaod ja pumpamiskulud liiga suured. Et saavutada võimalikult suur energeetiline kasutegur ja madalaim kaugjahutussüsteemi maksumus, on vaja optimeerida mitmeid projekteerimise ja trassi töö parameetreid, nagu torustiku läbimõõt, peale- ja tagasivoolu temperatuure, vee massikulu, pumba tööparameetreid ja rõhukaod jne. Et antud inseneritöid teha, on vaja omada täielikku kaugjahutustorustiku hüdraulilist pilti. Mõned näited on [13]:

- Projekteerimise staadiumis erinevaid hüdraulilisi olekuid tuleb analüüsida, et saavutada parim lahendus ja tagada piisav külma vee kogus kõikide tarbijateni. Näiteks, ennustades minimaalset ja maksimaalset rõhku ning maksimaalset vee kiirust torustiku võrgus, projekteerija saab otsustada, milline lahendus on aktsepteeritav ohutuse vaatepunktist. Kui rõhk on maksimaalsest lubatust kõrgem, siis see kulutab torustiku materjali, liiteid, sulgeseadmeid ja teisi komponente. Liiga suured vee kiirused võivad tekitada torustikus vibratsioone või hüdraulilist lööki [13].

- Hüdraulilisi arvutusi on vaja teostada, et leida pumpade tõstekõrgused ja rõhud torustiku võrgus. Pumba tõstekõrgus peab olema piisav, et tagada piisav vee kogus tarbijateni aga samas mitte liiga kõrge, et ülejääv tõstekõrgus ei kuluks drosseldamise peale, mis viib ebavajalike energiakadudeni [13].
- Vältimatu nõue kaugjahutusvõrgu hüdraulilistes arvutustes on, et mis juhtub kui tekivad rikked võrgus, näiteks kui mõni võrgu lõik läheb tööst välja või tuleb ühendada mõne teise allikaga, et tagada jahutuskooormus tarbijatele [13].
- Uute tarbijate kaugjahutus võrku lisamine nõuab uue olukorra hüdrauliliste arvutuste teostamist. Vanade kaugjahutustorustiku võrkude rekonstrueerimine ja erinevate läbimõõtude lisamine ka nõuab täiendavaid hüdraulilisi arvutusi [13].

Arvutused on teostatud käsitsi, kasutades arvutiprogrammi Microsoft Office Excel 2007. Kasutatud on lihtsustatud arvutusmeetodit, milles kasutatud valemid on esitatud alapeatükis 1.2. Olemas on ka keerulisemad arvutusmeetodid, kasutades maatriksarvutusi. Tänapäeval tehakse hüdraulilisi arvutusi kasutades spetsiaalset tarkvara. Hüdraulilised arvutused näevad ette alustada arvutustega trassi viimasest tarbijast kuni trassi allikani, ehk kaugjahutusjaamani. Algselt on tehtud eelarvutus, millega on leitud iga lõigu eelduslik läbimõõt, lähtudes võimsusest ja maksimaalsest lubatud vee kiirusest. Järgmiseks, on tehtud arvutused, millega on alustatud kõige kaugemast võrgu tarbijast kuni allikani. Selle arvutusega on arvatud rõhukaod ja absoluutne rõhk torudes. Juhul, kui algrõhk on liiga suur, siis on mindud tagasi, leitud kriitilised punktid ja suurendatud läbimõõtu. Staatilist rõhku pole arvestatud, kuna Tallinna kesklinna piirkond on lame, selle tõttu pole vaja arvestada.

Kuna kaugjahutustorustiku trassivalikus esineb ring, siis on tarbimiskindluse tagamiseks ette nähtud tervel ringil kaugjahutustorustiku läbimõõt sama, arvestades ringi summaarset tarbimist. Kui ringil mõni lõik on tööst väljas, siis on endiselt võimalik ringil asuvad tarbijad varustada soojusenergiaga. Ringil trassi rõhu arvutamiseks on ringi tarbimise järgi jaotatud kaheks ja leitud 0 punkt, milles vee teoreetiline kiirus on 0 m/s.

Peale esialgset hüdraulilist arvutust on teostatud kaugjahutustorustiku soojuskadude arvutus ja peale seda tehtud uus hüdrauliline arvutus, millele on lisatud soojuskaod. Soojuskadudest tulenev lisa vajalik soojuskooormus on väike kaugjahutuse korral ja see antud juhul läbimõõte ei muuda.

Kaugjahutustorustiku hüdrauliliste arvutuste teostamisel on lähtutud peale- ja tagasivoolu vedeliku temperatuuridest kaugjahutustorustikus vastavalt 16 °C ja 6 °C. Temperatuurigrافیk, mida arvutustes aluseks võtta, esitati lõputöö juhendaja poolt.

Hüdraulilistes arvutustes maksimaalseks kaugjahutustorustiku soojuskandja vedeliku kiiruseks on valitud 2 m/s, mis on kirjandusest võetud soovituslik maksimaalne vee kiirus 10 °C temperatuuri korral, raskesti ligipääsetavas kohas ehk pinnases [30]. Hüdraulilistes arvutustes on arvestatud, et iga hoone jahutussõlme ees tuleb tagada vähemalt 60 000 Pa ≈ 0,6 bar.

Tarbijate harutorustike maksimaalseks kiiruseks on valitud kuni 1 m/s, et vältida ebameeldivat heli ja torustiku sisemuses esinevat erosiooni, mis tekib suurest vee kiirusest torustikus [16].

Hüdraulilised arvutused on tehtud kaugjahutustorustikele lõikude kaupa, mis paiknevad hargnemissõlmede vahel.

Arvutatud lõikude rõhukaod on kokku liidetud, mille tulemusel selgub kogu kaugjahutustorustiku arvutuslik rõhulang peatorustikus. Harutorustikele arvutatakse eraldi rõhulang. Kui arvutatavale lõigule on vaja üleminekuid ette näha, siis tuleb omakorda eraldi läbimõõduga lõikudele teha arvutused.

## 1.2 Hüdrauliliste arvutuste teostamise valemid

Esiteks, on arvutatud torustikes oleva vedeliku massikulu

$$G = \frac{P_a}{(h_{fpv} - h_{ftv})}, \quad (1.2.1)$$

kus  $G$  - vedeliku massikulu, kg/s

$P_a$  - arvutuslik jahutuskooormus, W

$h_{fpv}$  - pealevoolu vee erientalpia temperatuuril 16 °C, J/kg

$h_{ftv}$  - tagasivoolu vee erientalpia temperatuuril 6 °C, J/kg

Järgmiseks on arvutatud vedeliku mahu kiirus

$$V_{mah} = \frac{G \cdot \rho}{3600}, \quad (1.2.2)$$

kus  $V_{mah}$  - vedeliku mahu kiirus, m<sup>3</sup>/s

$\rho$  - vedeliku keskmine tihedus, kg/m<sup>3</sup>

Järgmiseks on arvatud vedeliku kiirus torus

$$V_{teg} = \frac{4}{\pi} * \frac{V_{mah}}{d_{sise}^2}, \quad (1.2.3)$$

kus  $V_{teg}$  - vedeliku kiirus, m/s

$V_{mah}$  - vedeliku mahu kiirus, m<sup>3</sup>/s

$d_{sise}$  - toru siseläbimõõt, m

Sirge toru lõigu rõhulang on arvatud Weisbach-Darcy valemiga [2]:

$$\Delta p = \left( \lambda * \frac{L}{d_{sise}} \right) * \rho * \frac{V_{teg}^2}{2}, \quad (1.2.4)$$

kus  $\Delta p$  - sirge toru lõigu rõhulang, Pa

$\lambda$  - toru hüdrauliline hõõrdetegur

$L$  - toru lõigu pikkus, m

$d_{sise}$  - toru siseläbimõõt, m

$\rho$  - vedeliku keskmine tihedus, kg/m<sup>3</sup>

$V_{teg}$  - vedeliku kiirus, m/s

Torustiku hüdrauliline hõõrdetegur sõltub Reynoldsi arvust ( $Re$ ) ja suhtelisest toru seina karedusest[7].

$$Re * \frac{k_{ekv}}{d_{sise}}, \quad (1.2.5)$$

kus  $k_{ekv}$  - toru seina ekvivalente karedus, mm

$Re$  - Reynoldsi arv

Ekvivalentse toru seina kareduseks, mis arvestab korrosiooni, on soovitatud: aurutorustikel - 0,2mm  $\approx$  0,0002 m; vanadele veega täidetud kaugküttetorustikele - 0,5-1,0 mm  $\approx$  0,0005-0,001 m ja uutele veega täidetud kaugküttetorustikele - 0,2 mm  $\approx$  0,0002 m [7]. Hüdraulilistes arvutustes on kasutatud väärtust  $k_{ekv}=0,2$  mm  $\approx$  0,0002 m, kuna tegemist on uute torustikega ning kaugküttetorustike ja kaugjahutustorustike tööpõhimõte on sama. Hüdraulilistes arvutustes on kasutatud plastikust torustike ekvivalentseks toru seina kareduseks 0,0 m [3].

Reynoldsi arvu kasutatakse, et hinnata, kas tegemist on laminaarse või turbulentsel voolamisega.

Reynoldsi arv on arvatud järgmise valemiga:

$$Re = \frac{V_{teg} * d_{sise}}{\nu}, \quad (1.2.6)$$

kus  $\nu$  - vedeliku kinemaatiline viskoossus, mm

Väärtuste korral  $Re * \frac{k_{ekv}}{d_{sise}} \geq 23$ , on torustikud hinnatud kui hüdrauliliselt siledad [7].

Väärtuste korral  $Re * \frac{k_{ekv}}{d_{sise}} \geq 560$ , on torustikud hinnatud kui hüdrauliliselt karedad [7].

Väärtuste vahemikku  $Re * \frac{k_{ekv}}{d_{sise}} = 23 \dots 560$  peetakse kui ülemineku perioodi sileda ja kareda torustiku vahel. Sellisel juhul on soovitatud kasutada professor Altshuli valemit [7].

Kuna vastavalt hüdraulilistele arvutustele, eranditult kõikide terasest kaugjahutustorustike lõikude siledused ülemineku perioodi vahemikus, siis on arvatud kõikide lõikude hüdraulilise hõõrdeteguri väärtused professor Altshuli valemiga [7]:

$$\lambda = 0,11 * \left( \frac{k_{ekv}}{d_{sise}} + \frac{68}{Re} \right)^{0,25}, \quad (1.2.7)$$

kus  $\lambda$  - toru hüdrauliline hõõrdetegur

Kui kasutada plastikust torustikku, siis on tegemist hüdrauliliselt siledate torustikega ja sel puhul arvatatakse hüdraulilise hõõrdeteguri väärtused Murini valemiga:

$$\lambda = \frac{1,01}{(\lg Re)^{2,5}}, \quad (1.2.8)$$

kus  $\lambda$  - toru hüdrauliline hõõrdetegur

Sirge toru lõigu rõhulang ühe meetri kohta on arvatud järgmiselt [2]:

$$\Delta p_{teg} = \left( \lambda * \frac{1}{d_{sise}} \right) * \rho * \frac{V_{teg}^2}{2}, \quad (1.2.9)$$

kus  $\Delta p_{teg}$  - sirge toru lõigu rõhulang, Pa/m

$\lambda$  - toru hüdrauliline hõõrdetegur

$d_{sise}$  - toru siseläbimõõt, m

$\rho$  - vedeliku keskmine tihedus, kg/m<sup>3</sup>

$V_{teg}$  - vedeliku kiirus, m/s

Kohttakistus on arvatud Weisbachi valemiga [3]:

$$h_k = \zeta \frac{V_{teg}^2}{2 * g}, \quad (1.2.10)$$

kus  $h_k$  - kohttakistus, m

$V_{teg}$  - vedeliku kiirus, m/s

$\zeta$  - kohttakistustegur

$g$  - raskuskiirendus, m/s<sup>2</sup>

Valemiga 1.2.10 arvatud kohttakistus on ümber teisendatud paskalitesse järgmiselt [3]:

$$\Delta p_k = h_k * \rho * g, \quad (1.2.11)$$

kus  $\Delta p_k$  - kohttakistusest tulenev rõhulang, Pa

$h_k$  - kohttakistus, m

$\rho$  - vedeliku keskmine tihedus, kg/m<sup>3</sup>

$g$  - raskuskiirendus, m/s<sup>2</sup>

Kaugjahutustorustiku lõigu täielik rõhulang on arvatud järgmiselt:

$$\Delta p_{kokku} = 2 * (\Delta p_k + \Delta p), \quad (1.2.12)$$

kus  $\Delta p_{kokku}$  - kaugjahutustorustiku rõhulang kindlal lõigul, Pa

Kaugjahutustorustiku rõhulangud liituvad, mille tulemusel saame kaugjahutussüsteemi torustike kogu rõhulangu:

$$\Delta p_{kõik} = \Delta p_{kokku1} + \Delta p_{kokku2} + \Delta p_{kokku3} + \Delta p_{kokkun}, \quad (1.2.13)$$

kus  $\Delta p_{kokku1}, \Delta p_{kokku2}, \Delta p_{kokku3}, \Delta p_{kokkun}$  - kaugjahutustorustiku lõikude rõhulangud, Pa

### 1.3 Hoonete jahutuskoormuse arvutamine

Lõputöös on kasutatud hoonete jahutuskoormuse esialgseks hinnanguks lihtsustatud meetodit, millega on leitud jahutuskoormus kasutades hoone pindala ja  $30 \text{ W/m}^2$ . Arvutustes kasutatud hoonete pindalade väärtused on võetud ehitisregistrist [5].

On olemas detailsemad jahutuskoormuse arvutamise meetodid, kuid nendega jahutuskoormuse määramine on liiga mahukas töö antud lõputöö tarbeks. Lisaks, on olemas erilised arvutiprogrammid, milledega saab hoone jahutuskoormust hinnata. Hoone jahutuskoormuste arvutamisel on palju nüansse. Jahutuskoormuse väärtus sõltub, kas tegemist on ärimaja, kaupluse või muu otstarbega hoonega ja mis on ehitusaasta. Sõltuvalt hoone tüübist, võib jahutuskoormus olla väga erinev ja koormuse arvestamise alused erinevad. Näiteks, ärihoone vajab jahutamist päeval kui päike paistab ja palju inimesi ruumis on, kes töötavad, samas nädalavahetusel jahutamist pole vaja. Serveriruumid vajavad jahutamist pidevalt. Kauplused vajavad peamist jahutamist öhtuti, kus on palju inimesi aga samas kauplustel on ka külmaletid ja laod, mida peab pidevalt jahutama, et tooted ei rikneks. Kinod ja teatrid tarbivad jahutamist peamiselt öhtuti ja nädalavahetustel. Ehitusaastast saab ka mõned eeldused teha, näiteks, 1990 aastate hoonetel on vähem klaaspinda ja võib-olla sundventilatsioon puudub. Samas, kõige uuemad hooned, kus on palju klaaspinda, ilmselt omavad oma jahutussüsteemi ja esialgu ei soovi kaugjahutusvõrguga liituda.

Võimalik on ka leida lihtsustatult maksimaalne jahutuskoormus, millega hoone arvutuslikku jahutuskoormust määratakse kui  $100 \text{ W/m}^2$ . Jahutussüsteemi dimensioneerimisel lähtutakse maksimaalsetest soojuskoormustest (selge päiksepaisteline ilm, maksimaalne kasutus- ja kohalolekuprofiil jms.). Tagamaks head sisekliimat ei tohiks ruumi arvutuslik jahutuskoormus olla üle  $100...125 \text{ W/m}^2$  [1]. Samas, selle meetodi kasutamine võib viia kaugjahustrassi üledimensioneerimiseni ja lõputöös seda meetodikat pole kasutatud.

### 1.4 Kaugjahutustorustiku soojuskadude arvutamine

Tehtud on soojuskadude arvutused kaugjahutus torustikele kahes variandis, kus esimene variant on pealevoolu toru 0 klassi eelisooleeritud torustik ja tagasivoolu toru ilma isolatsioonita. Teine variant on, kus pealevoolu- ja tagasivoolu torustikud on mõlemad 0 klassi eelisooleeritud torustikud. Pinnase soojusjuhtivus  $\lambda_p$  on valitud  $1,20 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}$  [19].



Polüuretaanist isolatsiooni soojusjuhtivus on võetud 0,03 W/m°C [2]. Arvutustes on eeldatud on pinnase temperatuur on 8 °C, sh Eestis on pinnase temperatuur keskmiselt 4–12 °C [25].

Tehtud on arvutustes variant, kus pinnase temperatuur on 20 °C, suviseks perioodiks. Arvutustes on eeldatud, et torustik töötab aastaringelt, samas, kui võrguvaldaja kavatseb kaugjahutustorustikke kasutada ainult suvisel perioodil, siis tuleb arvutused ümber teha suvise keskmise maapinna temperatuuriga, et vältida aladimensioneerimist.

Arvutustes torustiku välispindade vahel on puhasvahe 150mm. Arvutused arvestavad torustike vahelist energiavahetust. Torustiku paigaldussügavus toru peale on valitud 1,2m. Samas, kui kaugjahutustorustik ei tööta, siis on vaja tagada endiselt vee ringlus torustikus, et vältida vee jäätumist torustikus või rajada torustikud piisavalt sügavale, kus ei toimu jäätumist.

Kaugjahutus torustiku soojuskadu peale- ja tagasivoolu torustikule, millel mõlemal on sama isolatsioon, on arvutatud järgmise valemiga [2]:

$$P_{HL} = P_{SO} + P_{RO} = L * \pi * d_{töö} * (\Theta_s + \Theta_r) / (R_i + R_g + R_c), \quad (1.4.1)$$

kus  $P_{HL}$  - kaugjahutustorustiku soojuskadu peale- ja tagasivoolu torustikust, W

Kaugjahutus torustiku soojuskadu pealevoolu torustikule on arvutatud järgmise valemiga [2]:

$$P_S = P_{SO} + P_{SR} = L * \pi * d_{töö} * ((R_i + R_g) * \Theta_s - R_c * \Theta_r) / ((R_i + R_g)^2 - R_c^2), \quad (1.4.2)$$

kus  $P_S$  - kaugjahutustorustiku soojuskadu pealevoolu torustikust, W

Kaugjahutus torustiku soojuskadu tagasivoolu torustikule on arvutatud järgmise valemiga [2]:

$$P_R = P_{RO} - P_{SR} = L * \pi * d_{töö} * ((R_i + R_g) * \Theta_r - R_c * \Theta_s) / ((R_i + R_g)^2 - R_c^2), \quad (1.4.3)$$

kus  $P_R$  - kaugjahutustorustiku soojuskadu tagasivoolu torustikust, W

Tagasivoolu torustikust tulenev soojus, mis mõjutab pealevoolu torustikku, on arvutatud järgmise valemiga [2]:

$$P_{SR} = L * \pi * d_{töö} * (R_c * (\Theta_r - \Theta_s)) / ((R_i + R_g)^2 - R_c^2), \quad (1.4.4)$$

kus  $P_{SR}$  - tagasivoolu torustikust tulenev soojus, W

Kolm soojustakistust: isolatsiooni soojustakistus, pinnase soojustakistus ja temperatuuride koosmõjust ehk energia vahetusest tulenev soojustakistus vastavalt on arvatud järgmiste valemitega [2]:

$$R_i = \left(\frac{d_{töö}}{2 \cdot \lambda_i}\right) * \ln\left(\frac{D_{isol}}{d_{töö}}\right), \quad (1.4.5)$$

kus  $R_i$  - isolatsiooni soojustakistus, m<sup>2</sup>K/W

$$R_g = \left(\frac{d_{töö}}{2 \cdot \lambda_p}\right) * \ln\left(\frac{4 \cdot h}{D_{isol}}\right), \quad (1.4.6)$$

kus  $R_g$  - pinnase soojustakistus, m<sup>2</sup>K/W

$$R_c = \left(\frac{d_{töö}}{2 \cdot \lambda_p}\right) * \ln\left(\left(\frac{2h}{s}\right)^2 + 1\right)^{0,5}, \quad (1.4.7)$$

kus  $R_c$  - temperatuuride koosmõju soojustakistus, m<sup>2</sup>K/W

$P_{SO}$  - Pealevoolu torustiku soojuskadu, ilma tagasivoolu toru soojusliku mõjuta, W

$P_{RO}$  - Tagasivoolu torustiku soojuskadu, ilma pealevoolu toru soojusliku mõjuta, W

$\lambda_p$  - pinnase soojusjuhtivus, W/m°C

$\lambda_i$  - isolatsiooni soojusjuhtivus, W/m°C

$\theta_s$  - pealevoolu vee ja pinnase temperatuuri erinevus, °C

$\theta_r$  - tagasivoolu vee ja pinnase temperatuuri erinevus, °C

$d_{töö}$  - töötoru välisläbimõõt, m

$D_{isol}$  - isolatsiooni välisläbimõõt, m

$s$  - torustike tsentrite vahe, m

$h$  - torustiku sügavus, torustiku tsentri ja maapinna vahel, m

## 1.5 Kaugjahutustorustiku temperatuuri tõusu ja kao arvutamine

Arvatud on peatorustikus kuni trassi viimase tarbijani esinev temperatuuri langus, kuhu kuulub skeemijärgse tähistuse järgi (Kaugjahutustorustike üldine skeem on toodud lisas 1.) lõik ÜK1 kuni HS4, ning ringistus kuni viimase tarbijani Liivalaia tn 33.

