

TTÜ Energiatehnoloogia instituut

**KAUGKÜTTEVÕRGU HÜDRAULILINE ARVUTUS
BRUNSBÜTTELI LINNA NÄITEL**

**HYDRAULIC CALCULATIONS OF DISTRICT HEATING
NETWORK BY EXAMPLE OF CITY OF BRUNSBÜTTEL**

MAGISTRITÖÖ

Üliõpilane: Jalmar Mäe

Üliõpilaskood 192302MASM

Juhendaja: Igor Krupenski, lektor

(Tiitellehe pöördel)

AUTORIDEKLARATSIOON

Olen koostanud lõputöö iseseisvalt.

Lõputöö alusel ei ole varem kutse- või teaduskraadi või inseneridiplomit taotletud. Kõik töö koostamisel kasutatud teiste autorite tööd, olulised seisukohad, kirjandusallikatest ja mujalt pärinevad andmed on viidatud.

"....." 2021

Autor: Jalmar Mäe

/ allkirjastatud digitaalselt /

Töö vastab bakalaureusetöö/magistritööle esitatud nõuetele

"....." 201.....

Juhendaja: Igor Krupenski

/ allkirjastatud digitaalselt /

Kaitsmisele lubatud

"....."201... .

Kaitsmiskomisjoni esimees

/ nimi ja allkiri /

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks¹

Mina Jalmar Mäe (sünnikuupäev: 07.03.1993)

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose „Kaugküttevõrgu hüdrauliline arvutus Brunsbütteli linna näitel“,

mille juhendaja on Igor Krupenski,

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

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

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

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

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

_____ (allkiri)

_____ (kuupäev)

LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Üliõpilane:

Jalmar Mäe, 192302MASM

Õppekava, peeriala: MASM02/18- Energiatehnoloogia ja soojusenergeetika

Juhendaja(d): Igor krupenski, lektor

Konsultant:(nimi, amet)

..... (ettevõtte, telefon, e-post)

Lõputöö teema:

Kaugküttevõrgu hüdrauliline arvutus Brunsbütteli linna näitel

Hydraulic Calculations of district heating network by example of city of Brunsbüttel

Lõputöö põhieesmärgid:

1. Teostada planeeritava kaugküttevõrgu hüdrauliline arvutus.
2. Pakkuda lahendusi kaugküttevõrgu optimeerimiseks võrgu hüdrauliliste arvutuste põhjal.
3. Vaadelda võrgu kitsaskohti ning pakkuda lahendusi.

Lõputöö etapid ja ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Tähtaeg
1.	Olemasoleva olukorra kirjeldus	21.02
2.	Võrku lisanduvate tarbijate paiknemine	01.03
3.	Rajatava võrgu dimensioneerimine ning trasseeringu valiku kommenteerimine	28.03
4.	Tulemuste analüüs	11.04
5.	Võimalike alternatiivsete lahenduste üle arutlemine	25.04
6.	Sissejuhatus ja kokkuvõtte	09.05

Töö keel: eesti keel **Lõputöö esitamise tähtaeg:** ".....".....201....a

Üliõpilane: Jalmar Mäe..... ".....".....201....a

/allkiri/

Juhendaja: Igor Krupenski ".....".....201....a

/allkiri/

Konsultant: ".....".....201....a

/allkiri/

Programmijuht: ".....".....201....a

/allkiri/

Kinnise kaitsmise ja/või lõputöö avalikustamise piirangu tingimused formuleeritakse pöördel

SISUKORD

TalTech Energiatehnoloogia Instituut	4
EESSÕNA	7
SISSEJUHATUS	8
1. PÕHIOSA	10
1.1 Kaugküte Saksamaal	10
1.2 Hüdraulika teooria	10
1.3 Hüdraulilise modelleerimise tarkvara	14
1.4 Soojussalvestid	15
2 Brünsbütteli kaugküttevõrk	20
2.1 Olemasoleva olukorra kirjeldus	20
2.2 Võrku lisanduvate tarbijate paiknemine	21
2.3 Rajatava võrgu dimensioneerimine	28
2.4 Tulemuste analüüs	30
2.4.1 Võrgu hüdrauliline arvutus. Variant number 1	31
2.4.2 Võrgu hüdrauliline arvutus. Variant number 2	35
2.4.3 Võrgu hüdrauliline arvutus. Variant number 3	38
2.4.4 Arvutus variantide omavaheline võrdlus	39
2.5 Erijuhtumid	40
2.5.1 Torustiku lõigu P84 tööst välja lülitamine	40
2.5.2 Torustiku lõigu P602 tööst välja lülitamine	42
2.5.3 Torustiku lõigu P181 tööst välja lülitamine	44
3 Võrgu hüdraulika olemasolevate torustike optimeerimise korral	47
3.1 Torustike lõigutine välja lülitamine	49
3.1.1 Torustiku lõigu P84 tööst välja lülitamine	49
3.1.2 Torustiku lõigu P602 tööst välja lülitamine	53
3.1.3 Torustiku lõigu P181 tööst välja lülitamine	54
KOKKUVÕTE	60
SUMMARY	62
KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU	64

EESSÕNA

Käesolev lõputöö teema on välja pakutud HeatConsult OÜ ja juhendaja Igor Krupenski poolt. Töö põhineb ettevõttes olnud projektil, mille käigus tuli teostada planeeritava kaugküttevõrgu hüdrauliline arvutus.

Töö koostamisel on abiks olnud Hannes Wagner ja Enno van der Linde Averdung Ingenieure Berater GmbH-st

Märksõnad: hüdrauliline arvutus, kaugküttevõrk, rõhukadu, magistritöö

SISSEJUHATUS

Tänapäeval on suure tähelepanu all keskkonnasõbralik mõtlemine. Proovitakse vähendada energiatarbimist nii elektri kui ka transpordi sektoris. Euroopas on hakatud palju tähelepanu pöörama ka kütmiseks kuluvale energiale ning selle energiahulga kokkuhoiu võimalustele.