Kaugküttetorustike korral on temperatuuri langus alati suurem pealevoolu torustikul, sest pealevoolu torustiku temperatuuri ja pinnase temperatuuri erinevus on mitu korda suurem kui tagasivoolutorustiku ja pinnase vahel.

Samas, kaugjahutustorustikus on tagasivoolu torustikul suurim temperatuuri langus. Võttes näiteks suvise võimaliku pinnase temperatuuri 20 °C, siis kaugjahutustorustiku pealevoolu torustiku vedeliku soojenemine on probleem seoses energia kadudega, sest pealevoolu temperatuur (6 °C) on väiksem kui keskkonna temperatuur. Tehtud arvutustes on kaugjahutustorustiku pealevoolu torustikul eelisooleeritud terastorustikke, isolatsiooni klassiga 0. Tagasivoolu torustik on arvutustes kasutatud ilma isolatsioonita terastorustikku.

Eestis on pinnase temperatuur keskmiselt 4–12 °C [25]. Arvutustes on lihtsustatult võetud pinnase temperatuuriks 8 °C. Olemas on täpsemad ja keerulisemad pinnase temperatuuri arvutamise meetodid, mis sõltuvad järgmistest parameetritest: pinnase sügavus, niiskus, pinnase tihedus, teekatte tüüp ja asetus geograafiliselt.

Temperatuuri tõus kaugjahutus torustikule pealevoolu torule kindlal lõigul on arvutatud järgmise valemiga [15]:

$$\Delta T_{pv} = \frac{3600 \cdot P_s}{G \cdot c}, \quad (1.5.1)$$

kus  $P_s$  - kaugjahutustorustiku soojuskadu pealevoolu torustikust, W

Temperatuuri langus kaugjahutus torustikule tagasivoolu torule kindlal lõigul on arvutatud järgmise valemiga [15]:

$$\Delta T_{tv} = \frac{3600 \cdot P_r}{G \cdot c}, \quad (1.5.2)$$

kus  $P_r$  - kaugjahutustorustiku soojuskadu tagasivoolu torustikust, W

$c$  - vee erisoojus, J/kgK

## 1.6 Arvutusliku osa tulemused

Järgnevalt on esitatud arvutusliku osa tulemused:

1) Hüdrauliliste arvutuste tulemusena kaugjahutustorustiku rõngulang tuli peale- ja tagasivoolu torustikule summaarselt ilma soojuskadusid arvestamata 1,945 bar (194 500 Pa). Arvutuste tulemused esitatud lisas 1. Liites juurde soojuskadudest tuleneva soojuskoormuse, tuli trassi enda summaarseks rõhukaoks 1,951 bar (195 100 Pa). Arvutuste tulemused esitatud lisas 2. Arvestatud, et jaamas minimaalne staatiline rõhk peab olema 100 000 Pa.

Trassi viimase tarbija ees peab olema tagatud rõhk 60 000 Pa kuni 100 000 Pa. Kogu maksimaalne absoluutne rõhk trassi alguses peaks olema maksimaalselt 4,00 bar (400 000 Pa).

2) Tallinna kesklinnas tarbijateks valitud hoonete summaarne arvutuslik jahutuskoormus tuli  $26,18 \cdot 10^6 \text{ W} \approx 26,18 \text{ MW}$ .

3) Soojuskadude arvutuste tulemused on esitatud mõlema pinnase temperatuuri (8 °C ja 20 °C) kohta ja toodud tulemused mõlema tsenaariumi kohta, kus tabelis 1.6.1 on ainult pealevoolutorustikul kasutatud 0 klassi eelisoleeritud terastorustikku ning tagasivoolu toru on tavaline terastoru. Tabelist 1.6.2 on toodud arvutuste tulemused olukorrale, kus peale- ja tagasivoolutorustikel on kasutatud 0 klassi eelisoleeritud terastorustikku.

Tabel 1.6.1 Soojuskadude arvutuse tulemused, kus pealevoolutorustik on 0 klassi eelisoleeritud torustik ja tagasivoolutorustik on tavaline terastoru.

<b>Pinnase temperatuur, °C</b>	8	20
<b>Peale- ja tagasivoolu torustiku soojuskadu kokku, kW</b>	196,6	171,1
<b>Pealevoolutorustiku soojuskadu, kW</b>	6,0	86,9
<b>Tagasivoolutorustiku soojuskadu, kW</b>	190,6	84,2

Tabel 1.6.2 Soojuskadude arvutuse tulemused, kus peale- ja tagasivoolutorustik on 0 klassi eelisoleeritud torustikud.

<b>Pinnase temperatuur, °C</b>	8	20
<b>Peale- ja tagasivoolu torustiku soojuskadu kokku, kW</b>	55,9	100,7
<b>Pealevoolutorustiku soojuskadu, kW</b>	6,0	86,9
<b>Tagasivoolutorustiku soojuskadu, kW</b>	49,9	13,8

4) Temperatuuri languse/tõusu kalkulatsioonide tulemused on esitatud tabelites 1.6.3 ja 1.6.4. Kasutades pinnase temperatuuri 8 °C on arvutuslik pealevoolu peatorustiku kuni lõigu viimase tarbijani temperatuuri tõusuks 0,07 °C ja ilma isolatsioonita tagasivoolu torustiku temperatuuri kaoks 2,81 °C. Kui tagasivoolu toru on eelisoleeritud toru, siis temperatuuri kadu on 0,44 °C. Kui pinnase temperatuuriks arvestada 20 °C, siis pealevoolutorustiku arvutuslikuks temperatuuri tõusuks alates trassi algusest kuni viimase tarbijani on 0,77 °C ja ilma isolatsioonita tagasivoolu torustiku temperatuuri tõusuks 1,30 °C. Kui tagasivoolu toru on eelisoleeritud toru, siis temperatuuri tõus on 0,15 °C.

Tabel 1.6.3 Temperatuuri muutuste arvutuse tulemused, kus pealevoolutorustik on 0 klassi eelisoleeritud torustik ja tagasivoolutorustik on tavaline terastoru

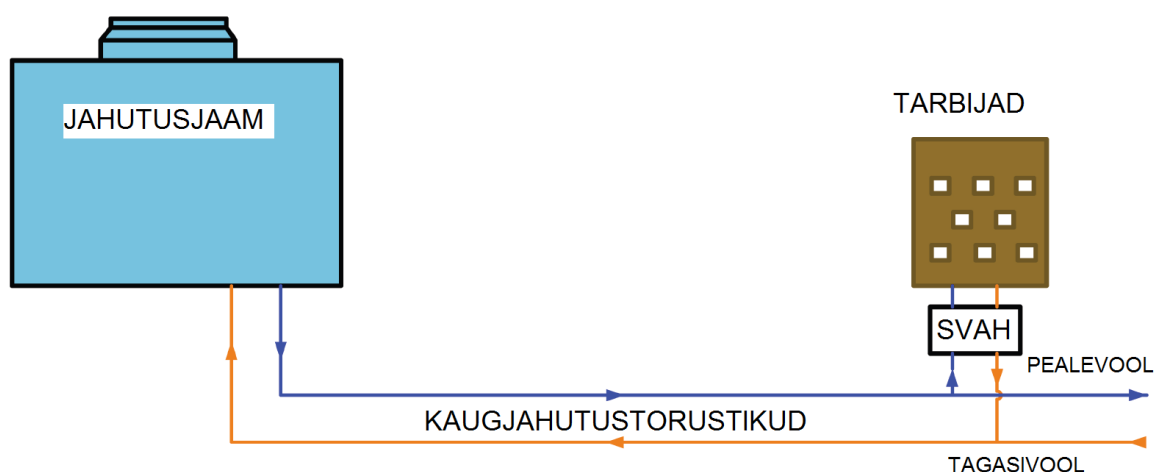
<b>Pinnase temperatuur, °C</b>	8	20
<b>Pealevoolutorustiku temperatuuri muutus, °C</b>	+0,07	+0,77
<b>Tagasivoolutorustiku temperatuuri muutus, °C</b>	-2,81	+1,30

Tabel 1.6.4 Temperatuuri muutuste arvutuse tulemused, kus peale- ja tagasivoolutorustik on 0 klassi eelisoleeritud torustikud

<b>Pinnase temperatuur, °C</b>	8	20
<b>Pealevoolutorustiku temperatuuri muutus, °C</b>	+0,07	+0,77
<b>Tagasivoolutorustiku temperatuuri muutus, °C</b>	-0,44	+0,15

## 2. KAUGJAHUTUS

Kaugjahutustorustike võrk kombineerib kõikide piirkonna tarbijate jahutamise vajadused, ehk koondab koormused kokku ja siis kasutab kaugjahutusjaama, millega tarbijaid jahutatud veega varustada. Jahutusenergia, mis võib tulla erinevatest allikatest, saadetakse tarbijateni eraldiseisva torustiku torustike võrgu kaudu, et varustada tarbijaid jahutatud veega. Tarbijad on ühendatud kaugjahutustorustiku võrguga läbi soojusvaheti või otsese ühendusega kaugjahutusvõrguga [14]. Tänu kaugjahutusele on võimalik klientidele tagada palju keskkonnasõbralikuma lahenduse, võrreldes lokaalsete lahendustega, tänu vabajahutuse kasutamisele ja mastaabi efektile. Kaugjahutuse keskkonnasõbralikkusest on kirjutatud täpsemalt alapeatükkides.



Joonis 2.1 Kaugjahutustorustiku süsteemi põhimõtteline joonis, kus sinisega on näidatud külma vee pealevoolutorustik ja oranžiga on näidatud tagasivoolutorustikku [14].

Tavaliselt, kaugjahutustorustiku võrk on paigaldatud maa alla, aga olenevalt olukorrast, võib torustik olla ka maapealne. Sellisel juhul võib torustikul olla otsene kontakt välistingimustega või olla paigaldatud vee sisse või järve. Kaugjahutuse vedelikku tavaliselt transporditakse eraldi pealevoolu ja tagasivoolu torudega või kasutades kaksiktorustikku. Isolatsiooni kasutatakse vastavalt energeetilistele eesmärkidele [14].

## 2.1 Miks on kaugjahutus vajalik

Jahutuse põhieesmärgiks on välistada ruumiõhu temperatuuri tõusmine üle lubatud väärtuse, st. tagada inimestel soojuslik mugavus ja/või kindlustada tehnoloogilise protsessi jaoks vajalikud tingimused [1].

Globaalse temperatuuri tõusu ning üha kasvava kodu- ja kontorielektronika kasutamise tõttu on jahutamisest saamas järjest suurem turg ja kaugjahutuse süsteemid on paljudes kohtades sobiv alternatiiv. Kaugjahutus on täpselt sama asi kui kaugküte – ainult kuuma vee jaotamise asemel (umbes 60-120 °C) kütteks, jaotatakse külma vett temperatuuril 2-3 kuni 10 °C, mis on ettenähtud jahutamiseks. Nii nagu kaugkütteski, koosneb süsteem soojusvahetitest ja pumpadest, tootmisahelast, jaotusahelast ja lõpptarbija varustusahelast, millel kõigil on oma soojusisolatsioon. Kuid kaugjahutuse tootmisel kasutatakse katelde asemel soojuspumpasid [4].

Kaugküttesüsteemis pumbatakse kuum vesi, ütleme 80 °C juures, katlamajast välja ja toimetatakse tarbijatele. Tarbijad võtavad soojusvahetites soojuse oma süsteemi ja kui vesi on läbinud kõigi tarbijate küttestorustiku, tagastatakse see katlamajja temperatuuril, ütleme, 40 °C, siis soojendatakse seda uuesti algtemperatuurile 80 °C ja tsükkel algab uuesti. Kaugjahutussüsteemis pumbatakse külm vesi välja jahutusjaamast, ütleme, 2 °C ja toimetatakse tarbijatele [4].

Göteborg on kaugjahutust arendatud juba aastast 1995. Aastatel 1995 kuni 2002 kohalik kaugküttestorustike võrguvaldaja Göteborgis hakkas jahutusteenust pakkuma, millega pakkus kohalikke tootmiste kaudu teenust, kokku oli sellel perioodil 11 väikest tootmisjaama, alustades jahutusvõimsusest  $400 \cdot 10^3 \text{ W} \approx 0,4 \text{ MW}$  kuni  $7,4 \cdot 10^6 \text{ W} \approx 7,4 \text{ MW}$ . Aastatel 2002 kuni 2003 on alustatud kaugjahutustorustike ehitamisega ja vähendati kaugjahutusjaamad nelja peale. Samas, kaugjahutuse võrguvaldajal olid juba kliendid eelmistest aastatest olemas. Aastatel 2004 kuni 2006 arendati jätkuvalt kaugjahutustorustiku võrku. Aastatel 2007 kuni 2008 lisati täiendavalt kaks jahutusjaama. Aastatel 2009 kuni 2017 arendati jätkuvalt kaugjahutuse võrku, lisati tarbijaid. Aastaks 2018 on tänu eelnevale arendustööle kaugjahutuse tarbimist 65,5 MW eest ja perspektiivset jahutusvõimsust veel  $17 \cdot 10^6 \text{ W} \approx 17 \text{ MW}$ . Võrguvaldaja prognoosib aastaks 2030 pakkuda jahutusvõimsust  $134 \cdot 10^6 \text{ W} \approx 134 \text{ MW}$  eest tarbijatele ja jätta perspektiivseks varuks  $18 \cdot 10^6 \text{ W} \approx 18 \text{ MW}$ . Göteborg on väga sobilik absorptsioon ja vabajahutuse tehnoloogiate kasutamiseks, sest see on lähedal veele ja saab kasutada jääksoojust tootmisest [26].

Tartu linnas on võrguvaldajal on Emajõe ääres  $13 \cdot 10^6 \text{ W} \approx 13 \text{ MW}$  Kesklinna külmajaam, mis teenindab  $1600 \text{ m} \approx 1,6 \text{ km}$  kaugjahutusvõrku Tartu kesklinnas ja Aardla külmajaam planeeritud ehitusvõimsusega  $9,2 \cdot 10^6 \text{ W} \approx 9,2 \text{ MW}$ , millel on  $1300 \text{ m} \approx 1,3 \text{ km}$  kaugjahutusvõrk, mis teenindab Lõunakeskuse ja selle lähikonna hooneid [27].

Pärnu linnal hetkel on kaugjahutusvõrk arendamisel, millega planeeritakse rajada  $7 \cdot 10^6 \text{ W} \approx 7 \text{ MW}$  kaugjahutusjaam ja kuni  $1000 \text{ m} \approx 1,0 \text{ km}$  kaugjahutusvõrk [11].

Tallinna Kesklinna linnaosas on palju perspektiivi kaugjahutuse arendamiseks, sest Tallinnas on palju ärihooneid, kontorihooneid, ostukeskuseid, spordisaale ja meelelahutusasutusi, kus igal pool on jahutust tarvis ja võiks kaugjahutust pakkuda. Tallinna kesklinnas võimalikud kliendid asuvad tihedalt üksteise lähedal, nagu näiteks Rävalla puistee, Kaubamaja tänava, Narva maantee ja Hobujaama tänava jne piirkonnad, mis tagab kaugjahutuse efektiivsuse. Tallinn on väga sobilik vabajahutuse tehnoloogia kasutamiseks, sest lähedal on suured veekogud nagu Tallinna laht ja Ülemiste järv.

### 2.1.1 Keskkonnaalased eelised

Järgnevalt esitlen mõningad kaugjahutussüsteemi kasutamise keskkonnaalsed eelised:

- Kaugjahutus kasutab vähem primaarenergiat kui tavapärased lokaalsed jahutuslahendused. See tähendab, et kaugjahutuse kohaletoimetamiseks kulub vähem primaarenergiat kui tavapärasel lokaalsel külma tootmisel. See selgub kui võrrelda erinevaid primaarenergia faktoreid ja teha kogu tarneahela mõõtmisi alates väljavoolust ja konverteerimisest kuni kohaletoimetamiseni kliendile [9].
- Võrreldes tavapärase paikse külmatootmisega emiteerib kaugjahutus vähem kasvuhoone gaase. Kui kaugjahutus kataks 25 % Euroopa jahutusturust, siis võiks CO<sub>2</sub>-emissioone vähendada igal aastal 42 kuni 50 miljoni tonni võrra. See on võrdne 9 500 000 sõiduauto keskmise aastase heitkogusega [9].
- Kaugjahutus on kasulik keskkonnale, vähendades CO<sub>2</sub> heitkoguseid 70% ulatuses võrreldes praeguste olemasolevate alternatiividega. Mitmetest olemasolevates jahutussüsteemides kasutatakse külma tootmiseks freoone, mis on tugevad kasvuhoonegaasid ning lekkimisel tekitavad palju kahju. Kaugjahutuse kasutuselevõtuga vähendatakse ka seda riski [8].



- Külmaagensside ja teiste kemikaalide olekut saab tsentraalses kaugjahutusjaamas jälgida ja reguleerida ohutumalt, võrreldes kohtlahendustega [15].
- Viimastel aegadel on suurimad tipukoormused paljudes piirkondades ja maades registreeritud suvisel ajal, see survestab elektrivõrke ja tekitab investeeringute vajaduse elektri tipukoormuse katmiseks. Kaugjahutus aitab neid lünki vältida. Kui kaugjahutus kataks 25 % Euroopa jahutusturust, siis võiks aastast elektritarbimist vähendada  $50 \cdot 10^{12} \text{Wh} \approx 50 \text{ TWh}$  kuni  $60 \cdot 10^{12} \text{Wh} \approx 60 \text{ TWh}$  võrra (keskmine 10 miljoni elaniku tarbimine) ja Euroopa Liit väldiks 30 miljardi euro investeerimist elektri tipuvõimsuste tarvis [9].
- Kaugjahutusel on väga madal kaalumistegur. Üldiseks kaugjahutuse kaalumisteguriks loetakse 0,4 ja tõi hõõsa kaugjahutuse kaalumisteguriks loetakse 0,2. Energiakandja kaalumistegur Hoone energiatõhususe miinimumnõuete määruse tähenduses on tegur, millega võetakse arvesse tarnitud energia tootmiseks vajalik primaarenergia kasutus ja selle keskkonnamõju [10]. Madalat kaalumistegurit saab kasutada parima energiatõhususe saavutamiseks liginullenergiahoonete puhul.

## 2.1.2 Majanduslikud eelised

Peatükis on toodud mõningad kaugjahutusvõrguga liitumise majanduslikud eelised. Kaugjahutuse süsteemi kasutamine pakub mitmeid majanduslikke eeliseid. Kuigi, põhilised kulud tuleb kanda kaugjahutusjaama omanikul/opertaatoril, kuna jaam on suur, siis tarbijad saavad kasu kaugjahutussüsteemi suurusest tulenevast rahalisest säästust [15].

**Teenindav personal.** Üheks suuremaks eeliseks hoone omanikule on see, et tänu kaugjahutussüsteemi kasutamisele kliimatehnika süsteemi seadmeid hoones saab vähendada või eemaldada. Selle tulemusel saab vähendada spetsiaalselt välja koolitatud personali, kes peab kliimatehnika seadmeid hooldama.

Kui jahutatud vesi tuuakse hoonesse, kui teenus võrguvaldaja poolt, siis tänu sellele, olenevalt seadmete tüübist, on võimalik vähendada või eemaldada teenindavat personali [15].

**Kindlustus.** Erinevaid hoone kindlustusmakseid on võimalik vähendada tänu kaugjahutussüsteemile, eemaldades mitmeid kliimatehnika seadmeid, sest tulekahju või õnnetuse oht on vähenenud [15].

**Kasutatav ruum.** Hoonetes saab suurendada kasutatavat ruumi, kui kohtjahutusseadmed hoonest eemaldada ja kasutusele võtta kaugjahutussüsteem. Samuti on kohtjahutusseadmetest tulenev heli eemaldatud [15].

**Seadmete hooldus.** Kuna kasutusel on vähem mehaanilisi seadmeid, siis on võrdeliselt vähem vaja teostada kliimatehnika seadmete hooldust, mille tulemusena on kulud väiksemad hooldusele ja personalile [15].

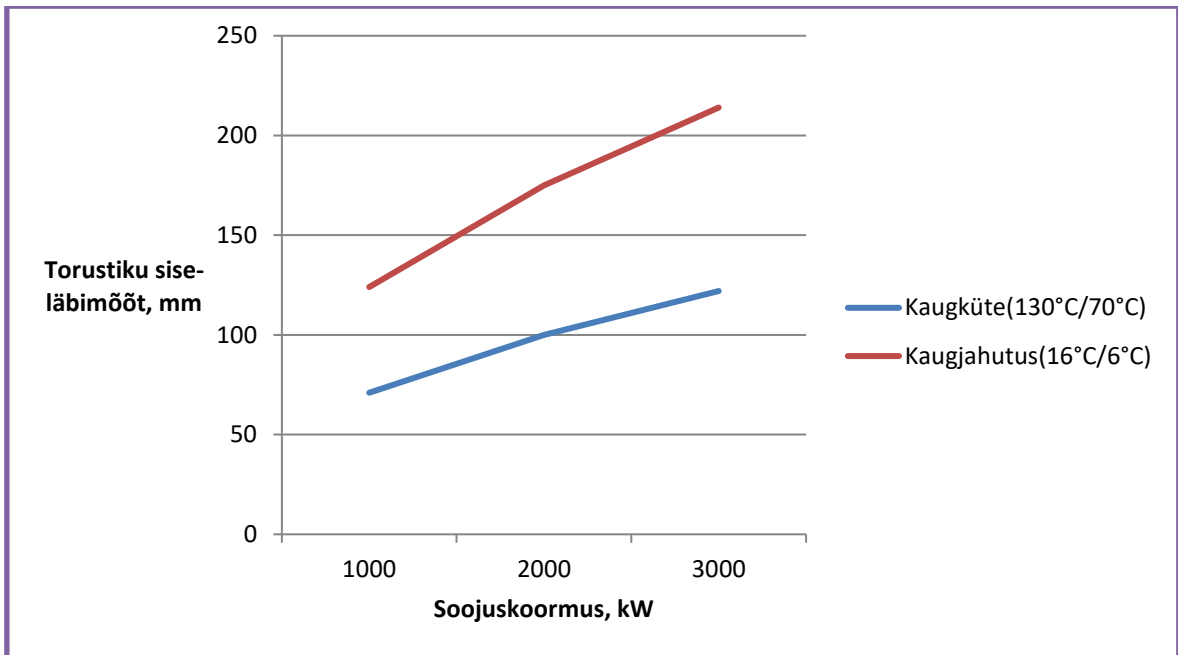
**Kõrgem kasutegur.** Suurem tsentraalne kaugjahutusjaam võib saavutada kõrgemaid termilisi ja saaste kasutegureid kui suudavad saavutada mitu väiksemat seadet. Kui tuleb täita rangeid keskkonnavalaseid nõudeid saastele, veekulule jne, siis suurte jaamade juhtimissüsteemid on ka ökonoomsemad. Tavaliselt tööstuslikud juhtimissüsteemid tagavad kõrgemat reguleerimise ja järelvalve efektiivsust, võrreldes tavakasutajatele pakutud kohtjahutussüsteemide puhul. Selle tulemusel kaugjahutusjaama operaatorid saavad optimeerida süsteemi jõudlust ja efektiivsust, mille tulemusel kulud vähenevad [15].

## 2.2 Kaugjahutuses ja kaugküttes kasutatud temperatuurid

Järgnevates alapeatükkides on toodud kaugjahutustorustike ja kaugküttetorustike võrdlus nende erinevusest, mis tuleneb soojuskandja temperatuurist. Võrdlus võiks aidata praegusel kaugküttetorustike võrguvaldajal võtta vastu otsust hakata pakkuma ka kaugjahutust ja teada, millega tuleb arvestada. Kaugjahutustorustiku võrkudes kasutatakse väiksema temperatuuride vahega temperatuurirežiimi kui kaugküttetorustiku võrkudes, näiteks kaugjahutuses 16 °C ja 6 °C ning kaugküttes Tallinnas 130 °C ja 70 °C [6].

Esiteks, vastavalt arvutustele, tänu suuremale temperatuuride erinevusele, kaugküttetorustiku parameetritega torustik suudab väiksema läbimõõduga toruga anda läbi suuremat soojuskoormust. Temperatuuride erinevuse mõju arvutuse tulemused on toodud joonisel 2.2.1. Arvutustes on lähtutud, et kaugküttetorustike puhul vedeliku kiirus ei tohi ületada 1 m/s, kus kirjandus soovib kaugküttetorustike korral kasutada antud maksimaalset vedeliku kiirust [31]. Kaugjahutustorustike puhul on maksimaalseks vedeliku kiiruseks valitud 2 m/s, mis on valitud vastavalt kirjanduse soovitusel [30].

Joonisest nähtub, et kaugjahutuse arendamine on kulukam kui kaugküttes arendamine sama soojuskoormuse juures, osas, mis puudutab vajadust kasutada suurema läbimõõduga torustikku.

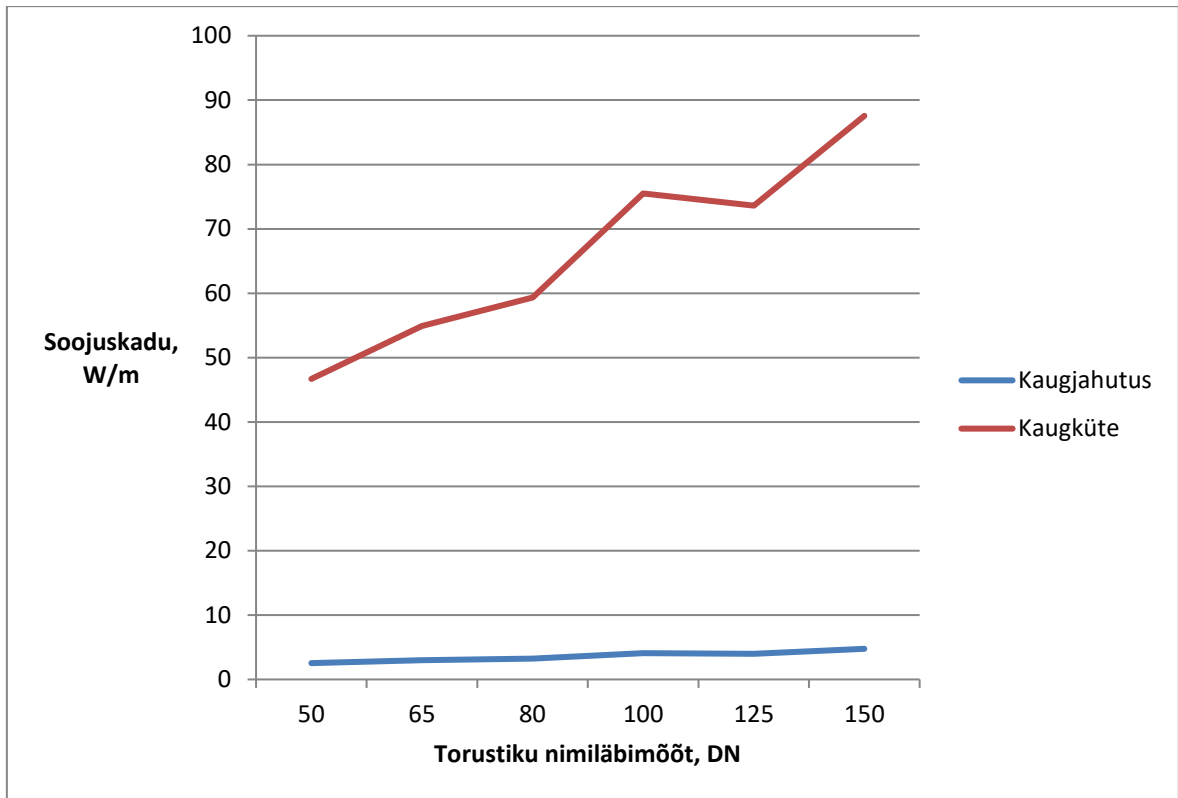


Joonis 2.2.1 Kaugkütte- ja kaugjahutustorustike läbimõõdu sõltuvus soojuskoormusest ja temperatuuride vahest.

Teiseks, tulenevalt kaugküttetorustike mitu korda kõrgemast temperatuurist, on vaja kasutada torustikel paksemat isolatsiooni kui kaugjahutusel, et energiakadusid vältida.

Eestis kasutatakse peamiselt kaugküttetorustikel 3 või/2 klassi paksusega eelisoleeritud torustikke, pealevoolutorustikule tavaliselt suurem isolatsiooni paksus. Suuremate läbimõõtudega kaugküttetorustike korral kasutatakse 1 ja 0 isolatsiooni klassiga eelisoleeritud torustikke[6].

Samas, kaugjahutuses kasutatakse 1 või 0 isolatsiooni klassiga eelisoleeritud torustikke[2]. Väiksema isolatsiooni klassiga torustikke kasutatakse kaugjahutuses, sest soojuskaod pole nii suured, võrreldes kaugküttetorustikega. Allpool on võrdluseks joonisel 2.2.2 esitatud kaugkütte ja -jahutuse torustike soojuskaod jooksva meetri kohta sõltuvalt läbimõõdust. Arvutustes on võrdluse eesmärgil kasutatud mõlemal variandil nii peale- kui tagasivoolu torustikel 0 klassi isolatsiooni klassiga eelisoleeritud torustikke, sügavusel toru peale 1,2 m, torustike vahel puhasvahe 0,15 m, temperatuurigraafik kaugküttele 130 °C/70 °C ning kaugjahutusel 6 °C/16 °C ja pinnase temperatuur 8 °C.



Joonis 2.2.2 Kaugkütte- ja kaugjähutustorustike soojuskadude võrdlus.

Kolmandaks, kuna kaugjähutustorustikel on palju väiksem temperatuuride erinevus soojuskandja ja keskkonna temperatuuride vahel, võrreldes kaugküttetorustikega, siis torustiku nurkades esinevat pikenemist ei ole vaja arvestada terasest torustike korral. Samas, plastikust torustike korral on ka kaugjähutustorustikes vaja arvestada termilist pikenemist, sest pikenemised on mitu korda suuremad võrreldes terasega ja kui ei kompenseerita neid piisavalt, siis torustikud deformeeruvad ja hakkavad rikked toimuma.

Terasest kaugjähutustorustike korral pinnasest tulenev mõju kompenseerib temperatuuride erinevusest tuleneva väikese pikenemise ära. Kaugküttetorustikel kindlasti tuleb arvestada pikenemistega, et vältida kaugküttetorustike deformeerumist.

Kaugjähutustorustike korral probleemid seoses torustike pikenemiste/kokkutõmbumiste ja termiliselt tekkinud pingetest on väiksemad, kui kaugküttetorustike korral, sest kaugjähutusvee temperatuuride erinevus keskkonna temperatuurist on väiksem ja temperatuuride kõikumised on tavaliselt väiksemad[2].

Torustiku pikenemine põlve juures, mis arvestab pinnasest tulenevate mõjudega, saab arvestada järgmise valemiga [16]:

$$\Delta L_x = L_x * \alpha * \Delta T - \frac{F * L_x^2}{2 * d_{sise} * E'} \quad (2.2.1)$$

kus  $L_x$  - Torustiku lõigu pikkus, m

$\alpha$  - materjali pikenemise koefitsent,  $\text{mm/m}^\circ\text{C} \approx 10^{-3} * (\text{m/m}^\circ\text{C})$

$\Delta T$  - vedeliku temperatuuri erinevus,  $^\circ\text{C}$

$F$  - pinnase hõõrdejõud, N

$d_{sise}$  - toru siseläbimõõt, m

$E$  - pinnase elastsusmoodul

## 2.3 Kaugjahutuse turg

Jahutuse turg on järjest kasvamas ning kaugjahutuse süsteemid on paljudes kohtades sobivaks lahenduseks. Põhjuseks sellisele situatsioonile on üha kasvav kodu- ja kontorielektronika kasutamine ning samuti ka globaalse temperatuuri tõus. Tänapäevasel jahutusturul on siiski teatud probleemid, milledeks on: tavapärased jahutuslahendused baseeruvad valdavalt statsionaarsetel elektrilistel jahutitel; suured tarbitavad primaarenergia kogused ja kasvuhoonegaaside heitkogused; tavapärased lokaalsed jahutuslahendused tingivad oluliselt elektri tipukoormuse; tavapärast lokaalsete jahutuslahenduste mõju on "peidetud" elektriarvetesse. Kaugjahutus on üks lahendustest, mis võib olla lahendusteks toodud probleemidele. Jahutust kui sellist kasutatakse peamiselt kontori- ja ettevõtteruumides, kuid samuti ka erinevates tööstusprotsessides. Nõudlus jahutuse vastu on oluliselt kasvanud.

Seni kasutatakse külma juhtimiseks paljuski freoone (CFC ja HCFC), mis on tugevad kasvuhoonegaasid, mis lekkimisel tekitavad kahju ning mille alternatiiviks on kaugjahutus[24].

Globaalne jahutuse turg sisaldab erinevaid valdkondi, mis vajavad jahutust:

- Kohtjahutus: Vajalik mugava sisekliima loomiseks inimestele hoonetes, autodes, bussides, rongides, lennukites, kaevandustes jne (kutsutakse ka kui õhu konditsioneerimine)
- Toiduainete tarneahel: On mõeldud toidu kvaliteedi säilitamiseks alustades allikast kuni lõpptarbijani. Sellega tegelevad tootmised, poed, transport, külmikud ja jahutid.
- Tööstuslikud protsessid: Turvalisuse tagamiseks arvutikeskustes, pruulikodades, piimakombinaatides, veinitöökodades jne[2].
- Teised spetsiaalsed kasutusalaad: pinnase külmutamine tsiviilehituses, jää tekitamine jäähallides, LNG transportimise tarbeks vedela metaani saamine, krüogeensed kasutusalaad, jne[2].

Kaugjahutust kasutatakse tavaliselt, et täita kohtjahutuse vajadusi hoonetes, eemaldades soojust. Kaugjahutust peamiselt kasutatakse kesklinnades või kaubanduspiirkondades ning tagab teenust peaaegu eranditult teenindava sektori hoonetele.

Ameerika kaubandushoonete seas, kaugjahutusel on turuosa 4% aastal 2003. Vastav number kõikidele EU15 hoonetele oli peaaegu 2% aastal 2000[2].

Rootsis teenindava sektori kaugjahutuse turuosa oli 8% aastal 2006, andes suhteliselt kõrge turuosa peaaegu 60% kogu jahutuse vajadusest. Pariisis Climespace kaugjahutuse firma annab jahutust 5 miljonit m<sup>2</sup>, varustades 8% turuosa, samas linnas on 6 miljonit m<sup>2</sup> teenindava sektori hooneid. Vastava turuosa on Stockholmis 25%. Tüüpilised lineaarsed jahutuskoormuse tihedused on vahemikus  $13 \cdot 10^9 \text{ J/m} \approx 13 \text{ GJ/m}$  kuni  $47 \cdot 10^9 \text{ J/m} \approx 47 \text{ GJ/m}$ , mida loetakse kui kõrge jahutusvajadusega piirkondadeks. Rahvuslikud keskmised on  $25 \cdot 10^9 \text{ J/m} \approx 25 \text{ GJ/m}$  Prantsusmaa,  $13 \cdot 10^9 \text{ J/m} \approx 13 \text{ GJ/m}$  Saksamaa ja  $8 \cdot 10^9 \text{ J/m} \approx 8 \text{ GJ/m}$  Rootsi, näidates, et Rootsi kaugjahutusvõrk teenindab väikese külmavajadusega piirkonda[2].

## 2.4 Kaugjahutuses kasutatud torustiku materjali ja tüübi võrdlus

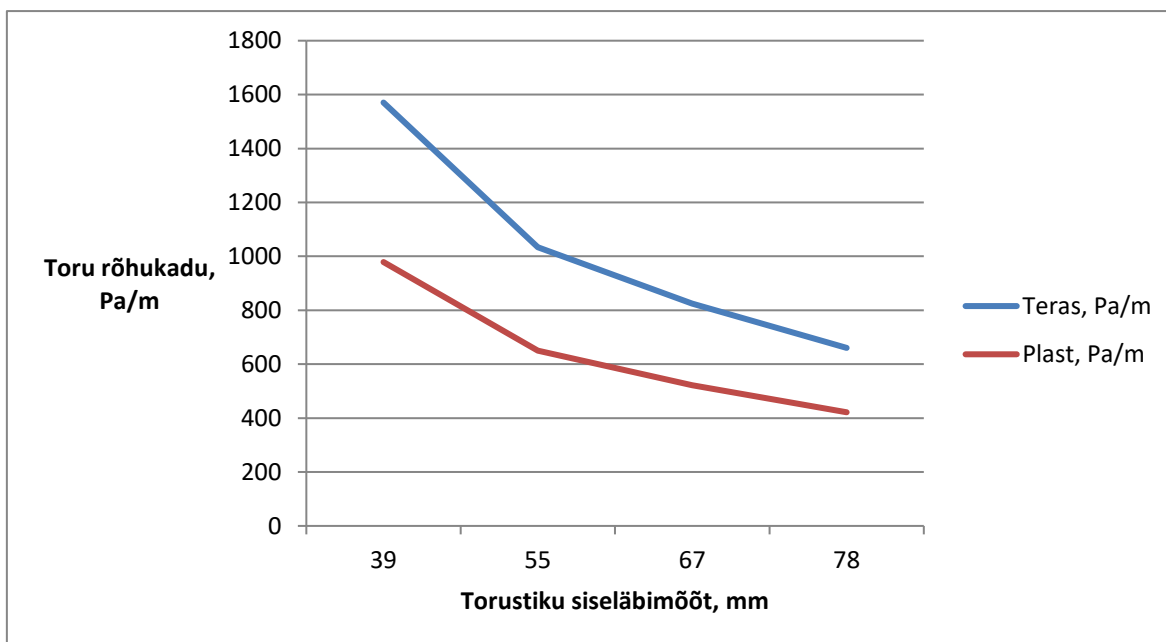
Järgnevalt esitan kaugjahutuses kasutatud erinevate torumaterjalide ja tüüpide võrdluse. Täpsemalt on toodud erinevate torustiku tüüpide ja materjalide positiivsed ja negatiivsed küljed järgnevatel alapeatükkides ja antud teema viimases alapeatükis on esitatud autori arvamus.