Kaugkütte puhul on tegemist keskkonnasäästlikuma kütmislahendusega võrreldes eratarbijate juures olevate kütteallikatega. Üheks heaks küljeks on, et suure võimsusega katlamajadele kehtivad rangemad keskkonna nõuded, kui väiksema võimsusega katlamajadele. Kui aga piirkonnas on mitmeid allikaid, mis on saadud tööstuse heitsoojusest võib seda lugeda keskkonna sõbralikumaks, kui katlamajas toodetud soojust.

Selleks, et soojus jõuaks kõigi tarbijateni on oluline osa võrgu hüdraulikal. Võrgu hüdrauliliste arvutuste läbi on võimalik määrata võrgus olevate torustike optimaalsed läbimõõdud, võrgupumpade parameetrid nagu tõstekõrgus ja vooluhulk. Lisaks saab see läbi ülevaate, milliseid nõudeid tuleb esitada võrku paigaldatavatele torudele, pumpadele ja teistele seadmetele. Olemasoleva võrgu kohtasaab hüdrauliliste arvutuste tulemusel ülevaate, kus võivad paikneda võrgu kitsaskohad või millised lõigud on üledimensioneeritud. On võimalus saada infot, kas soojus jõuab kõikide tarbijateni.

Hüdraulilisi arvutusi saab teha käsitsi, kuid on olemas mitmeid programme, mis lihtsustavad neid arvutusi. Antud töös on kasutatud arvutuste tegemiseks programmi NetSim. Programmi eesmärk on lihtsustada kasutajal arvutuste tegemist.

Antud töös esimeses peatükis on esitatud ülevaade kaugküttest Saksamaal. Vaadatakse ka hüdraulilisi arvutusi, millele hüdraulika programmid tuginevad. Lisaks on vaadeldud erinevat tüüpi soojussalvesteid ning tehtud ülevaadehüdraulika arvutusteks kasutatud programmist.

Teises peatükis on vaatluse alla võetud hüdraulilisteks arvutusteks kasutatud linnake, kus ta asub. Kui arenenud on kaugküttevõrk selles linnas. Lisaks on teostatud hüdrauliline arvutus planeeritud võrgule ning vaadeldud loodava võrgu kitsaskohti. Lisaks on vaadeldud erinevaid kitsaskohti, kuhu tellija soovis alles jätta olemasolevat torustiku ning kuidas see mõjub võrgule kui tervikule.

Lõpuks on vaadeldud varianti, kus kõik olemasolevad torustikud asendatakse optimaalsema variandiga. Selle tulemusel oli kohti, mis olid üledimensioneeritud ning mille läbimõõte vähendati, kuid oli ka lõike, mille läbimõõdud suurenesid. Lisaks käiakse läbi kolm avarii stsenaariumit, mida vaadeldi ka peatükis 2 ning millist mõju avaldavad need avariid võrgule.

1. PÕHIOOSA

1.1 Kaugküte Saksamaal

Saksamaal on 1454 kaugküttevõrku, mille kogu võimsuseks on 49,5 GW. Elumajade sektoris on see läbi varustatud 13,8% tarbijatest kaugküttega. Kui vaadata korterelamuid, siis hetkel on 13.5% korterelamutest ühendatud kaugküttevõrguga. Uutest korterelamutest 25% ühendatakse kaugküttega. [1]

Sõe kasutamine on kaugküttevõrgus on langenud 58% pealt 2003 aastal 35.7% peale 2017 aastal. Samuti on langenud maagaasi kasutamine, mis oli tipus aastatel 2006-2010 jäädes 49.7% juurde 2007 aastal. Kuid 2017 aastaks oli pilt juba teistsugune, siis moodustasid gaasikatlamaajad 38% kogu kasutada olevast võimsusest. Saksamaal on kasvu näidanud ka CHP jäätmepõletusjaamad, mis on tõusnud 3,4% 2003. aastal 11,6% 2017 aastal. [1]

Hetkel on Saksamaal taastuvate energia allikate kasutus küttesektoris 14% juures lõppenergia tarbimisest. Aastaks 2030 on võetud sihiks tõst taastuvate allikate osakaalu 27%. Föderaalvalitsus on võtnud plaaniks 2038 aastaks ligniidil ja kivisöel töötavad jaamad välja lülitada [2]

1.2 Hüdraulika teooria

Kuna antud töö keskendub paljuski erinevatele hüdraulika arvutustele, mis on tehtud arvutusprogrammiga.

Vedeliku massikulu [3]

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

kus G – vedeliku massikulu, m^3/s

P_a – arvutuslik soojuskoormus, W

h_{fpv} – pealevoolu vee erientalpia temperatuuril 88 °C, J/kg

h_{ftv} – pealevoolu vee erientalpia temperatuuril 50 °C, J/kg

Vedeliku mahtkiirus [3]

$$(1.2.2)$$

$$V_{mah} = \frac{G \cdot p}{3600},$$

kus V_{mah} – vedeliku mahu kiirus, m³/s
 ρ – vedeliku keskmine tihedus, kg/m³

Vedeliku kiirus torus [3]

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

kus V_{teg} – vedeliku kiirus, m/s
 V_{mah} – vedeliku mahu, m³/s
 d_{sise} – toru siseläbimõõt, m

Rõhulang Darcy-Weisbach'i valemiga [3]

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

kus Δp – sirge toru lõigu rõhulang, Pa
 λ - toru hüdrauliline hõõrdetegur
 L – toru lõigu pikkus, m

Reynoldsi arvu valem [3]

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

kus Re – Reynoldsi arv
 k_{ekv} -toru seina ekvivalentne karedus, mm

Reynoldsi arvu valem [3]

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

kus ν - vedeliku kinemaatiline viskoossus, m²/s

Sirge toru lõigu rõhulang ühe meetri kohta [3]

$$\Delta p_{teg} = \left(\lambda * \frac{1}{d_{sise}} \right) * \rho * \frac{V_{teg}^2}{2}, \quad (1.2.7)$$

kus Δp_{teg} – sirge toru lõigu rõhulang, Pa/m

Kohttakistus Weisbach'i valemiga [3]

$$h_k = \zeta * \frac{v_{teg}^2}{2 * g}, \quad (1.2.8)$$

kus h_k – kohttakistus, m

ζ - kohttakistustegur

g – raskuskiirendus, m/s²

Weisbach'i valemiga arvatud kohttakistuse teisendamine paskalitesse [3]

$$\Delta p_k = h_k * \rho * g, \quad (1.2.9)$$

kus Δp_k – kohttakistuse tekitatud rõhulang, Pa

Kaugküttetorustiku lõigu täielik rõhulang

$$\Delta p_{kokku} = 2 * (\Delta p_k + \Delta p), \quad (1.2.10)$$

kus Δp_{kokku} – kaugküttetorustiku rõhulang lõigul pikkusega L, Pa

Käesolevas töös on arvatud ka torustiku soojuskadu. Programmi poolt arvatud soojuskadude summa tugineb valemitele 1.2.11-1.2.16.