Kõige tavalisem torustiku tüüp, mida maa-alustes kaugjahutusvõrkudes kasutatakse on eelisoleeritud torustikud, kuigi ka ilma isolatsioonita tavalisi torustikke laialdaselt kasutatakse külmemates kliimades, kus pinnase temperatuurid on piisavalt madalad, et vältida liigset temperatuuri tõusu [15].

Kaugjahutusvõrkude torustikes külmakandja on peaaegu eranditult rõhuall olev jahutatud vesi. On olemas palju erinevaid kaugjahutustorustiku tüüpe, mõned isolatsiooniga ja mõned ilma. Tavaliselt kaugjahutustorustike disain baseerub teiste torustike tüüpide peal, nagu kaugküttetorustikud, maagaasi torustikud või joogivee torustikud [2].

Plasttorude kasuks räägib hüdrauliliselt vaatepunktist asjaolu, et ekvivalentseks kareduseks loetakse 0,00 m [3]. Samas, terasest uutele torustikele soovitatakse ekvivalentseks kareduseks  $2 \cdot 10^{-4} \text{ m} \approx 0,2 \text{ mm}$  [7].

Allpool on esitatud joonis 2.4.1 plasttorustiku olematust karedusest tulenev eelis rõhukaole terastorustike ees. Tabel on koostatud eeldusest, et vee kiirus torustikus on täpselt 2 m/s. Kuna plasttorustike hõrdetegur on terastorustikest väiksem, siis selle tulemusel on rõhukadu meetri kohta väiksem ja saab kasutada väiksema siseläbimõõduga torustikke, mis on rahaline sääst.



Joonis 2.4.1 Terastorustike ja plasttorustike karedusest tulenev mõju rõhukaole.

Samas, polüetüleenil on pikenemise koefitsent üle 10 korra suurem. Teras pikenemise koefitsent on  $1,2 \cdot 10^{-5} \text{ m/m}^\circ\text{C} \approx 0,012 \text{ mm/m}^\circ\text{C}$  ja polüetüleenil pikenemise koefitsent on  $1,8 \cdot 10^{-4} \text{ m/m}^\circ\text{C} \approx 0,18 \text{ mm/m}^\circ\text{C}$  [23].

Torustiku vaba pikenemine arvutatakse, mis ei arvesta pinnasest tulenevat mõju, valemiga:

$$\Delta L = L_x * \alpha * \Delta T, \quad (1.2.5)$$

kus  $L_x$  - Torustiku lõigu pikkus, m

$\alpha$  - materjali pikenemise koefitsent,  $\text{mm/m}^\circ\text{C} \approx 10^{-3} * (\text{m/m}^\circ\text{C})$

$\Delta T$  - vedeliku temperatuuri erinevus,  $^\circ\text{C}$

Arvestades, et temperatuuride erinevus on  $11 \text{ }^\circ\text{C}$  (tagasivoolu temperatuur  $16^\circ\text{C}$  ja paigaldustemperatuur  $5^\circ\text{C}$ ), torustiku lõigu pikkus 100 m, siis saame, et vabades tingimustes terasest torustik pikeneb  $13,2 \cdot 10^{-3} \text{ m} \approx 13,2 \text{ mm}$  ja polüetüleenist torustik pikeneb  $198 \cdot 10^{-3} \text{ m} \approx 198 \text{ mm}$ .

Sellega selgub, et kui kasutada plasttorusikke kaugjahutussüsteemides, siis tuleb ette näha rohkem paisumispatju ja pikemad õlad, mis need pikenemised vastu võtavad või kui torustiku õla pikkust pikendada ei saa, siis kompensatoreid, mis kõik on lisakulu materjalile, paigaldamisele ja mõjub negatiivselt hüdraulikale.

Mittemetallsetel torustiku materjalidel on tavaliselt palju suuremad torustiku pikenemised/lühenemised kui metallidel, samas kui pikenemisi kompenseerida, siis tekkivad jõud on väiksemad. Pikenemisi tuleb eriliselt jälgida eelisooleeritud torustike puhul, et mitte vigastada isolatsiooni ja seda kaitsvat välistoru [15].

Otsust, kas isoleerida kaugjahutustorustikke või mitte, mõjutavad peamiselt kolm asjaolu:

- Eesti tingimustes, pealevoolu toru soojenemisest tekkiv soojuskadu. Soojuskaost tulenev energiakadu ja majanduslik analüüs.
- Kuna kaugjahutustorustikud on pinnasest soojust juurde saanud, siis kaugjahutusjaamast täiendav energiakulu, mis kulub täiendavale jahutamisele [15].
- Teised võimalikud mõjud, mis tulenevad kui võrguvaldaja ei suuda tänu pinnasest soojendatud torustikule tagada lepingutes ette nähtud temperatuuriga vett ja selle mõju tarbija tehnikale [15].

## 2.4.1 Eelisooleeritud torustikud

Eelisooleeritud seotud torustikusüsteemid koosnevad maa-aluste kaugkütte- või jahutusvõrkude jaoks tööstuslikult eelisooleeritud torudest ja torustikuelementidest. Need on valmistatud terastorust, jäigast polüuretaanvahtmaterjalist soojusisolatsioonikihist ja polüetüleen-ümbristorust.

Eelisooleeritud seotud torustikusüsteemide elemente toodetakse tööstuslikult ja neist monteeritakse ehitusobjektile kokku funktsioneeriv terviksüsteem. Põhimõtteliselt peaks eeltöötuse aste olema võimalikult kõrge, sest ehitusobjektile - tihti ebasoodsates tingimustes - ei ole enamasti võimalik saavutada tööstusliku tootmisega võrdset kvaliteeti. Eristada võib järgmisi tähtsamaid eelisooleeritud torude rühmi [20]:

Jäigad eelisooleeritud torud - Töötoru (terastoru) seob ümbristoruga neist mõlemaga tugevasti nakkunud jäigast polüuretaanvahust soojusisolatsioonimaterjal. Sirged eelisooleeritud torud ja enamasti vajalikke süsteemi elemente nagu nurga-, hargnemis- ning üleminekuelemendid leiavad käsitlemist tootestandardites EN 253, 448 ja 488. Toruliidete kohta kehtib lisaks standard EN 489.

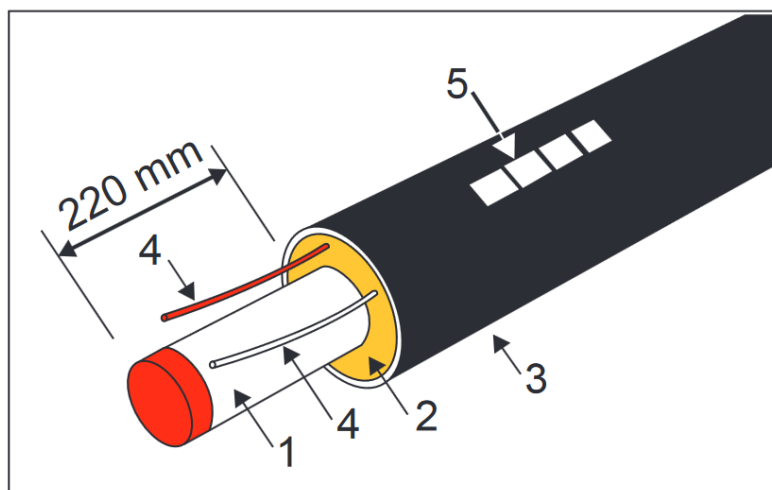


Eelisoleeritud torud võivad olla tehases varustatud järelevalve- ja lekkeavastussüsteemi signaaljuhtmetega. Elastsed torusüsteemid - Jaotustorustiku ja majaühenduste jaoks pakutakse elastseid torusüsteeme, mida enamasti tarnitakse poolidel või torurullides ja mis kujutavad endast alternatiivi eelisoleeritud seotud torusüsteemile. Elastsete torusüsteemidega on võimalik takistustest võrdlemisi lihtsalt mööduda. Üks olulisi eeliseid on ehituse tegevus- ja ajakulude vähendamine muu hulgas ka väiksema arvu toruliidete tõttu [20].

Töötoru materjalidena kasutatakse nii plastikut kui ka vaske ja terast. Arvestada tuleb süsteemi spetsiifilisi piirväärtusi (rõhk, temperatuur, nimiläbimõõt). Muud polüetüleenist ümbristoruga torusüsteemid - Turul pakutakse ka kahetorusüsteeme, süsteeme omavahel seotud ja sidumata töötoru ja ümbristoruga ningi muude isolatsioonimaterjalidega torusüsteeme [20].

Peamine erinevus kaugjahutustorustike ja kaugküttetorustike eelisoleeritud torustike vahel on see, et kaugjahutuses kasutatakse väiksema paksusega isolatsiooni, sest soojuskaod ja soojuskandja ning keskkonna temperatuuride erinevused ei ole nii suured.

Hetkel on kasutuses eelisoleeritud torustikele isolatsiooniklassid 3, 2, 1 ja 0, mis vastavalt tähendavad, et 3 klassi eelisoleeritud torustikel on kõige paksem isolatsioon ja 0 klassi torustikel kõige väiksem. Kaugjahutustorustike korral kasutatakse isolatsiooniklassi 0. Kaugküttetorustikel kasutatakse 0 isolatsiooniklassi suurte läbimõõtude korral ja juhtudel, kus selle kasutamine on tehniliselt hädavajalik.



Joonis 2.4.1.1 Logstori terases eelisoleeritud torustik. 1 - terasest töötoru, 2 - polüuretaan isolatsioon(PUR), 3 - polüetüleen või HDPE ümbristoru, 4 - kaks 1,5 mm<sup>2</sup> vaskjuhet lekkeavastus-süsteemi jaoks, kus üks juhe on tinatatud, 5 - torustiku identifitseerimise silt [21].

Tänapäeval on peamiselt kasutuses 4 erinevat eelisoleeritud torustiku klassi:

- 0 klass. Kasutatakse peamiselt kaugjahutuses. Ei ole soovituslik kasutada kaugküttetorustike puhul seoses suurte soojuskadudega, kui just tehniliselt pole hädavajalik.
- 1 klass. 1 klassi eelisoleeritud torustikud on kasutatud üldistel ehitustöödel, kus ei ole ranged nõudmised või tingimused, näiteks ekstreemsed välistingimused, kõrged energia hinnad jne [21].
- 2 klass. Paksema isolatsiooni paksusega eelisoleeritud torustikku, 2 klass, kasutatakse olukordades, kus on erilised temperatuuri tingimused nagu näiteks pidevalt madal keskkonna temperatuur, pidevalt kõrge töövedeliku temperatuur, vajalik aeglane jahtumine süsteemi välja lülitamise korral, kõrged soojuse tootmiskulud [21].
- 3 klass. Veel paksema isolatsiooni paksusega eelisoleeritud torustikku, 3 klass, kasutatakse olukordades, kus on erilised temperatuuri tingimused nagu näiteks pidevalt madal keskkonna temperatuur, pidevalt kõrge töövedeliku temperatuur, vajalik aeglane jahtumine süsteemi välja lülitamise korral, kõrged soojuse tootmiskulud [21].

Peamisteks eelisoleeritud torustike kasutamise eelisteks on parem soojusisolatsioon; lekkeavastussüsteemid, mida kasutatakse, et isolatsiooni seisundit mõõta ja lekkeid avastada; pikk eluiga; vastupidavad torustike ühendamisviisid kasutades tehases toodetud muhve.

Peamised eelisoleeritud torustike kasutamise miinused on kõrge hind; suurem ruumivajadus maa all; keerulisem ning aega nõudvam ühendamine võrreldes tavaliste ilma isolatsioonita torustikega, sest eelisoleeritud torustike korral tuleb lisaks keevitamisele täiendavalt näiteks muhvide käsitlemisega ja ühendamisega tegeleda.

Enamasti isolatsiooni klassi valiku aluseks on majanduslik arvutus, mis arvestab investeeringu maksumust ja soojuskadusid.

Eelisoleeritud torustik on palju kallim kui ilma isolatsioonita torustik tänu selle tootmisprotsessile aga neid on paljudel juhtudel palju kallim ka paigaldada. Kõrgem maksumus tuleneb selle vajaduses hoida ehitusprotsessi ajal isolatsioon kuivana, et tagada selle omadused ja ka tagada ümbristoru terviklikkus, mis kaitseb isolatsiooni keskkonna mõjude eest ühenduskohtades [15].

## 2.4.2 Teras

Eelised: Kõrge tugevus ja hea elastsus; saab kokku keevitada, et saavutada kõrge vastupidavusega liiteid, millele saab teostada kvaliteedikontrolli; laialt kättesaadav erinevates läbimõõtudes; enamus ehitajatele tuttav materjal [15].

Puudused: Suhteliselt kõrge hind; kergesti tekib korrosioon ja vajab korrosioonikaitset; vajab kõrgete oskustega tööjõudu, et teostada keevitustöid; aeglasem paigaldusperiood, eriti suurte läbimõõtude korral [15].

Ilma isolatsioonita terasest kaugjahutustorustikud tavaliselt varustatakse erinevat tüüpi kaitsekihtidega, nagu polümeerikiht. Kuna kaitsekihti ei saa alati usaldada, et see tagab tiheduse, kuna seda võidi näiteks vigastada transpordi käigus, siis tavaliselt lisatakse katoodkaitse, et vältida korrosiooni torustiku välispinnal [2].

Nagu vesi, mida kasutatakse kaugküttetorustike võrkudes, kaugjahutustorustikes kasutatav jahutatud vedelik vajab ka keemilist töötlust, et vältida korrosiooni torustiku sees ja setteid.

Mõnikord lisatakse kiudtsement-mõrti torustiku väliskihile, et tagada suuremat väliskaitset mehaaniliste toimete eest, mille tulemusel torustik sobib hästi kinnisel meetodil paigalduseks [2].

Külmtõmbamismeetodil valmistatud terastorud on pehmed, õmblusteta, täppisterastorud, mis vastavad DIN 17175/2448, RST 35.8/I nõuetele ja mida iseloomustab maksimaalne seinapaksus. Lubatud kõrvalekalle DIN 2391 kohaselt, EN 10204/3.1B sertifikaat. Töösurve: max 2500000 Pa ≈ 25 baari [19].

Suuremate läbimõõtude puhul võivad eriti terasliitmikele ka alla 1600000 Pa ≈ 16 bar suuruse juures olla vajalikud suuremad toruseina paksused võrreldes standardis EN 253 [20].

## 2.4.3 Vask

Eelised: Hea elastsus, võib kasutada vase jootmist, et saavutada hea vastupidavusega liide; korrosioonile vastupidav, aga võib vajada korrosioonikaitset; tuttav materjal enamusele ehitajatele [15].

Puudused: Kallis; saadav ja praktiline väikeste läbimõõtude korral, kuni 0,15 m ≈ 150mm [15].

Torud ühendatakse omavahel kapillaarjootmise teel (kasutatakse kas otsast laiendatud või kõvajoodisliitmikke) või pressühendusega. Maksimaalne töösurve 2500000 Pa ≈ 25 baari [19].

## 2.4.4 Kõrgtugev malm(Ductile Iron)

Eelised: Piisav tugevus ja elastsus; saadaval suurustest alates 0,1 m ≈ 100mm kuni 1,6 m ≈ 1600mm; tuttav materjal enamusele ehitajatele; kiire paigaldus [15].

Puudused: Suur mass; kergesti tekib korrosioon ja vajab korrosioonikaitset; saab ühendada ainult kasutades mehaanilisi liiteid; liitmikud on kallid; lekked [15].

Kõrgtugev malm on torustiku tüüp, mida kasutatakse laialdaselt joogivee transportimiseks ja kaugjahutustorustikena olukordades, kus see torustiku tüüp pakub kiiret paigaldust. Antud torustiku nõrkuseks lekked tänu võimalikele paigaldamise vigadele, kuigi tänu traditsioonilistele liidete teostamise meetoditele on võimalik kiiret paigaldust teostada. Olemas on ka alternatiivsed liidete teostamise meetodeid aga need on kallid [2].

Malmtorustike kasutamise korral on tavaline lisada mördi kiht, et sisepind oleks siledam ja pakub korrosiooni eest kaitset. Malmtorustikud on vastupidavad korrosioonile võrreldes süsinikterasega, kuid mitte immuunsed, võrreldes polüetüleentorustikega [2].

## 2.4.5 Tsementeeritud torustikud

Eelised: Piisav tugevus; saadaval kõikides suurustes; tuttav materjal enamusele ehitajatele [15].

Puudused: Suur mass; halb elastsus; saab ühendada ainult kasutades mehaanilisi liiteid; keeruline hiljem harutorustikke lisada; väikene lubatud maksimaalne rõhk ja vee kiirus; lekked [15].

## 2.4.6 Fiiberklaasist torustikud

Eelised: Väike mass ja suur tugevus, saadaval kõikides suurustes [15].

Puudused: Halb elastsus; Saab ühendusi teha ainult mehaaniliselt; keeruline hiljem harutorustikke lisada; tundmatu materjal enamusele ehitajatele; raskendatud lekete otsimine [15].

## 2.4.7 Polüvinüülkloriid ehk PVC torustikud

Eelised: Väike mass; madal hind; saadaval suurustes kuni 1,2 m ≈ 1200mm [15].

Puudused: Väike tugevus ja halb elastsus; kaotab tugevust ruttu suurtel temperatuuridel ja muutub hapraks madalatel temperatuuridel; saab teha ainult mehaanilisi liiteid; keeruline hiljem harutorustikke lisada; hüdrauliline löök purustab torustiku; sobib madalatel kiirustel [15].

PVC survetorustik on mõeldud maa-aluse joogivee-, olmevee- ja survekanalisatsiooni juhtimiseks. PVC-U survetorud on kõikides pinnasetingimustesvastupidavad ning ei vaja korrosioonikaitset. Mõõtude vahemik: 0,063 m ≈ 63 mm kuni 0,4 m ≈ 400 mm. Maksimaalne töösurve 1600000 Pa ≈ 16 bar, eritellimuse korral [22].

## 2.4.8 Polüetüleen ja kõrge tihedusega polüetüleen torustikud (PE ja HDPE torustikud)

Eelised: Väike mass; väga elastne; saab kasutada elekterkeevitust plastiku sulatamiseks, et saavutada suure vastupidavusega liited; suurused saadaval kuni 1,6 m ≈ 1600mm; lekete vaba ja täielik sulgemine [15].