Arvutustes kasutatud pinnase soojusjuhtivuseks on võetud 1,20 W/m°C. Pinnase temperatuuriks on võetud 8 °C.

Olemasolevate torude puhul on arvestatud torudel esimese isolatsiooniklassiga. Planeeritud torude puhul on arvestatud kolmanda isolatsiooniklassiga. Seda välja arvatud kohtades, kus on öeldud teisiti.

Soojuskadu, W [4, 5]

$$P_{sk} = P_{pvo} + P_{tvo} = L * \pi * d * (\Theta_{pv} + \Theta_{tv}) / (R_i + R_g + R_c), \quad (1.2.11)$$

kus P_{sk} – kaugküttetorustiku peale- ja tagasivoolu summeeritud soojuskadu, W

P_{pvo} – kaugküttetorustiku pealevoolu torustiku soojuskadu, ilma tagasivoolu toru soojusliku mõjuta, W

P_{tvo} – kaugküttetorustiku tagasivoolu torustiku soojuskadu, ilma pealevoolu toru soojusliku mõjuta, W

$d_{t\ddot{o}o}$ – töötoru välisläbimõõt, m

Θ_{pv} – pealevoolu vee ja ümbritseva keskkonna vaheline temperatuuride erinevus, °C

Θ_{tv} – pealevoolu vee ja ümbritseva keskkonna vaheline temperatuuride erinevus, °C

R_i – isolatsioon soojustakistus, m²K/W

R_g – pinnase soojustakistus, m²K/W

R_c – temperatuuride koosmõju soojustakistus, m²K/W

Kaugküttetorustiku pealevoolu toru soojuskadu, W [4]

$$P_{pv} = P_{pvo} + P_{ptv} = L * \pi * d_{t\ddot{o}o} * ((R_i + R_g) * \Theta_{pv} - R_c * \Theta_{tv}) / ((R_i + R_g)^2 - R_c^2), \quad (1.2.12)$$

kus P_{pv} – kaugküttetorustiku soojuskadu ainult pealevoolu torustikust, W

P_{ptv} – pealevoolu torust tagasivoolu torusse kanduv soojusvoog, W

Kaugküttetorustiku tagasivoolu toru soojuskadu, W [4]

$$P_{pv} = P_{tvo} - P_{ptv} = L * \pi * d_{t\ddot{o}o} * ((R_i + R_g) * \Theta_{tv} - R_c * \Theta_{pv}) / ((R_i + R_g)^2 - R_c^2), \quad (1.2.13)$$

kus P_{tv} – kaugküttetorustiku soojuskadu ainult pealevoolu torustikust, W

Isolatsiooni soojustakistus, m²K/W [3]

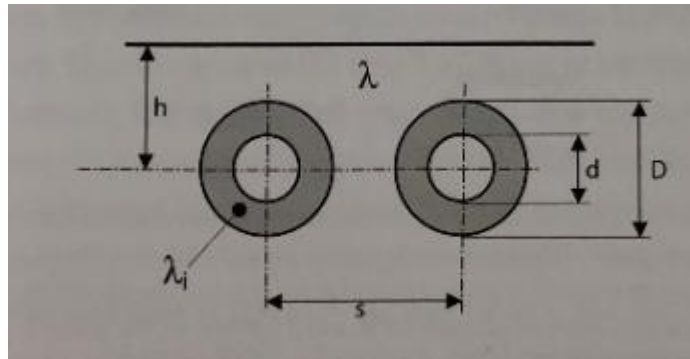
$$R_i = \left(\frac{d_{t\ddot{o}o}}{2 * \lambda_i} \right) * \ln \left(\frac{D_{isol}}{d_{t\ddot{o}o}} \right), \quad (1.2.14)$$

Pinnase soojustakistus, m²K/W [4]

$$R_g = \left(\frac{d_{t\ddot{o}o}}{2 * \lambda_p} \right) * \ln \left(\frac{4 * h}{D_{isol}} \right), \quad (1.2.15)$$

Temperatuuride koosmõju soojustakistus, m²K/W [4]

$$R_c = \left(\frac{d_{t\ddot{o}o}}{2 * \lambda_p} \right) * \ln \left(\left(\left(\frac{2 * h}{s} \right)^2 + 1 \right)^{0,5} \right), \quad (1.2.16)$$



Joonis 1.1 Valemites kasutatud sümbolite selgitav joonis [4]

1.3 Hüdraulilise modelleerimise tarkvara

Soojusvõrgu planeerimisel on üheks suurimaks katsumuseks võrgu hüdraulika arvutamine. Hüdraulikat on võimalik arvutada ka ühe torulõigu kaupa. Kuid täieliku pildi saamiseks võetakse appi programmid. Programmi abil on võimalik kiirelt läbi mängida mitmeid erinevaid stsenaariumeid. Arvutuste tulemusel on võimalik näha ära, millises kohas võib võrk jääda kitsaks vajaliku soojuse edastamiseks. Samuti saab programmi abil dimensioneerida võrgupumpasid. Võrgu hüdraulika modelleerimiseks pakutakse mitmeid erinevaid tarkvaralisi lahendusi.