Puudused: Väiksem tugevus võrreldes terasest ja fiiberklaasist toruga, mille tulemusel suureneb seinapaksus ja maksumus; täienev seinapaksus vähendab siseläbimõõtu, mille tulemusel on suuremad rõhukaod ja võib vajada suuremat läbimõõtu, et saada sama vee kiirus [15]; suurte läbimõõtudega polüetüleenist torustiku jaoks ette nähtud elekterkeevituse masinaid võib raske kätte saada olla; torude maksumus kõigub sõltudes nafta hinnast [15].

Ilma isolatsioonita torustiku tüüp, mida on kerge ühendada, on lihtne polüetüleenist jahutustorustik, mis on sama tüüpi, mida kasutatakse joogiveetorustikes ja gaasitorustikes. Võrreldes tavalise ilma isolatsioonita terasest torustikuga, polüetüleen (sh ka HDPE) torustikud on immuunsed korrosioonile ja tänu sellele pole vaja lisada korrosioonikaitse kihte või kasutada katoodkaitset. Suuremate läbimõõtude korral majanduslik sääst ei ole väiksem, kuna torustik peab olema võimeline taluma sisepingeid, siis torustiku seinapaksus ei vähene nagu eelisoleeritud terastorustikel. Klaasfiibriga tugevdatud plastikuga saab kasutada väiksema seinapaksusega torustikke, tänu suuremale jäikusele aga torustik on vähem plastiline. Võrreldes eelisoleeritud terastorustikega, PEHD torustikud on atraktiivsed variandid lõikudel, kus tuleb torustikud paigaldada kinnisel meetodil, nagu näiteks raudteerööbastega ristumised jms [2].

Polüetüleen (PE) survetorustik on mõeldud maa-aluse joogivee-, olmevee- ja survekanalisatsiooni juhtimiseks. PE materjalist survetorustike eelised: kerge ühendada (keevitav); paindumus (rullis torud); võimalik paigaldada kinnisel meetodil; korrosioonikindlus; lekkekindlus tänu keevisühendustele; pikk kasutusiga (min  $1.5778 \cdot 10^9$  s  $\approx$  50 a); sobivad vanade torustike renoveerimiseks; kiiresti ja väheste kulutustega paigaldatav; torustike paindlikkus - pinnase nihkumisel ei kahjusta süsteemi; head hüdraulilised omadused; kerge kaal; hea keemiline taluvus. Maksimaalne töösurve 1600000 Pa  $\approx$  16 bar [22].

Polüetüleenist torustikel on lihtne ja kiire teha ümberühendamise töid, kasutades torustiku kinni pigistamise sulgurit, nagu gaasitorustikel. Samas, torustiku kinni pigistamise lubatud maksimaalsel ajalisel perioodil on omad piirangud, et vältida torustiku liigset deformeerumist.

## 2.4.9 Kokkuvõtte

Kokkuvõtteks, kaugjahutustorustikena on hea kasutada avatud kaevikuga meetodil paigalduse korral eelisoleeritud terastorustikke tänu terase suuremale mehaanilisele tugevusele, väiksemale soojuslikule pikenemisele, eelisoleeritud torustike isolatsioonist tulenevale väiksemale soojuskaole ja järelevalve- ja lekkeavastussüsteemist tulenevale kindlusele. Kui rahaline sääst on tähtis, siis kasutatada eelisoleeritud toruna ainult pealevoolutoru ja tagasivoolutoru olgu tavaline terastoru.

Samas, tavalisi polüetüleenist torustikke on hea kasutada, kui on vaja kaugjahutustorustikud kinnisel meetodil puurimisega paigaldada seoses kitsaste oludega või muude eritingimustega. Sellist lahendust on kasutatud Tartu linna kaugjahutustorustike projektides, näiteks Vanemuise tänava kaugjahutustorustike projektis [28] ning Vaksali ja Lembitu tänava kaugjahutustorustike projektis [29].

### 3. KAUGJAHUTUSTORUSTIKU TRASSEERINGU VALIK

Algselt on kaardistatud tarbijad ja leitud hinnanguline koormus. Järgmisena on tehtud kaugjahutustorustiku trasseering, leitud Tallinna planeeringute registrist kehtivad detailplaneeringud, geodeetilisi alusplaane ja leitud trassile esialgne asukoht. Lisaks, minu juhendaja Igor Krupenski andis mulle tema enda projekteerimisfirmas käimasolevaid projekte. Lisasin kõik leitud alusplaanid alla ja joonistasin kaugjahutustorustiku trasseeringu kasutades tarkvara AutoCAD 2018 - STUDENT VERSION. Lõputöö lisa 3 on esitatud tehtud trasseeringu skeemi kujul.

Lõplik trasseering peab selguma kaugjahutustorustike eel- või tööprojekti teostamisel, kooskõlastades kaugjahutustorustiku trassijoont teiste võrguvaldajatega ja Tallinna linnas asjassepuutuvate ametkondadega.

See on esimene töö Eestis, mille raames teostatakse reaalne projektlahendus kaugjahutusevõrgu arendamiseks nii suures mahus. Töö on aluseks järgmiste etappide tarbeks kaugjahutusevõrgu arendamiseks Tallinna kesklinnas, mis omab väga suurt potentsiaali tänu paljudele üksteise lähedal asuvatele tarbijatele ja võimalustele vabajahutuse tehnoloogia kasutamiseks.

Tuleb teha koostööd Tallinna linna ametitega, broneerides koridori kaugjahutustorustike jaoks, et teised projekteerijad arvestaksid sellega detailplaneeringute ja ehitusprojektide koostamisel. Tuleb teadvustada kaugjahutuse tehnoloogiast potentsiaalseid tarbijaid, arendajaid, arhitekte ja projekteerijaid, sest tänapäeval kaugjahutus on Eestis võõras valdkond.

Allpool on toodud lisaks trassijoone valikule ka lõputöö teostamise hetkel teadaolevad Tallinna Kommunaalameti plaanid projekteeritud kaugjahutustorustikke läbivaid tänavaid rekonstrueerida. Soovituslik on lähiajal rekonstrueeritavate tänavate ehitustööde käigus paigaldada ka kaugjahutustorustikud või hülsid, sest Tallinna Kommunaalametil on üks nõuetest, et peale uue teekatte paigaldust ei tohi vähemalt järgmise 5 aasta jooksul antud teed lahti kaevata. Teine võimalus on kaugjahutustorustikud kinnisel meetodil puurimisega paigaldada aga selle võimalikkuse hindamiseks tuleb projekteerijal teostada kaugjahutustorustiku pikiprofiilid ja peab ka koht olema suurtele puurimisseadmetele ja nende kaevikutele.

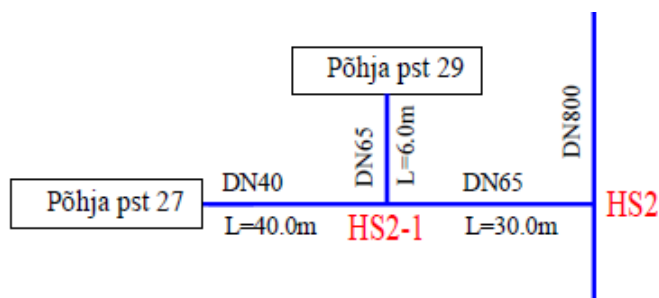
### 3.1. Torustiku läbimõõdud kinnistute ja lõikude kaupa

Järgnevas peatükis tuleb projekteeritud kaugjahutustorustike läbimõõtude kirjeldus kinnistute ja skeemijärgsete tähistuste järgi. Kaugjahutustorustike üldine skeem on toodud lisas 3. Olukordades, kus kaugjahutustrassi harutorustikul on rohkem kui üks tarbija, siis teksti on lisatud skeemide põhimõttelised joonised.

Kaugjahutustorustiku trass algab Tallinna Linnahalli planeeritavast kaugjahutusjaamast, aadressilt Sadama tn 1. Planeeritud on alustada DN800 torustikuga, mis läheb paralleelselt Kursi tänavaga. Rumbi tänava ja Kursi tänava ristumise ette on tähisega HS1 planeeritud hargnemissõlm DN800/DN65, kust hargnemine on ette nähtud Rumbi tn 4 hoone tarbeks torustiku läbimõõduga DN65.

Peale Rumbi tänava harutorustikku on edasi projekteeritud torustik DN800. Kuni Põhja pst ja Kursi tänava ristumiseni, enne sõiduteed, peale mida on projekteeritud hargnemissõlm tähisega HS2 kinnistute Põhja pst 27 ja Põhja pst 29 suunas. Põhja pst 29 ja 27 ühine torustik on läbimõõduga DN65. Põhja pst 27 harutorustik on DN40 ja Põhja post 29 harutorustik on DN65.

Hüdraulilisest vaatepunktist võiks kasutada lõigul ÜK1 kuni HS4 ka torustikku läbimõõduga DN700, sest maksimaalne vee kiirus, arvestades soojuskadusid, lõigul ÜK1 kuni HS1 oli kuni 1,94 m/s aga see on piiripealne vee kiirus ja läbimõõt DN800 on valitud, et tagada perspektiivse edasi arendamise võimalus.



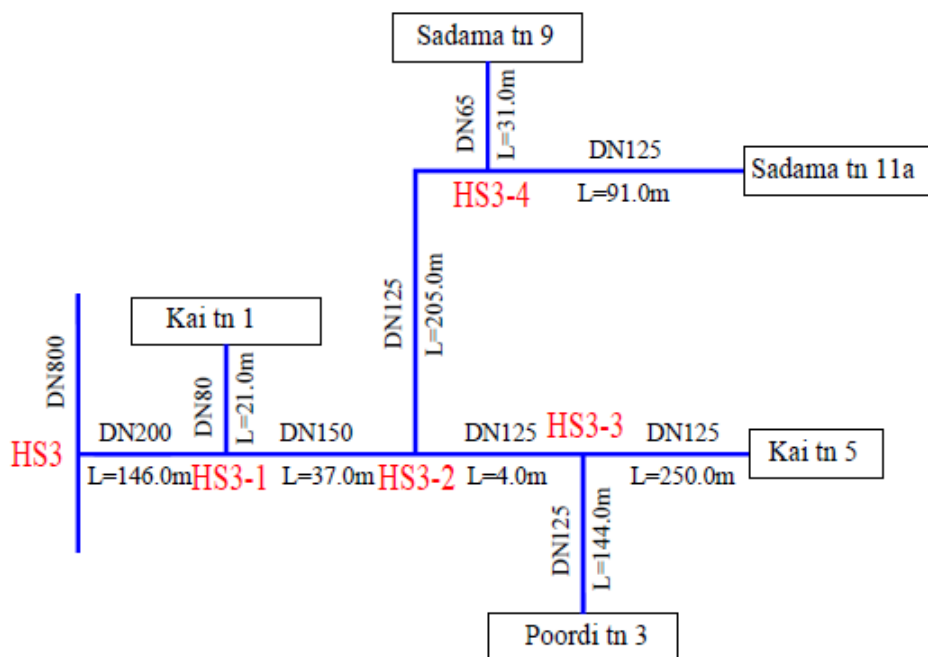
Joonis 3.1.1 Kaugjahutustorustike harutorustiku HS2 skeem.

Peale Põhja pst harutorustikku on edasi projekteeritud torustik DN800 sõidutee ja trammittee alt läbi kuni Rannamäe tee sõiduteeni, mille alla on ette nähtud kaugjahutustorustik paigaldada. Ettepanek on kaugjahutustorustik Rannamäe tee sõidutee alla paigaldada paralleelselt sõiduteega, sest vastavalt geodeetilistele alusplaanidele ja detailplaneeringutele on vastav koridor selleks olemas.

Projekteeritud kaugjahutustorustiku peatorustik DN800 kulgeb kuni Kai tn 1 kinnistuni, peale mida on projekteeritud lõiguga HS3 kuni HS3-1 hargnemissõlm ühise kaugjahutustorustikuga DN200.



Esiüks, harutorustikult esimene haru tähisega HS3-1 on ette nähtud Kai tn 1 kinnistule läbimõõduga DN80. Peale hargnemissõlme HS3-1, on projekteeritud torustiku lõik HS3-1 kuni HS3-2 läbimõõduga DN150. Järgmine haru tähisega HS3-2 on ette nähtud ühiseks Sadama tn 9 ja Sadama tn 11a kinnistute tarbeks, lõik HS3-2 kuni HS3-4, läbimõõduga DN125. Sadama tn 9 harutorustik on DN65 ja Sadama tn 11a harutorustik on DN125. Peale Sadama tn 9 ja 11a harutorustikku HS3-2 tuleb torusitku lõik HS3-2 kuni HS3-3 läbimõõduga DN125. Poordi tn 3 harutorustik on projekteeritud läbimõõduga DN125 ja Kai tn 5 harutorustik DN125.



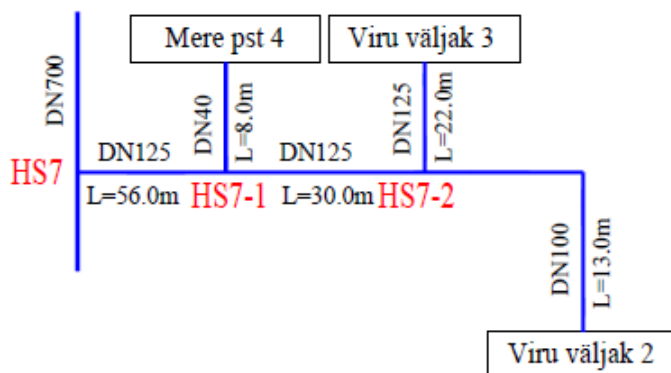
Joonis 3.1.2 Kaugjahutustorustike harutorustiku HS3 skeem.

Peale Kai tn 1 harutorustikku projekteeritud kaugjahutustorustik kulgeb paralleelselt Rannamäe teega edasi. Lõuna poolse Ahtri tänava ja Mere puiestee hargnemisel tuleb peatorustikul suur ringistus läbimõõduga DN700, kus kogu ringil asuv peatorustik on läbimõõduga DN700, punkti tähis HS4. Kaugjahutustorustiku ring lõppeb Rävalla puiestee ja Liivalaia tänava ristmikul, punkti tähisega HS20. Kaugjahutustorustiku trassi viimane tarbija on Liivalaia tn 33 hotell.

Alustades kaugjahutustorustiku ringi kirjeldamisega Mere puiestee poolsest ringi osast, esimene hargnemine on tähisega HS5 Mere pst 5 hoone suunas, läbimõõduga DN80. Järgmisena tuleb hargnemine tähisega HS6 Mere pst 4b suunas, läbimõõduga DN125.

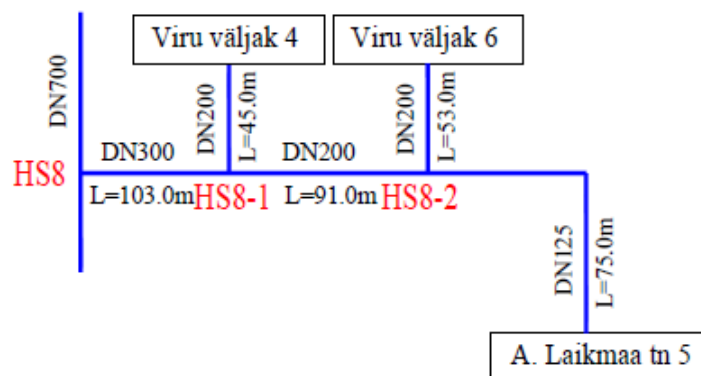
Peale Mere pst 4b hargnemist on peatorustikule projekteeritud ühine hargnemine tähisega HS7 kinnistute Mere pst 4, Viru väljak 2 ja Viru väljak 3 tarbeks, antud kinnistute ühine torustik on valitud DN125, lõik HS7 kuni HS7-1. Mere pst 4 harutorustikuks on valitud DN40 torustik.

Peale Mere pst 4 hargnemist on Viru väljak 2 ja Viru väljak 3 ühine torustik valitud DN125, lõik HS7-1 kuni HS7-2. Viru väljak 3 harutorustik on valitud DN125 ja Viru väljak 2 harutorustik on valitud DN100.



Joonis 3.1.3 Kaugjahutustorustike harutorustiku HS7 skeem.

Järgmisena on tähisega HS8 projekteeritud kinnistute Viru väljak 4, Viru väljak 6 ja A. Laikmaa tn 5 hoonete ühine harutorustik lõik HS8 kuni HS8-1 läbimõõduga DN300. Järgnevalt on Viru väljak 4 kinnistule projekteeritud harutorustik läbimõõduga DN200. Järgmisena Viru väljak 6 ja A. Laikmaa tn 5 ühine torustiku lõik HS8-1 kuni HS8-2 on projekteeritud läbimõõduga DN200. Kinnistu Viru väljak 6 harutorustik on projekteeritud läbimõõduga DN200 ja kinnistu A. Laikmaa tn 5 harutorustik on projekteeritud läbimõõduga DN125.



Joonis 3.1.4 Kaugjahutustorustike harutorustiku HS8 skeem.

Kaugjahutustorustiku lõik HS7 kuni HS8 läbib Pärnu maanteed, mille rekonstrueerimise projekt on vastavalt lõputöö juhendajalt, härra Igor Krupenskilt, saadud infole hetkel teostamisel. Projekti realiseerimise aeg on hetkel teadmata ja sõltub mitmest asjaolust.

Soovituslik on ette näha ka kaugjahutustorustiku lahendus antud projektiga, et leida teiste projekteerijatega koostöös optimaalne koht kaugjahutustorustiku jaoks ja vältida hilisemaid piiranguid seoses teiste tehnovõrkudega ja teekatete taastamise nõuetega.

Järgmisena on tähisega HS9 projekteeritud kinnistu Estonia pst 4 // G. Otsa tn 9 (Estonia teater) hoone tarbeks harutorustik läbimõõduga DN125. Järgmisena on tähisega HS10 projekteeritud kinnistu Estonia pst 9 // Rävala pst 12 (Solarise kaubanduskeskus) hoone tarbeks harutorustik läbimõõduga DN250.

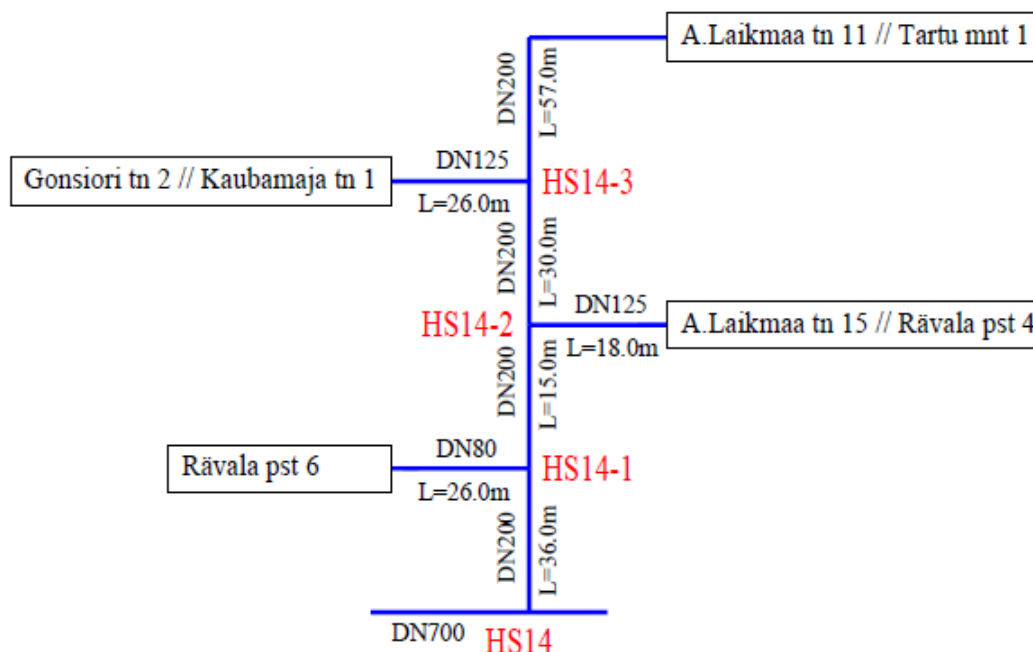
Järgmisena on tähisega HS11 projekteeritud kinnistu Islandi väljak 1 hoone tarbeks harutorustik läbimõõduga DN100.

Järgmisena on tähisega HS12 projekteeritud kinnistu Rävala pst 8 hoone tarbeks harutorustik läbimõõduga DN150.

Projekteeritav kaugjahutustorustik läbib lõigul HS11 kuni HS12 Rävala puisteed, millel on ette nähtud kaugküttetorustike rekonstrueerimine (OÜ Heatconsult, töö nr 17169) 2022 kuni 2023 aastatel, info saadud lõputöö juhendajalt, Igor Krupenski. Soovituslik on kaugjahutustorustikud ka rajada selle projekti mahus, sest vastasel juhul järgmised 5 aastat antud teekatet lõhkuda ei saa või tuleb täita Tallinna Kommunaalameti poolt esitatud rangeid katete taastamise nõudeid.

Järgmisena on peatorustikule tähisega HS13 projekteeritud kinnistu Rävala pst 5 hoone tarbeks harutorustik läbimõõduga DN100.

Järgmisena on peatorustikule tähisega HS14 projekteeritud kinnistute Rävala pst 6, A. Laikmaa tn 15 // Rävala pst 4, Gonsiori tn 2 // Kaubamaja tn 1 ja A. Laikmaa tn 11 // Tartu mnt 1 hoonete tarbeks ühine harutorustik läbimõõduga DN200. Järgmisena on tähisega HS14-1 projekteeritud kinnistu Rävala pst 6 hoone tarbeks harutorustik läbimõõduga DN80. Järgmisena on kaugjahutustorustiku lõik HS14-1 kuni HS14-2 projekteeritud läbimõõduga DN200. Järgmisena on tähisega HS14-2 projekteeritud kinnistu A. Laikmaa tn 15 // Rävala pst 4 hoone tarbeks harutorustik läbimõõduga DN125. Järgmisena on kaugjahutustorustiku lõik HS14-2 kuni HS14-3 projekteeritud läbimõõduga DN200. Järgmisena on tähisega HS14-3 projekteeritud kinnistu Gonsiori tn 2 // Kaubamaja tn 1 hoone tarbeks harutorustik läbimõõduga DN125. Järgnevalt on kinnistu A. Laikmaa tn 11 // Tartu mnt 1 hoone tarbeks harutorustik läbimõõduga DN200.



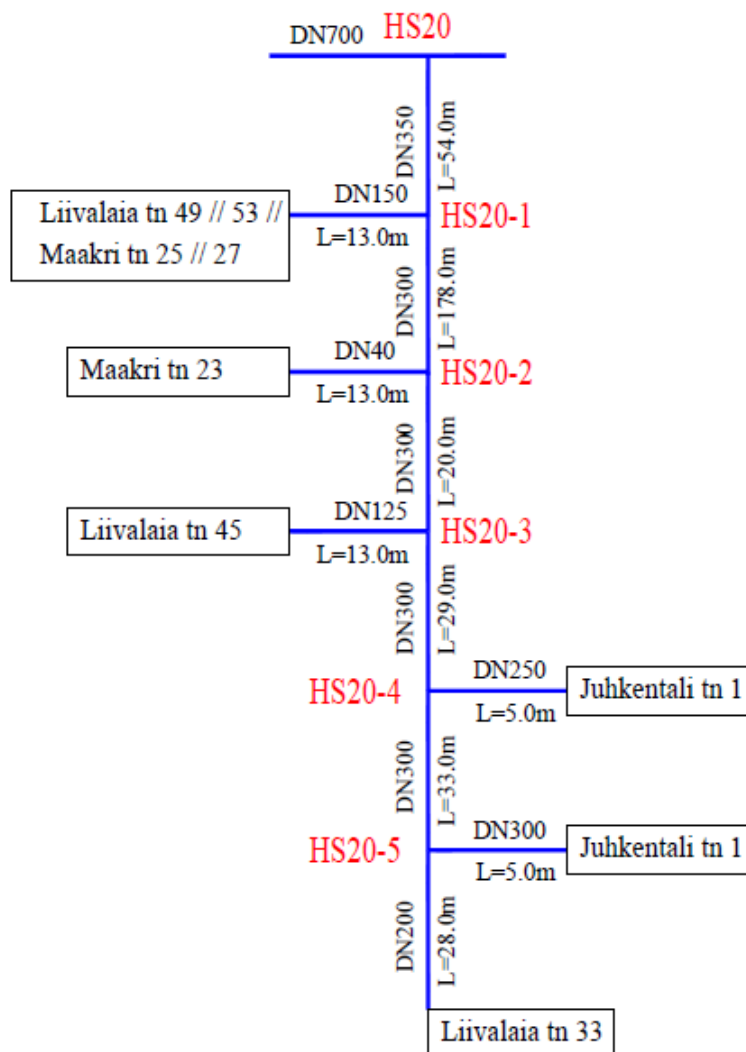
Joonis 3.1.5 Kaugjahutustorustike harutorustiku HS14 skeem.

Järgmisena on peatorustikule tähisega HS15 projekteeritud kinnistu Rävalla pst 3 hoone tarbeks harutorustik läbimõõduga DN150. Järgmisena on peatorustikule tähisega HS16 projekteeritud kinnistu Kivisilla tn 8 // Rävalla pst 2 hoone tarbeks harutorustik läbimõõduga DN80. Järgmisena on peatorustikule tähisega HS17 projekteeritud kinnistu Maakri tn 19 hoone tarbeks harutorustik läbimõõduga DN150. Järgmisena on peatorustikule tähisega HS18 projekteeritud kinnistu Tornimäe tn 2 hoone tarbeks harutorustik läbimõõduga DN125. Järgmisena on peatorustikule tähisega HS18 projekteeritud kinnistu Tornimäe tn 2 hoone tarbeks harutorustik läbimõõduga DN125. Järgmisena on peatorustikule tähisega HS19 projekteeritud kinnistu Tornimäe tn 3 hoone tarbeks harutorustik läbimõõduga DN200.

Järgmisena on peatorustikule tähisega HS20 on projekteeritud harutorustik kinnistute Liivalaia tn 49 // 53 // Maakri tn 25 // 27, Maakri tn 23, Liivalaia tn 45, Juhkentali tn 1 ja Liivalaia tn 33 hoonete tarbeks, millede jaoks on ühine torustiku lõik HS20 kuni HS20-1 läbimõõduga DN350. Esiteks, on kinnistu Liivalaia tn 49 // 53 // Maakri tn 25 // 27 hoone tarbeks projekteeritud harutorustik HS20-1 läbimõõduga DN150. Peale hargnemist HS20-1 on projekteeritud peatorustiku lõik HS20-1 kuni HS20-2 läbimõõduga DN300. Teiseks, on kinnistu Maakri tn 23 hoone tarbeks projekteeritud harutorustik HS20-2 läbimõõduga DN40. Peale hargnemist HS20-2 on projekteeritud peatorustiku lõik HS20-2 kuni HS20-3 läbimõõduga DN300. Kolmandaks, on kinnistu Liivalaia tn 45 hoone tarbeks projekteeritud harutorustik HS20-3 läbimõõduga DN125. Peale hargnemist HS20-3 on projekteeritud peatorustiku lõik HS20-3 kuni HS20-4 läbimõõduga DN300.

Neljandaks, on kinnistu Juhkentali tn 1 hoone esimese haru tarbeks projekteeritud harutorustik HS20-4 läbimõõduga DN250. Juhkentali tn 1 projekti realiseerimine vastavalt lõputöö juhendaja hinnangule peaks lõppema vahemikus 2022 kuni 2023 aastatel. Peale hargnemist HS20-4 on projekteeritud peatorustiku lõik HS20-4 kuni HS20-5 läbimõõduga DN300. Järgnevalt on Juhkentali tn 1 hoone teise haru tarbeks projekteeritud harutorustik läbimõõduga DN300 ja Liivalaia tn 33 hoone tarbeks läbimõõduga DN200.

Tallinna Kommunaalamet kavatseb 2020 aastal teostada Liivalaia tänava kapitaalremonti, osas, mis on Pärnu mnt ja Juhkentali tn vahel.[18] Kaugjahutustorustike planeerimisel tuleks sellega arvestada.



Joonis 3.1.6 Kaugjahutustorustike harutorustiku HS20 skeem.

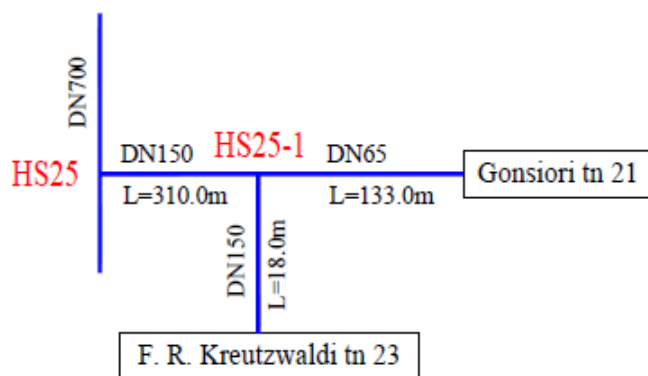
Lõigul alates HS20 kuni HS4-4 Tallinna Kommunaalamet kavatseb 2020 aastal teostada Pronksi tänava ja Jõe tänava kapitaalremonti.[18] Kaugjahutustorustike planeerimisel tuleks sellega arvestada.

Järgnevalt peale peatorustiku lõiku HS20 kuni HS21 on peatorustikule tähisega HS21 projekteeritud kinnistu Tartu mnt 18 hoone tarbeks harutorustik läbimõõduga DN65. Järgmisena on peatorustikule tähisega HS22 projekteeritud kinnistu Pronksi tn 19 hoone tarbeks harutorustik läbimõõduga DN65.

Järgmisena on peatorustikule tähisega HS23 projekteeritud kinnistu Tartu mnt 25 hoone tarbeks harutorustik läbimõõduga DN125. Järgmisena on peatorustikule tähisega HS24 projekteeritud kinnistu Tartu mnt 17 hoone tarbeks harutorustik läbimõõduga DN50.

Järgmisena on peatorustikule tähisega HS25 projekteeritud kinnistute F. R. Kreutzwaldi tn 23 ja Gonsiori tn 21 hoonete tarbeks ühine torustiku lõik läbimõõduga DN150, lõik HS25 kuni HS25-1. Järgmisena on tähisega HS25-1 projekteeritud kinnistu F. R. Kreutzwaldi tn 23 hoone tarbeks torustik läbimõõduga DN150. Peale seda tuleb harutorustik läbimõõduga DN65 kinnistu Gonsiori tn 21 hoone tarbeks.

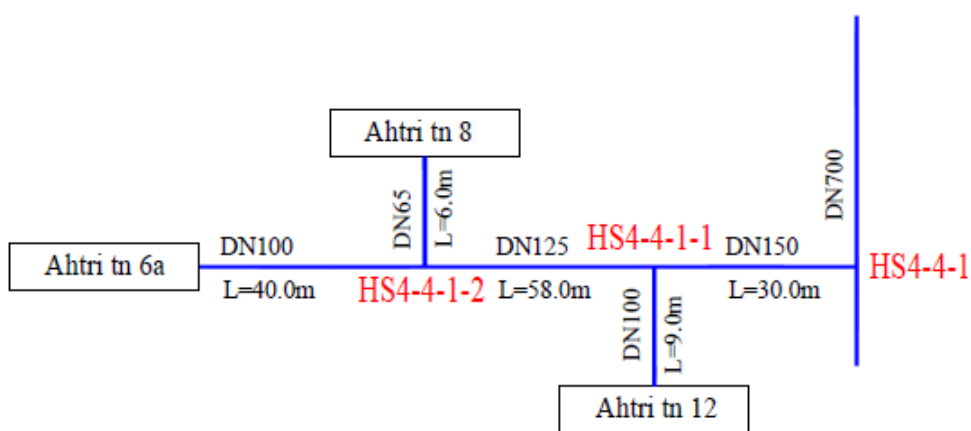
Tallinna Kommunaalamet kavatseb 2021 aastal teostada Kreutzwaldi tänava kapitaalremonti, osas, mis on Gonsiori tänava ja Narva mnt vahel.[18] Kaugjahutustorustike planeerimisel tuleks sellega arvestada.



Joonis 3.1.7 Kaugjahutustorustike harutorustiku HS25 skeem.

Järgmisena on peatorustikule tähisega HS26 projekteeritud kinnistu Narva mnt 12 hoone tarbeks harutorustik läbimõõduga DN50. Järgmisena on peatorustikule tähisega HS4-4-7 projekteeritud kinnistu Narva mnt 11 hoone tarbeks harutorustik läbimõõduga DN100. Järgmisena on peatorustikule tähisega HS4-4-6 projekteeritud kinnistu Narva mnt 13 hoone tarbeks harutorustik läbimõõduga DN100. Järgmisena on peatorustikule tähisega HS4-4-5 projekteeritud kinnistu Jõe tn 2 hoone tarbeks harutorustik läbimõõduga DN40.

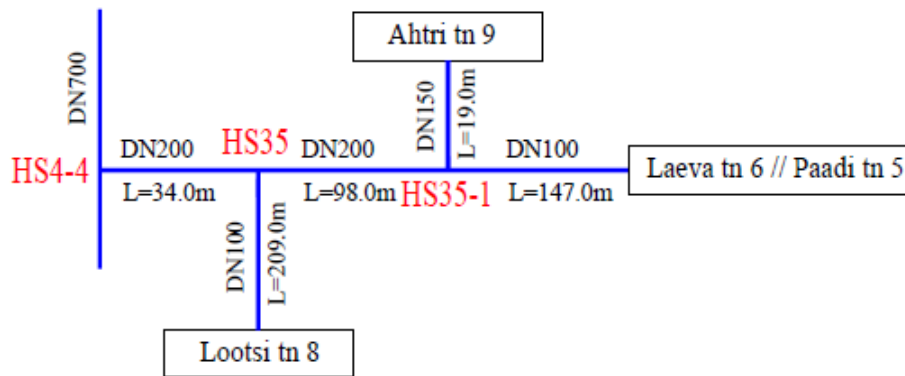
Järgmisena on peatorustikule tähisega HS4-4-4 projekteeritud kinnistu Jõe tn 3 hoone tarbeks harutorustik läbimõõduga DN65. Järgmisena on peatorustikule tähisega HS4-4-3 projekteeritud kinnistu Jõe tn 2a hoone tarbeks harutorustik läbimõõduga DN50. Järgmisena on peatorustikule tähisega HS4-4-2 projekteeritud kinnistu Jõe tn 4a hoone tarbeks harutorustik läbimõõduga DN65. Järgmisena on peatorustikule tähisega HS4-4-1 projekteeritud kinnistute Ahtri tn 12, Ahtri tn 8 ja Ahtri tn 6a hoonete tarbeks ühine harutorustik läbimõõduga DN150, lõik HS4-4-1 kuni HS4-4-1-1. Järgmisena on peatorustikule tähisega HS4-4-1-1 projekteeritud kinnistu Ahtri tn 12 hoone tarbeks harutorustik läbimõõduga DN100. Järgnevalt on projekteeritud Ahtri tn 8 ja Ahtri tn 6a kinnistute ühine torustik, lõiguga HS4-4-1-1 kuni HS4-4-1-2, läbimõõt DN125. Kinnistu Ahtri tn 8 harutorustiku läbimõõt on DN65 ja Ahtri tn 6a läbimõõt on DN100.



Joonis 3.1.8 Kaugjahutustorustike harutorustiku HS4-4-1 skeem.

Järgmisena on peatorustikule tähisega HS4-4 projekteeritud kinnistute Ahtri tn 9, Lootsi tn 8 ja Laeva tn 6 // Paadi tn 5 hoonete tarbeks ühine harutorustik läbimõõduga DN200, lõik HS4-4 kuni HS35. Järgmisena on peatorustikule tähisega HS35 projekteeritud kinnistu Lootsi tn 8 hoone tarbeks harutorustik läbimõõduga DN100. Järgnevalt on projekteeritud Ahtri tn 9 ja Laeva tn 6 // Paadi tn 5 kinnistute ühine torustik, lõiguga HS35 kuni HS35-1, läbimõõt DN200. Kinnistu Ahtri tn 9 harutorustiku läbimõõt on DN150 ja Laeva tn 6 // Paadi tn 5 läbimõõt on DN100.

Tallinna Kommunaalamet kavatseb 2022 aastal teostada Tuukri tänava kapitaalremonti, osas, mis on Jõe tänava ja Petrooleumi tänava vahel[18]. Kaugjahutustorustike planeerimisel tuleks sellega arvestada.

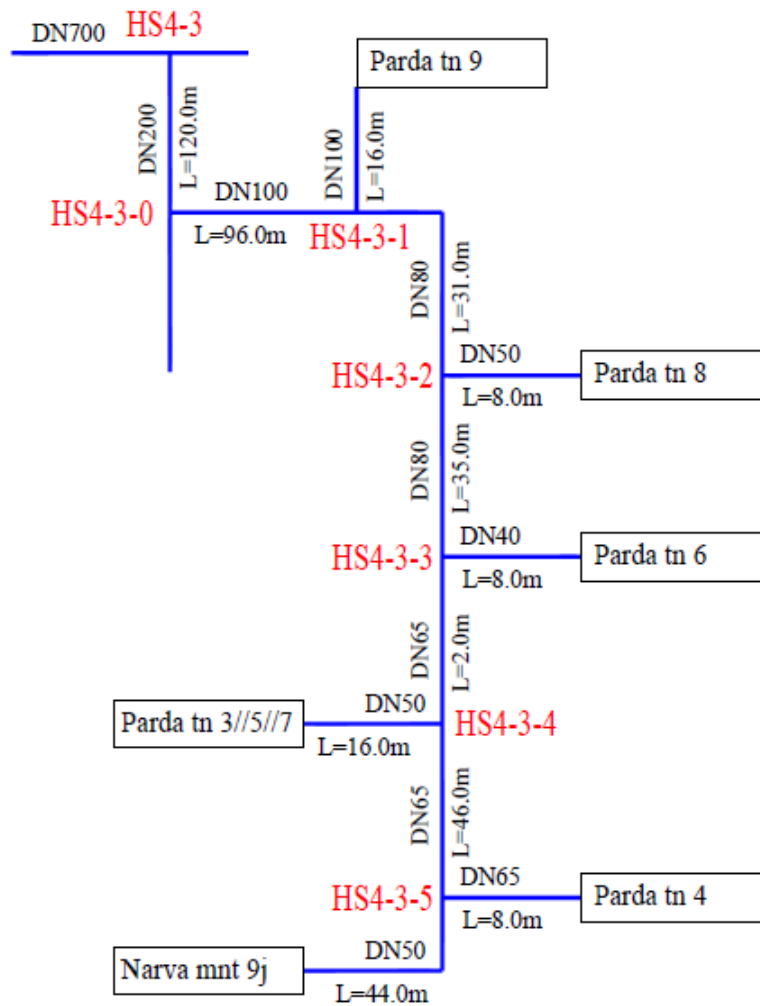


Joonis 3.1.9 Kaugjahutustorustike harutorustiku HS4-4 skeem.