Antud töös on kasutatud kaugkütte võrgu hüdrauliliste arvutuste tegemiseks Rootsi ettevõtte Vitec Software Group AB poolt arendatud programmi NetSim vahendusel. NetSim'i puhul on tegemist interaktiivse arvutustööriistaga nii kaugkütte, kaugjahutuse kui ka auru torustike võrkude arvutamiseks. [5]

Tarkvarasse saab sisestada olemasolevaid võrke erinevates GIS süsteemides ning lisada ja täiendada võrke programmis endas. Modelleeritavasse võrku on võimalik lisada mitmeid tootmisüksuseid, soojussalvesteid, pumbajaamu ja tarbijaid. [5]

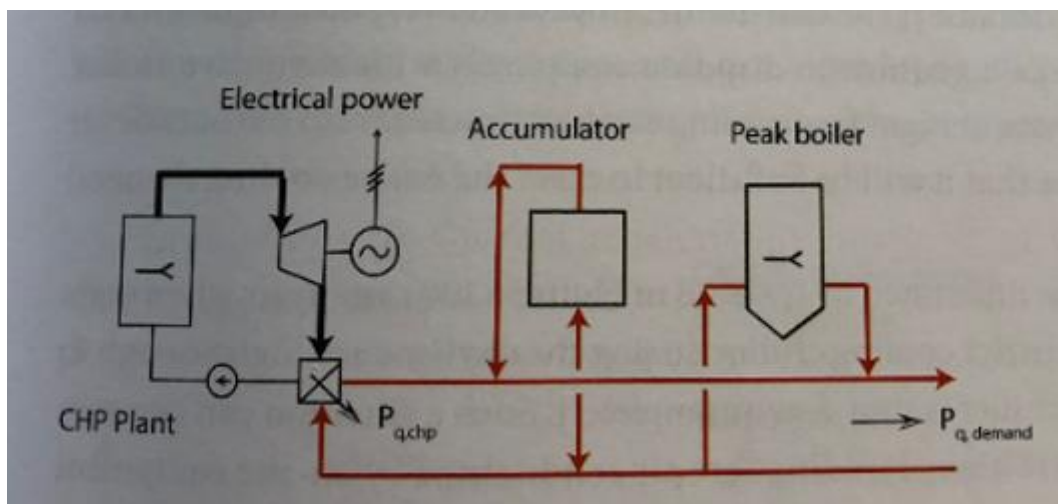
Planeeritud võrkudele on võimalik teha staatilisi ja dünaamilisi arvutusi. Staatiliste arvutuste puhul arvutatakse võrgu parameetrid ette antud andmete alusel kindlas ajahetkes. Dünaamiliste arvutuste puhul on võimalik ette anda erinevaid parameetrite muutuseid ajas ning sellest tulenevalt simuleerida reaalse võrgu toimimist. Dünaamiliste arvutuste puhul teostatakse simulatsioon staatiliste arvutustena kasutaja poolt ette antud intervallide tagant määratud perioodi jooksul. [5]

1.4 Soojussalvestid

Soojussalvestitena kasutatakse suuri isoleeritud mahuteid, millesse salvestatakse soojus, kui võrgus on madalama koormusega periood näiteks öö või päevane aeg kella 12.00 ja 15.00 vahel ning soojust tarbitakse hommikustel ning õhtustel perioodidel, kui on oodata suuremat koormust. Koostootmisjaamade kasutamise puhul aitab selline meetod ühtlustada soojustootmist päeva lõikes ning vähendada ebaefektiivsemate tipukoormuse katmiseks ettenähtud katelde töösse lülitust. Soojussalvestite kasutamisega soovitakse vähendada üldist soojuse tootmiskulu ning sellega kaasnevat mõju keskkonnale. [6, 7]

Soojussalvestid töötavad üldiselt väga lihtsal põhimõttel. Kui võrgu soojustarbimine on madalam kui katelde nominaalne soojusvõimsus, siis toimub mahutite laadimine. Kui võrgu soojusvajadus ületab katelde nominaalse soojuskoormuse, hakatakse mahutitest soojust võrku laadima. [7]

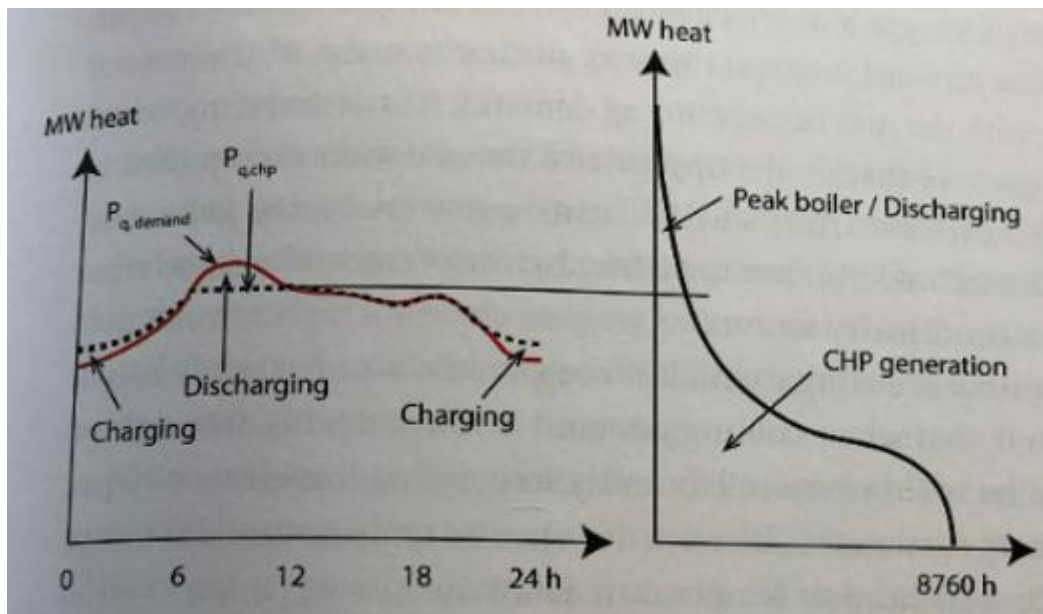
Joonisel 1.2 on kujutatud soojustootmine, kus peamiseks allikaks on CHP-st saadav soojus. Tootmisüksuse juurde kuulub veel soojussalvesti ja tipukatel. parempoolsel skeemil on kujutatud aastane soojuskoormuse kõver. Horisontaalne joon on tõmmatud kohta, millest all pool olevat koormust suudab katta CHP-st saadav soojushulk. [4]