Järgmisena on peatorustikule tähisega HS4-3 projekteeritud harutorustik läbimõõduga DN200, lõik HS4-3 kuni HS4-3-0, kinnistute Parda tn 9, Parda tn 8, Parda tn 6, Parda tn 3 // 5 // 7, Parda tn 4, Narva mnt 9a, Narva mnt 9c, Narva mnt 9j, Narva mnt 7d, Narva mnt 7c, Narva mnt 7b, Narva mnt 7a, Narva mnt 4, Maneeži tn 2 // 4 ja Maneeži tn 3.

Esiteks, antud harutorustikule on projekteeritud harutorustik kinnistute Parda tn 9, Parda tn 8, Parda tn 6, Parda tn 3 // 5 // 7, Parda tn 4 ja Narva mnt 9a tarbeks, lõik HS4-3-0 kuni HS4-3-1 on projekteeritud läbimõõduga DN100. Parda tn 9 harutorustik on projekteeritud läbimõõduga DN100. Peale Parda tn 9 hargnemist on lõik projekteeritud kaugjahutustorustik HS4-3-1 kuni HS4-3-2 läbimõõduga DN80. Parda tn 8 harutorustik on projekteeritud läbimõõduga DN50. Peale Parda tn 8 hargnemist on lõik projekteeritud kaugjahutustorustik HS4-3-2 kuni HS4-3-3 läbimõõduga DN80. Parda tn 6 harutorustik on projekteeritud läbimõõduga DN40. Peale Parda tn 6 hargnemist on lõik projekteeritud kaugjahutustorustik HS4-3-3 kuni HS4-3-4 läbimõõduga DN65. Parda tn 3 // 5 // 7 harutorustik on projekteeritud läbimõõduga DN50. Peale Parda tn 3 // 5 // 7 hargnemist on lõik projekteeritud kaugjahutustorustik HS4-3-4 kuni HS4-3-5 läbimõõduga DN65. Parda tn 4 torustik on projekteeritud läbimõõduga DN65 ja Narva mnt 9a torustik on projekteeritud läbimõõduga DN50.

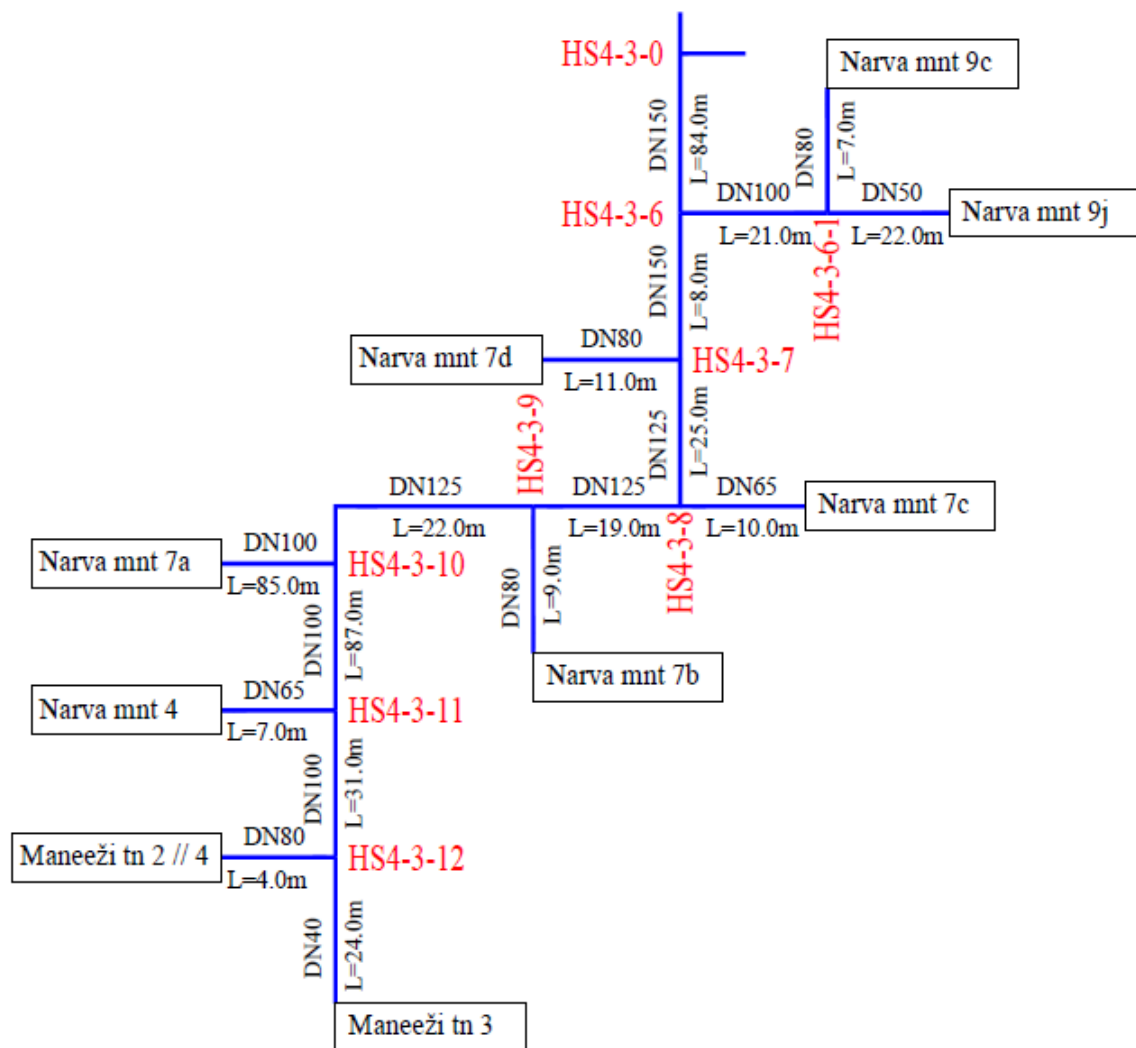




Joonis 3.1.10 Kaugjahutustorustike harutorustiku HS4-3 kuni HS4-3-0 skeem.

Peale hargnemist HS4-3-0 on projekteeritud peatorustiku lõik HS4-3-0 kuni HS4-3-6 läbimõõduga DN150. Teiseks, antud harutorustikule on projekteeritud harutorustik kinnistute Narva mn 9c ja 9j harutorustik, ühise läbimõõduga DN100. Narva mnt 9c harutorustik on projekteeritud läbimõõduga DN80 ja Narva mnt 9j harutorustik on projekteeritud läbimõõduga DN50. Peale hargnemist HS4-3-6 on projekteeritud peatorustiku lõik HS4-3-6 kuni HS4-3-7 läbimõõduga DN150. Kolmandaks, on projekteeritud Narva mnt 7d kinnistu hoone tarbeks harutorustik tähisega HS4-3-7 ja läbimõõduga DN80. Peale hargnemist HS4-3-7 on projekteeritud peatorustiku lõik HS4-3-7 kuni HS4-3-8 läbimõõduga DN125. Neljandaks, on projekteeritud Narva mnt 7c kinnistu hoone tarbeks harutorustik tähisega HS4-3-8 ja läbimõõduga DN65. Peale hargnemist HS4-3-8 on projekteeritud peatorustiku lõik HS4-3-8 kuni HS4-3-9 läbimõõduga DN125. Viiesandaks, on projekteeritud Narva mnt 7b kinnistu hoone tarbeks harutorustik tähisega HS4-3-9 ja läbimõõduga DN80.

Peale hargnemist HS4-3-9 on projekteeritud peatorustiku lõik HS4-3-9 kuni HS4-3-10 läbimõõduga DN125. Kuuendaks, on projekteeritud Narva mnt 7a kinnistu hoone tarbeks harutorustik tähisega HS4-3-10 ja läbimõõduga DN100. Peale hargnemist HS4-3-10 on projekteeritud peatorustiku lõik HS4-3-10 kuni HS4-3-11 läbimõõduga DN100. Seitsmendaks, on projekteeritud Narva mnt 4 kinnistu hoone tarbeks harutorustik tähisega HS4-3-11 ja läbimõõduga DN65. Peale hargnemist HS4-3-11 on projekteeritud peatorustiku lõik HS4-3-11 kuni HS4-3-12 läbimõõduga DN100. Maneeži tn 2 // 4 hoone harutorustik on projekteeritud läbimõõduga DN80 ja Maneeži tn 3 hoone harutorustik on läbimõõduga DN40.

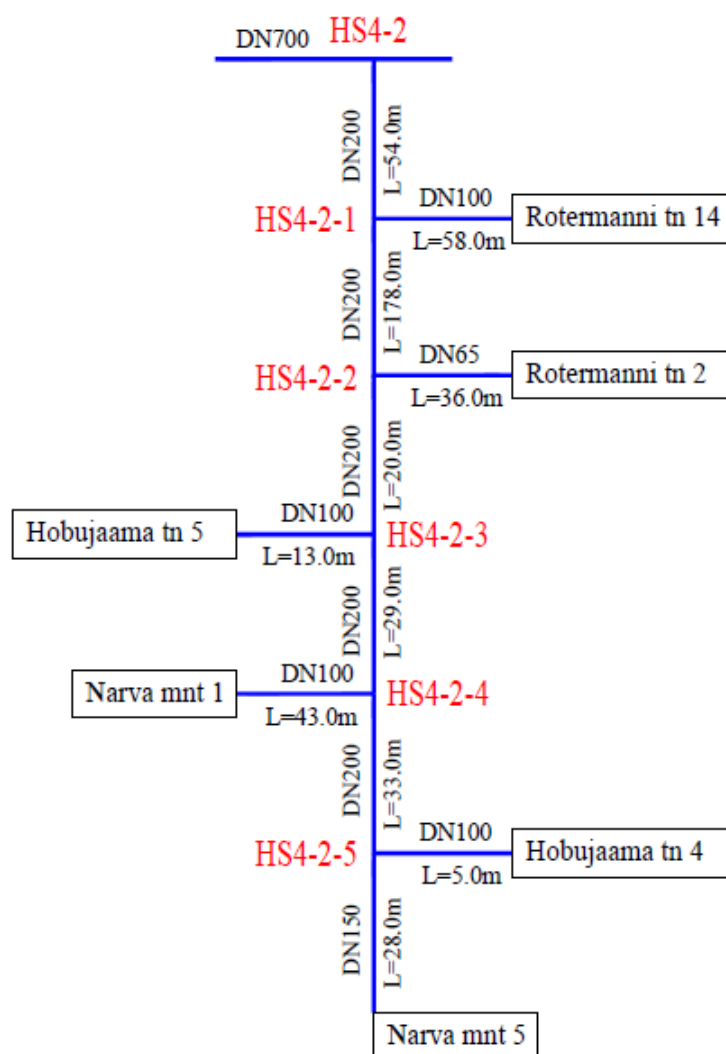


Joonis 3.1.11 Kaugjahutustorustike harutorustiku HS4-3-0 kuni Maneeži tn 3 skeem.

Järgmisena on peatorustikule tähisega HS4-2 projekteeritud kinnistute Rotermanni tn 14, Rotermanni tn 2, Hobujaama tn 5, Hobujaama tn 4, Narva mnt 5, Narva mnt 1 hoonete tarbeks ühine harutorustik läbimõõduga DN200, lõik HS4-2 kuni HS4-2-1.

Esiteks, antud torustikule on projekteeritud harutorustik tähistusega HS4-2-1 kinnistu Rotermanni tn 14 hoone tarbeks läbimõõduga DN100.

Peale hargnemist HS4-2-1 on projekteeritud peatorustiku lõik HS4-2-1 kuni HS4-2-2 läbimõõduga DN200. Teiseks, antud torustikule on projekteeritud harutorustik tähistusega HS4-2-2 kinnistu Rotermanni tn 2 hoone tarbeks läbimõõduga DN65. Peale hargnemist HS4-2-2 on projekteeritud peatorustiku lõik HS4-2-2 kuni HS4-2-3 läbimõõduga DN200. Kolmandaks, antud torustikule on projekteeritud harutorustik tähistusega HS4-2-3 kinnistu Hobujaama tn 5 hoone tarbeks läbimõõduga DN100. Peale hargnemist HS4-2-3 on projekteeritud peatorustiku lõik HS4-2-3 kuni HS4-2-4 läbimõõduga DN200. Neljandaks, antud torustikule on projekteeritud harutorustik tähistusega HS4-2-4 kinnistu Narva mnt 1 hoone tarbeks läbimõõduga DN100. Peale hargnemist HS4-2-4 on projekteeritud peatorustiku lõik HS4-2-4 kuni HS4-2-5 läbimõõduga DN200. Hobujaama tn 4 hoone harutorustik on projekteeritud läbimõõduga DN100 Narva mnt 5 hoone harutorustik on läbimõõduga DN150.



Joonis 3.1.12 Kaugjahutustorustike harutorustiku HS4-2 kuni Narva mnt 5 skeem.

Järgmisena on peatorustikule tähiselega HS4-1 projekteeritud kinnistu Laeva tn 2 hoone tarbeks harutorustik läbimõõduga DN100.

## KOKKUVÕTE

Lõputöös leiti Tallinna kesklinna kaugjahutustorustiku projekt arendamiseks perspektiivsed tarbijad, valiti kaugjahutustrassi asukoht ja valiti torustiku läbimõõdud, teostades hüdraulilised arvutused.

Täiendavalt, arvutati kaugjahutustorustike soojuskaod ja temperatuuri tõusud/langused. Soojuskaod ja temperatuuri tõusud/langused arvutati kahele variandile, kus esimene variant oli peale- ja tagasivoolutoru mõlemad olid 0 klassi eelisoleeritud terastorustik ning teine variant oli pealevoolutoru on 0 klassi eelisoleeritud terastoru ja tagasivoolu toru tavaline terastoru. Arvutustest selgus, et kasutades peale- ja tagasivoolutorudena eelisoleeritud terastorustikku, siis soojuskaod ja temperatuuride kõrvalekalded olid väikseimad.

Järgmiseks esitati, miks on kaugjahutus vajalik, selle keskkonnalased ja majanduslikud eelised. Peale seda võrreldi kaugjahutuses ja kaugküttes kasutuses olevate erinevate temperatuurigraafikute mõju süsteemile. Järgmiseks kirjeldati kaugjahutuse turgu. Täiendavalt arutleti erinevaid kaugjahutuses kasutatud torustiku materjale ja tüüpe ning lõpuks anti materjalide võrdluse kokkuvõte.

Lõpuks, anti kaugjahutustorustiku trassi asukoha valiku kirjeldus ja torustike läbimõõdud vastavalt kinnistutele ja lõikudele. Lõputöös projekteeritud kaugjahutustorustik läbimõõduga DN800 algab Tallinna Linnahalli planeeritud kaugjahutusjaamast ja läheb edasi Kursi tänavale. Seal edasi mööda Rannamäe teed kuni lõunapoolse Ahtri tänava ja Mere puiestee ristumiseni, kus algab ringistus. Ringis oli valitud läbimõõt DN700. Kaugjahutustrassi viimane tarbija oli Liivalaia tn 33 kinnistu.

Töö on aluseks järgmiste etappide tarbeks kaugjahutusvõrgu arendamiseks Tallinna keskkonnas, mis omab väga suurt potentsiaali tänu paljudele üksteise lähedal asuvatele tarbijatele, võimalustele vabajahutuse tehnoloogia kasutamiseks ja potentsiaaliga abistada parima hoone energiatõhususe saavutamiseks. Samas, tuleb teha koostööd Tallinna linna ametitega, broneerides koridori kaugjahutustorustike jaoks, et teised projekteerijad arvestaksid sellega detailplaneeringute ja ehitusprojektide koostamisel. Tuleb teadvustada kaugjahutuse tehnoloogiast potentsiaalseid tarbijaid, arendajaid, arhitekte ja projekteerijaid, sest tänasel päeval kaugjahutus on Eestis võõras valdkond.

Lõputöösse ei mahtunud majanduslik analüüs, mida võiks teha, arvestades erinevaid toru tüüpe ja materjale, mida kasutada kaugjahutusvõrgus ning hinnaprognnoosi lõpptarbijale ja võrguvaldajale. Majandusliku analüüsi koostamise protsessi on kasulik kaasata ka kaugjahutusvõrgu tulevane valdaja, näiteks AS Utilitas Tallinn ning Tallinna linna ametkonnad, kuna investeeringute suurus sõltub osaliselt sellest, kas võrk ehitatakse eraldiseisva objektina või koos muude võrkudega.

Projekt, millega võib kaaluda kaugjahutustorustike koos ehitamist, on Tallinna kesklinna idaosa ühisvoolse kanalisatsiooni valgala lahkvoolseks muutmise projekt. Kaugjahutusvõrgu investeerimiskulusid saab alandada teostades töid koos muude võrkudega, sest siis saab kaevetööde ja taastamistöde hinda alandada selle tulemusel. Lisaks, ei ole teada, mis mudelit hinna kujundamisel hakkab tulevane võrguvaldaja rakendama.

## SUMMARY

The thesis have resulted in founding of perspective cosumers, choosing of district cooling pipeline underground placement and dimensioning of the district cooling pipes, by doing the hydraulic calculations for the Tallinn's downtown district cooling project.

Additionally, calculations for heat losses and temperature gain/drop of district cooling pipes were made. Heat losses and temperature gain/drop were calculated for two scenarios, where one scenario had both the supply and return pipe had 0 class pre-insulated steel pipes and second scenario had only the supply pipe 0 class pre-insulated steel pipe and return pipe was regular steel pipe. From the calculations, it became clear that using both the supply and return pipe as 0 class pre-insulated steel pipes, the heat losses and temperature gain/drop is smaller.

Presented to the next, why district cooling systems are necessary, its environmental and economic benefits. After that, comparison between district cooling and district heating temperatures impact to the system were made. Next the description of district cooling market were given. Additionally, a discussion was made about different pipe types and materials used for district cooling and finally a summary was given.

Finally, district cooling pipeline position selection description and pipeline dimensions according to properties and pipeline sections was given. The district cooling pipeline with a diameter of DN800 starts from a central cooling stations planned in Tallinn's Linnahall and goes to Kursi street. Pipeline continues on Rannamäe road until it meets southside Ahtri street and Mere puiestee intersection, where the district cooling pipeline circle route begins. Circe route pipe diameter is DN700. Last consumer of district cooling on the distritct cooling pipeline is Liivalaia tn 33 property.

This thesis is the basis for the next stages of developing the district cooling network in Tallinn's downtown, which has great potential due to the many close proximity of consumers, the possibilities to use free cooling technology and the potential to help the best building energy efficiency. At the same time, work with Tallinn's city officials has to be done, booking the corridor for the district cooling pipeline, so that other designers take it into account when preparing projects. Potential consumers, developers, architects and designers need to be aware of district cooling technology, because today, district cooling technology is an unfamiliar technology in Estonia.

The thesis did not include an economic analysis that could be done with regard to different pipe types and materials used in the district cooling network and the price forecast for the end user and the network manager. The project, which one may consider the construction of district cooling pipes together is the Tallinn's downtown eastern part central sewerage system project.

The investment cost of district cooling network can be lowered by doing the construction together with other networks, because then the price of excavation and restoration work can be reduced as a result. In addition, it is not known which model will be implemented by the future network owner when pricing.