Joonis 1.2 Osaline koormuse laadimine vältimaks tipu katla käivitamist [4]

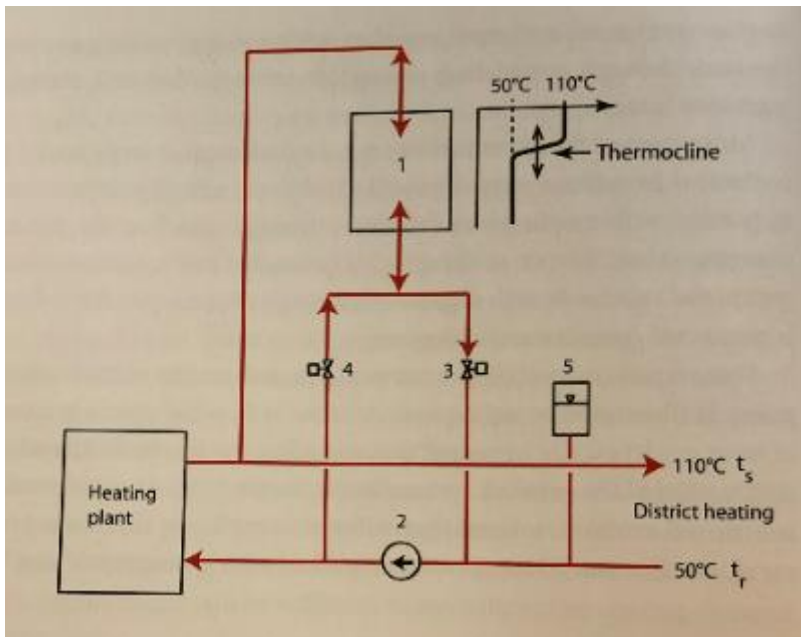
Päevane soojussalvesti laadimise ja maha laadimistsükkel on kujutatud joonisel 1.3 Talve haripunktis, kui vajaminev soojushulk on piisavalt suur ei jõuta mahutis ööpäeva jooksul tõsta temperatuuri soovitudni ning tuleb sisse lülitada tipukatel. Hommikusel ajal on lisaks suurenenud soojuse tarbimisele ka suurem elektritarbimine. Sellest tulenevalt

on suuremahulisi mahuti tühjaks laadimise raske teha, kuna selline tegevus kahjustaks elektritootmist. [4]

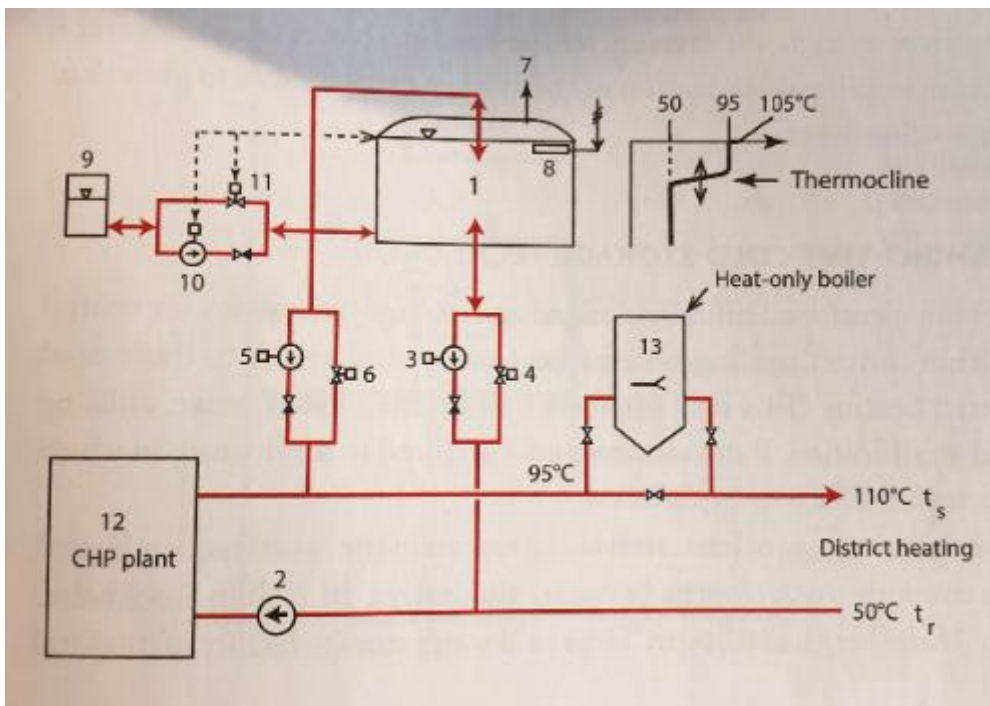


Joonis 1.3 Päevane ja aastane soojuskoormus [4]

Joonisel 1.4 kujutatud seadmete puhul on soojussalvesti sama rõhuga, millega on kaugkütte võrk. Sellist tüüpi mahuti suuruseks võib olla kuni 50000 m³. Suurema mahutavuse saavutamiseks on võimalik rohkem mahuteid ühendada võrguga. Antud skeemi juures toimuks mahuti laadimine, kui ventiil 3 on avatud. Salvestist soojuse võrku laadimine toimub, kui ventiil 3 on suletud ning ventiil 4 on avatud.