## KASUTATUD KIRJANDUS

1. Tallinna Tehnikaülikool. (2008). Hoone energiaaudiitorite koolitus. Kd. II. Tallinn : Tallinna Tehnikaülikool.
2. Svend, Frederiksen, Sven, Werner. (2013). District Heating and Cooling. Lund : Studentlitteratur AB
3. Bruce R. Munson, Theodore H. Okiishi, Wade W. Huebsch, Alric P. Rothmayer. (2013). Fundamentals of Fluid Mechanics: Seventh edition. Hoboken, NJ : John Wiley & Sons, Inc.
4. BIO-EN-AREA project. (2011). BISOPLAN - The Bioenergy System Planners Handbook. Rootsi : Linnæus University. Kreeka : Centre for Research & Technology Hellas / Institute for Solid Fuels Technology and Applications (CERTH/ISFTA). Itaalia : Trees and Timber Institute (IVALSA): Eesti : Tallinna Tehnikaülikool. Iirimaa : Tipperary Energy Agency.
5. Majandus- ja Kommunikatsiooniministeerium. Ehisregistri andmebaas. (01.04.2019)
6. AS Utilitas Tallinn. (2018). SOOJUSTORUSTIKU PROJEKTEERIMISE ÜLESANNE NR VHO/N2509/25-09-2018. Tallinn : AS Utilitas Tallinn.
7. Hlebnikov, A. (2010). The Analysis of Efficiency and Optimization of District Heating Networks in Estonia. Tallinn : Tallinna Tehnikaülikool.
8. Majandus- ja Kommunikatsiooniministeerium. (2016). Kütte ja jahutuse tõhususe võimalused Eestis : Eesti kütte ja jahutuspotentsiaali hindamine. Tallinn : Majandus- ja Kommunikatsiooniministeerium.
9. Frohm, H. (2014). Taastuvenergiat põhinevad tõhusad jahutuslahendused Euroopa linnadele : Eelised kaugjahutusest. Tartu : Capital Cooling, RESCUE osaline
10. Hoone energiatõhususe miinimumnõuded. (Vastu võetud 11.12.2018, redaktsiooni jõustumise kp: 01.01.2019). Elektrooniline Riigi Teataja  
<https://www.riigiteataja.ee/akt/113122018014> (26.05.2019)
11. Fortum alustab Pärnu esimese jahutusjaama ehitamist. - *Fortum Eesti AS koduleht*.  
<https://www.fortum.ee/media/2018/06/fortum-alustab-parnu-esimese-jahutusjaama-ehitamist> (05.05.2019)
12. Tol H. I., Svendsen S. (2011). Improving the Dimensioning of Piping Networks and Network Layouts in Low-Energy District Heating Systems Connected to Low-Energy Buildings: A Case Study in Roskilde, Denmark. Denmark : Technical University of Denmark, Department of Civil Engineering, Section of Building Physics and Services.
13. Vladimir D. Stevanovic, Sanja Prica, Blazenka Maslovaric, Branislav Zivkovic, Srdjan Nikodijevic. (2006). Efficient numerical method for district heating system hydraulics. Serbia : Elsevier Ltd.
14. Calance, M. (2014). Energy Losses Study on District Cooling Pipes - Steady-state Modeling and Simulation : magistratöö. Gävle : Gävle Ülikool.



15. ASHRAE-District Cooling Guide. (2013). Atlanta, GA : © ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers, Inc.).
16. Logstori eelisoleeritud torustike projekteerimise juhend, Design Manual, Version 2019.02. - *Logstori koduleht*.  
<https://www.logstor.com/media/6171/design-201902.pdf> (05.05.2019)
17. Euring, M. (2014). Optimisation of DH network design. Innovative DH Breakfast Seminar, 3rd DECEMBER 2014. Rehau Polymer OÜ
18. Tallinna Kommunaalamet. Teede kapitaalremondi ja rekonstrueerimise 5-aastane kava. Tallinn. Materjal saadud juhendaja Igor Krupenski käest.
19. Isoplus Fjernvarmeteknik A/S. (2006). Isoplus-i tootja juhend. Eesti.
20. Eesti Jõujaamade ja Kaugkütte Ühing. (2014). Eelisoleeritud kaugküttetorustike projekteerimine ja paigaldamine. Juhendmaterjalid Osad 1. - 8. Tallinn : Eesti Jõujaamade ja Kaugkütte Ühing.
21. Logstori eelisoleeritud kaugküttetorustike tootekataloog. - Logstori koduleht.  
<https://www.logstor.com/media/6215/product-catalogue-uk-201904.pdf> (05.05.2019)
22. Pipelife veevarustuse tootekataloog. - *Pipelife koduleht*.  
[https://www.pipelife.ee/ee/media/pdf/catalogs/Veesurvetorustikud\\_2408.pdf?m=1526019820&](https://www.pipelife.ee/ee/media/pdf/catalogs/Veesurvetorustikud_2408.pdf?m=1526019820&) (05.05.2019)
23. Thermal Length Change in Pipes. - *Flamco B.V. koduleht*.  
[https://flamcogroup.com/media/files/documentation/doc\\_exp\\_thermallengthchange.pdf](https://flamcogroup.com/media/files/documentation/doc_exp_thermallengthchange.pdf) (05.05.2019)
24. Jahutustehnoloogia. - *Energiatalgud koduleht*.  
<https://energiatalgud.ee/index.php?title=Jahutustehnoloogia> (05.05.2019)
25. Maaküte. - *Heatcom - Küte & Suruõhk koduleht*.  
<https://heatcom.ee/tooted-teenused/kuttetesusteemid/maakute/>(05.05.2019)
26. Strand, A. Göteborg Energi. District cooling in Gothenburg. - *Ettekanne*.
27. Kaugjahutus. - *Fortum Eesti AS koduleht, Tartu osakond*.  
<https://www.fortumtartu.ee/tooted-ja-teenused/kaugjahutus> (05.05.2019)
28. Indrek Vaher - OÜ Krihvel Projekt. (2017). Tartu linn, Vanemuise tänav, Kaugjahutustorustik lõigus Ülikooli-Akadeemia. Tartu : OÜ Krihvel Projekt
29. Anti Kordemets - OÜ Krihvel Projekt. (2019). Tartu linn, Vaksali ja Lembitu tänav, Kaugjahutuse jaotustorustik Tartu raudteejaama kinnistul. Tartu : OÜ Krihvel Projekt
30. Garrett, R. H. (2000). Hot and Cold Water Supply : Second edition. (2001, 2003x2, 2004, 2006). Oxford : Blackwell Science Ltd.
31. The Institute of Plumbing aastal 2002. (2002). Plumbing Engineering Services Design Guide. Hornchurch : The Institute of Plumbing

# LISAD

## LISA 1 Hüdraulilise arvutused ilma soojuskaota

Punkt	Trassilõik	Ühe voolusuuna rõhulangud							Rõhulang andv+tagast	
		Q	L	DN	Vteg	Rteg	RI(sirge)	Z		
		kW	m	-	m/s	Pa/m	Pa	Kohttakistus		Pa
	RINGI ÜKS POOL									
	Liivalaia 33-HS20-5	925,62	60	DN200	0,63815	20,83	1249,55	1,83	366,33	0,040
	HS20-5-HS20-4	3725,6	18	DN300	1,15953	40,09	721,545	0,45	302,37	0,027
	HS20-4-HS20-3	5575,6	129	DN300	1,73531	88,04	11357,3	0,45	677,21	0,254
	HS20-3-HS20-2	6027,9	97	DN300	1,87607	102,6	9950,73	0,45	791,52	0,231
	HS20-2-HS20-1	6049,1	73	DN300	1,88269	103,3	7540,62	0,45	797,12	0,183
	HS20-1-HS20	6804,2	77	DN350	1,7458	78,96	6079,69	0,67	1020,5	0,162
1	HS20-HS21	6943,3	26	DN700	0,43746	2,276	59,1867	0,45	43,036	0,003
2	HS21-HS22	7074,8	37	DN700	0,44574	2,359	87,2692	0,45	44,682	0,004
3	HS22-HS23	7497,2	12	DN700	0,47236	2,632	31,5893	0,45	50,178	0,003
4	HS23-HS24	7589,1	36	DN700	0,47815	2,694	96,9812	0,45	51,415	0,004
5	HS24-HS25	8354,3	33	DN700	0,52635	3,233	106,689	0,45	62,305	0,005
6	HS25-HS26	8410,1	364	DN700	0,52987	3,274	1191,81	0,75	105,23	0,028
7	HS26-HS4-4-7	8646,2	82	DN700	0,54475	3,451	283,011	1,05	155,72	0,012
8	HS4-4-7-HS4-4-6	8910,2	5	DN700	0,56138	3,655	18,2742	0,45	70,873	0,003
9	HS4-4-6-HS4-4-5	8941,8	19	DN700	0,56337	3,68	69,9127	0,45	71,377	0,004
10	HS4-4-5-HS4-4-4	9057,7	14	DN700	0,57068	3,771	52,7952	0,45	73,242	0,004
11	HS4-4-4-HS4-4-3	9107,6	17	DN700	0,57382	3,811	64,7834	0,45	74,049	0,004
12	HS4-4-3-HS4-4-2	9228,2	63	DN700	0,58142	3,908	246,181	0,45	76,023	0,008

13	HS4-4-2-HS4-4-1	9928,2	69	DN70	0,62552	4,493	310,028	0,45	87,993	0,010
14	HS4-4-1-HS4-4	11222	91	DN70	0,70704	5,681	517,017	0,75	187,37	0,018
15	HS4-3-HS4-4	13348	151	DN70	0,84098	7,932	1197,69	0,75	265,08	0,035
16	HS4-3-HS4-2	15532	239	DN70	0,97859	10,63	2540,47	0,75	358,94	0,065
17	HS4-2-HS4-1	15773	239	DN70	0,99380	10,95	2617,44	0,45	222,11	0,061
18	HS4-1-HS4	15773	219	DN70	0,99380	10,95	2398,41	1,35	666,32	0,075
<b>rõhulang PV+TV lõigule Liivalaia 33 kuni pkt 18</b>										<b>1,241</b>
RINGI TEINE POOL										
19	HS20-HS19	1381,4	105	DN70	0,08703	0,116	12,1965	0,75	2,8392	0,000
20	HS19-HS18	1949,2	76	DN70	0,12280	0,216	16,4535	0,45	3,3916	0,000
21	HS18-HS17	2763,7	38	DN70	0,17410	0,409	15,5607	0,75	11,365	0,001
22	HS17-HS16	2947,1	54	DN70	0,18568	0,461	24,8818	0,45	7,7537	0,001
23	HS16-HS15	3735	43	DN70	0,23532	0,713	30,6766	0,45	12,453	0,001
24	HS15-HS14	5778,2	24	DN70	0,36405	1,618	38,6455	0,45	29,805	0,002
25	HS14-HS13	6087,7	51	DN70	0,38350	1,776	90,5891	0,45	33,084	0,003
26	HS13-HS12	6657,1	78	DN70	0,41940	2,102	163,985	0,75	65,936	0,006
27	HS12-HS11	6992,4	153	DN70	0,44055	2,307	352,963	0,45	43,647	0,009
28	HS11-HS10	8279,1	165	DN70	0,52162	3,178	524,352	0,75	101,98	0,015
29	HS10-HS9	8793,9	160	DN70	0,55405	3,564	570,319	1,35	207,19	0,020
30	HS9-HS8	11603	231	DN70	0,73107	6,058	1399,37	1,05	280,45	0,039
31	HS8-HS7	12390	196	DN70	0,78062	6,872	1346,89	1,05	319,76	0,040
32	HS7-HS6	12839	54	DN70	0,80890	7,359	397,47	0,45	147,15	0,014
33	HS6-HS5	13021	34	DN70	0,82038	7,562	257,097	0,45	151,36	0,011
34	HS5-HS4	13021	238	DN70	0,82038	7,562	1799,68	1,05	353,16	0,050
<b>rõhulang PV+TV kokku lõigule 19-34, bar</b>										<b>0,212</b>
PEALE RINGI										
35	HS4-HS3	2879	25	DN80	1,3850	17,6	4409,7	0,45	431,4	0,105

		4	0	0		9	4	4		4		
36	HS3-HS2	3053	16	DN80	1,4685	19,7	3183,4		1778,			
		0	1	0	6	7	5	1,65	4	0,135		
37	HS2-HS1	3068	11	DN80	1,4760	19,9	2316,6		1143,			
		6	6	0	7	7	5	1,05	3	0,092		
38	ÜK1-HS1	3083	18	DN80	1,4831	20,1	3708,9		2143,			
		2	4	0	1	6	7	1,95	5	0,160		
				<b>rõhulang PV+TV kokku lõigule 35-38, bar</b>							<b>0,492</b>	
				<b>rõhulang PV+TV torustik Liivalaia 33 kuni pkt 38,</b>								
				<b>bar</b>							<b>1,945</b>	

## LISA 2 Hüdraulilised arvutused koos soojuskadudega

Punkt	Trassilõik	Ühe voolusuuna rõhulangud								Rõhulang andv+tagast
		Q	L	DN	Vteg	Rteg	RI(sirge)	Kohttakistus	Z	
		kW	m	-	m/s	Pa/m	Pa		Pa	
	RINGI ÜKS POOL									
	Liivalaia 33-HS20-5	928,18	60	DN200	0,63992	20,94	1256,18	1,8	368,36	0,040
	HS20-5-HS20-4	3728,2	180	DN300	1,16033	40,14	722,51	0,45	302,78	0,027
	HS20-4-HS20-3	5578,2	1290	DN300	1,73611	88,12	11367,5	0,45	677,83	0,254
	HS20-3-HS20-2	6033	970	DN300	1,87767	102,8	9967,34	0,45	792,87	0,231
	HS20-2-HS20-1	6056,8	730	DN300	1,88508	103,6	7559,44	0,45	799,15	0,183
	HS20-1-HS20	6814,5	770	DN350	1,74843	79,19	6097,66	0,67	1023,6	0,163
1	HS20-HS21	6953,5	260	DN70	0,4381	2,283	59,3521	0,45	43,164	0,003
2	HS21-HS22	7087,6	370	DN70	0,44655	2,367	87,5687	0,45	44,844	0,004
3	HS22-HS23	7512,6	120	DN70	0,47333	2,643	31,7123	0,45	50,384	0,003
4	HS23-HS24	7607	360	DN70	0,47928	2,706	97,4166	0,45	51,658	0,004
5	HS24-HS25	8377,3	330	DN70	0,52781	3,25	107,25	0,45	62,65	0,005
6	HS25-HS26	8435,7	3640	DN70	0,53149	3,293	1198,74	0,75	105,88	0,028
7	HS26-HS4-4-7	8674,4	820	DN70	0,54652	3,473	284,772	1,05	156,73	0,012
8	HS4-4-7-HS4-4-6	8940,9	50	DN70	0,56332	3,679	18,3946	0,45	71,363	0,003
9	HS4-4-6-HS4-4-5	8975,1	190	DN70	0,56547	3,706	70,4103	0,45	71,91	0,004
10	HS4-4-5-HS4-4-4	9093,6	140	DN70	0,57294	3,8	53,1948	0,45	73,821	0,004
11	HS4-4-4-HS4-4-3	9146,1	170	DN70	0,57624	3,842	65,3061	0,45	74,675	0,004
12	HS4-4-3-HS4-4-2	9269,3	630	DN70	0,58401	3,941	248,273	0,45	76,701	0,008
13	HS4-4-2-HS4-4-1	9976,9	690	DN70	0,62859	4,535	312,944	0,45	88,858	0,010
14	HS4-4-1-HS4-4	1127	910	DN70	0,7105	5,73	522,00	0,75	189,2	0,018

		8	0	9	6	9		6		
15	HS4-3-HS4-4	1344 3	15 1	DN70 0	0,8469 5	8,04 1	1214,1 6	268,8 6	0,035	
16	HS4-3-HS4-2	1564 2	23 9	DN70 0	0,9855 4	10,7 8	2575,5	0,75 5	364,0 0,066	
17	HS4-2-HS4-1	1588 6	23 9	DN70 0	1,0009	11,1	2653,8 1	0,45 9	225,2 0,062	
18	HS4-1-HS4	1577 3	21 9	DN70 0	0,9938	10,9 5	2398,4 1	1,35 2	666,3 0,075	
				<b>rõhulang PV+TV lõigule Liivalaia 33 kuni pkt 18</b>					<b>1,245</b>	
	RINGI TEINE POOL									
19	HS20-HS19	1384 3	10 5	DN70 0	0,0872	0,11 7	12,237 3	0,75 8	2,849 0,000	
20	HS19-HS18	1954, 3	76	DN70 0	0,1231 3	0,21 8	16,532 2	0,45 5	3,409 0,000	
21	HS18-HS17	2771, 4	38	DN70 0	0,1746 1	0,41 2	15,640 3	0,75 8	11,42 0,001	
22	HS17-HS16	2957, 4	54	DN70 0	0,1863 3	0,46 4	25,041 2	0,45 7	7,807 0,001	
23	HS16-HS15	3747, 8	43	DN70 0	0,2361 3	0,71 8	30,871 9	0,45 9	12,53 0,001	
24	HS15-HS14	5801, 3	24	DN70 0	0,3655	1,62 2	38,935 6	0,45 4	30,04 0,002	
25	HS14-HS13	6113, 3	51	DN70 0	0,3851 7	1,79	91,308 7	0,45 3	33,36 0,003	
26	HS13-HS12	6685, 3	78	DN70 0	0,4212	2,11 9	165,3	0,75 6	66,49 0,006	
27	HS12-HS11	7023, 1	15 3	DN70 0	0,4424 9	2,32 6	355,90 6	0,45 2	44,03 0,009	
28	HS11-HS10	8312, 4	16 5	DN70 0	0,5237 2	3,20 2	528,37 4	0,75 102,8	0,015	
29	HS10-HS9	8829, 8	16 0	DN70 0	0,5563 1	3,59 2	574,76 2	1,35 208,8	0,020	
30	HS9-HS8	1164 7	23 1	DN70 0	0,7338 2	6,10 2	1409,4 9	1,05 6	282,5 0,039	
31	HS8-HS7	1244 1	19 6	DN70 0	0,7838 5	6,92 7	1357,6 4	1,05 1	322,4 0,040	
32	HS7-HS6	1289 3	54	DN70 0	0,8123	7,41 9	400,61 6	0,45 9	148,3 0,014	
33	HS6-HS5	1307 7	34	DN70 0	0,8239 4	7,62 5	259,24 7	0,45 7	152,6 0,011	
34	HS5-HS4	1302 1	23 8	DN70 0	0,8203 8	7,56 2	1799,6 8	1,05 6	353,1 0,050	
				<b>rõhulang PV+TV kokku lõigule 19-34, bar</b>					<b>0,213</b>	
	PEALE RINGI									
35	HS4-HS3	2879 4	25 0	DN80 0	1,3850 9	17,6 4	4409,7 4	0,45 4	431,4 0,105	
36	HS3-HS2	3054 2	16 1	DN80 0	1,4691 7	19,7 9	3186,0 6	1,65 8	1779, 0,135	

37	HS2-HS1	3070 4	11 6	DN80 0	1,4769 4	19,9 9	2319,3	1,05	1144, 6	0,092
38	ÜK1-HS1	3085 3	18 4	DN80 0	1,4840 9	20,1 8	3713,7 9	1,95	2146, 4	0,160
				<b>rõhulang PV+TV kokku lõigule 35-38, bar</b>						<b>0,493</b>
				<b>rõhulang PV+TV torustik Liivalaia 33 kuni pkt 38, bar</b>						<b>1,951</b>

## **LISA 3 Projekteeritud kaugjahutustorustike skeem**