Joonis 1.4 Survestatud sojussalvesti skeem [4]



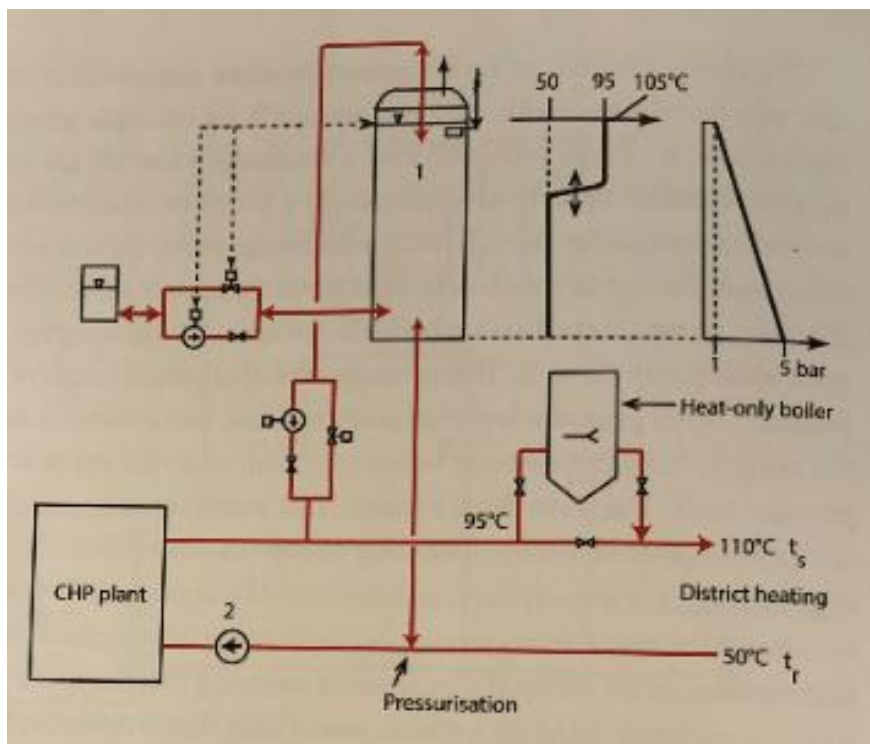
Joonis 1.5 Atmosfääri rõhul olev sojussalvesti [4]

Kasutusel on sojussalvestid, kus sojuskandja on atmosfäärirõhul. Seda tüüpi sojussalvesti on kujutatud joonisel 1.5. Seda tüüpi mahutid on tavaliselt terasest, kuid

ei pea vastama rõhuanuma nõuetele. Paljudel juhtudel on vanad nafta mahutid ümber ehitatud soojussalvestiteks võrdlemisi madalate kuludega. [4]

Sellist tüüpi mahuti laadimis- võrkulaadimise tsükkel on palju keerulisem, kui survestatud mahutitel. Laadimispump(3) ja mahalaadimisventiil(4) on paigaldatud paralleelselt. Ühendades mahuti alumise osa võrgu tsirkulatsiooni pumbaga (2). Samal ajal on ühendatud mahalaadimispump (5) ja laadimisventiil(6) mahuti ülemise otsa ja pealevoolu toruga. Mahuti laadimisel pump (3) töötab ja ventiil(6) on avatud. Mahutist võrku laadimisel on ventiil (4) avatud ja pump (5) töötab. Selline lahendus hoiab ka võrgu rõhku stabiilsena. Kui võrgurõhk langeb liiga madalale, pumbatakse mahutist võrku vett juurde. Liiga kõrge võrgurõhu korral avatakse ventiil (4). Mahuti enda veetaset hoiab mahuti (9) koos pumba(10) ja ventiiliga (11). Mahutis hoitakse atmosfääri rõhust natukene kõrgemat rõhku ventilatsioonitoru (7) abil. Elektriline küttekeha (8) tagab, et veekohal tühimik oleks täidetud auruga. See on tehtud selleks, et tõrjuda välja õhk, kuna õhus sisalduv hapnik võib lahustuda vees ja põhjustada korrosiooni mahutis. [4, 9]

Sellist tüüpi mahutid on sobilikud madalate või keskmiste peale- ja tagasivoolutemperatuuride puhul, kuna ülemine osa mahutist on piiratud temperatuuriga 100 °C. [4]



Joonis 1.6 Avatud soojussalvesti võrgu rõhuhoidmis süsteemiga [4]

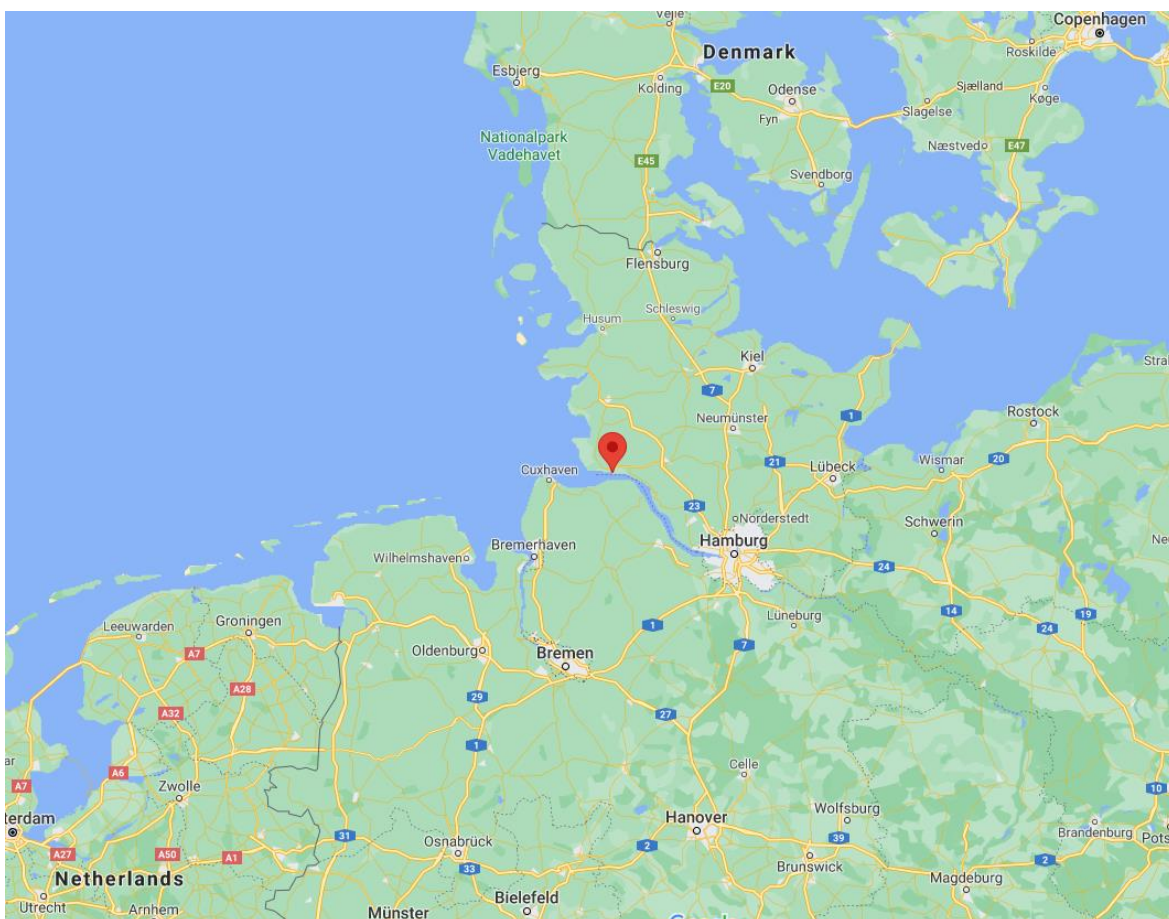
Joonisel 1.6 on kujutatud sarnane mahuti nagu joonisel 1.5. Selle lahenduse puhul on mahuti alumine pool otse ühenduses võrgupumba imipoolega. Mahuti aitab hoida rõhku võrgus. Selline lahendus soosib kõrgete kitsaste mahutite kasutamist, sest kui on võrgus vaja saavutada 5 bar läheb vaja 40m kõrgust veesammast.

2 Brünsbütteli kaugküttevõrk

2.1 Olemasoleva olukorra kirjeldus

Brunsbütteli linn asub loode Saksamaal Põhjamere kaldal Elbe jõe ja Kieli kanali suudmes, vaata joonis 2.1. Brunsbütteli linn asub 65km² suurusel alal ning on kodus 13400 elanikule. [8]

Hetkel puudub linnas ühtne kaugküttejaoitusvõrk, kuid on erinevates piirkondades väiksemaid võrke. Nendest võrkudest suurim on kesklinnas olev Vattenfallile kuuluv gaasikatlamajal töötav võrk, millega varustatakse kohaliku gümnaasiumit ning mitmeid lähedal asuvaid kaubanduskeskuseid ja büroohooneid. Gaasikatelde maksimumvõimsus on 3,6MW. Võrgus oleva torustiku pikkus on alla 2 km.



Joonis 2.1 Brünsbütteli asukoht kaardil [11]

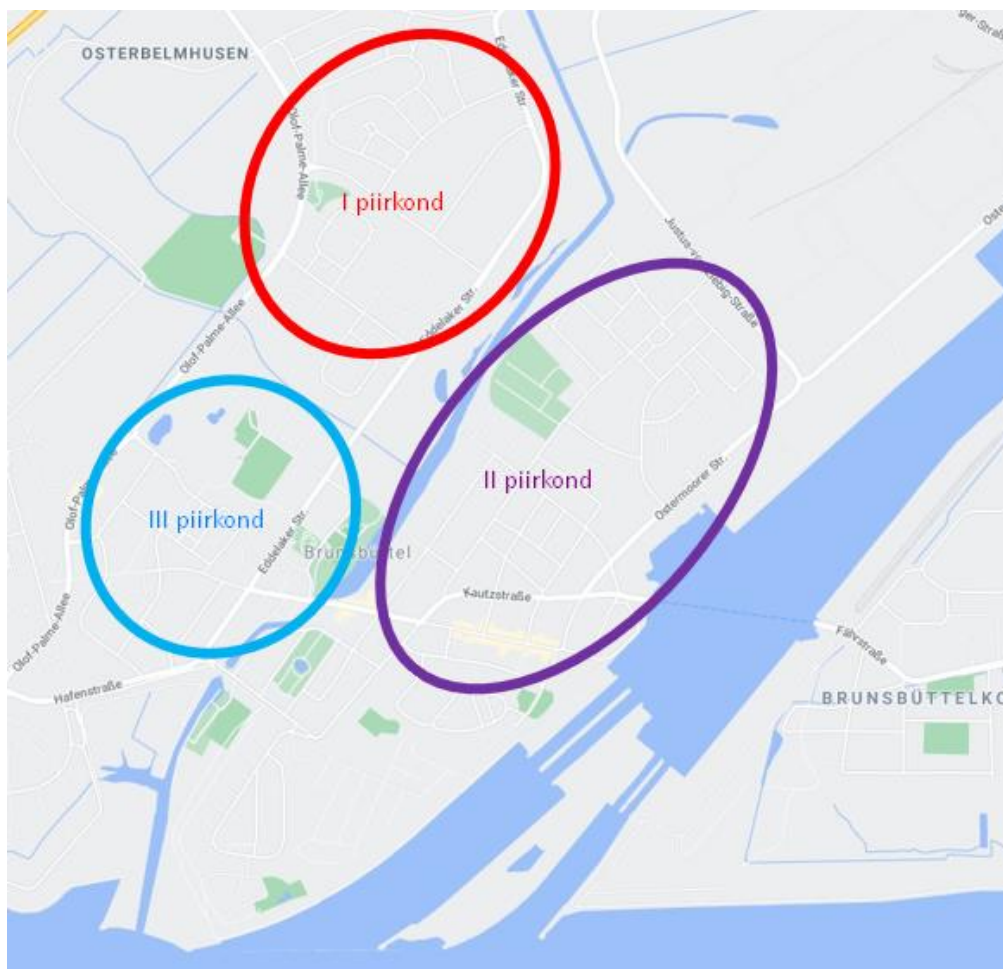
Kesklinnas paiknevaid konverentsikeskust Elbeforunit ning veekeskust Freizeitbad Brunsbüttelit varustatakse soojusega linna põhja osast tuleva trassi abil. Trassi pikkuseks on 3,2km. Selles võrku tarnitakse soojus keemia ettevõtte Sasol Germany protsesside jääksoojusest. Maksimaalne võrku tarnitav võimsus on 1,6 MW.

Jõe Braake ja Kieli kanali vahele jääb väiksemaid soojusvõrke, mis koosnevad kuni 5 korterelamust. Selliseid võrke on kokku kuus ning kogu hinnanguline võimsus on 2,1MW.

Lisaks varustatakse Sasoli keemia ettevõtet auruga, mis toodetakse teisel pool Kieli kanalit paiknevas biomassi koostootmisjaamas (CHP). Olemasoleva võrgu pikkuseks on 3,5km.

2.2 Võrku lisanduvate tarbijate paiknemine

Rajatav võrk hakkab katma enamus Kieli kanalist läände jäävat osa Brunsbütteli linna haldusüksusest. Hetkel ei ole planeeritud võrku laiendada Am Fleth tänavast edelasse ja Koogstrassest lõunasse jäävat piirkonda. Nende piirkondade välja jäämine tuleneb sellest, et tegemist on valdavalt eramutest koosnevate piirkondadega.



Joonis 2.2 Brunsbütteli kaart koos tarbimispiirkondade markeeringutega [12]

Brunsbütteli linn on kujutatud joonisel 2.2. tarbijate lihtsamaks markeerimiseks jagati linn kolme piirkonda. Punase ringiga on kaardil märgitud esimene piirkond. Sellesse piirkonda jäävad peamiselt eramud, kuid ka mõningad tööstusettevõtted ja tennisehall. Teine piirkond on märgitud lilla ringiga. Teises piirkonnas on palju korter elamuid, pisemad kauplushooned ja haigla. Sinise ringiga on märgitud kolmas piirkond, kesklinna piirkond.

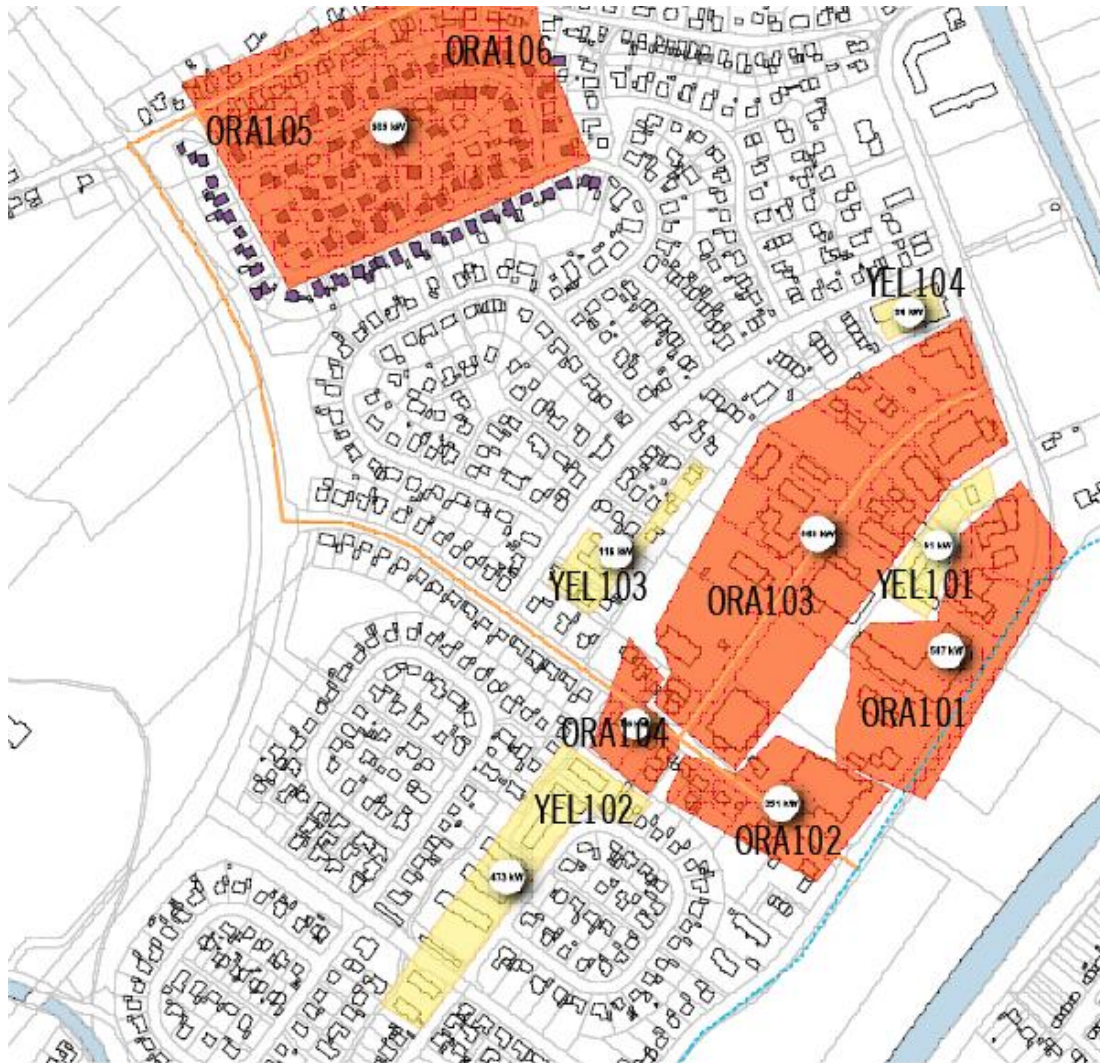
Võrguga liidetavad tarbijad on jagatud kolme gruppi: roheline, oranž ja kollane. Rohelises grupis on tarbijad, kellega on jõutud liitumise osas kokkuleppele. Olemasolevate võrkude tarbijad Vattenfalli ja Sasoli võrkudest, samuti ka tarbijad pisematest juba eksisteerivatest võrkudest. Uutest tarbijates on selles grupis kohalik katoliku kirik, linnavalitsus ja haigla, mõningad mitmepere elamud ning paar arendus objekti. Antud grupi kuuluvate tarbijate kogu soojuskoormus on arvestuslikult 9107 kW.

Oranžis grupis on tarbijad, kellega ei ole liitumiste osas veel läbirääkimisi alustatud, kuid on näidanud üles huvi liitumiseks võrguga. Sellesse gruppi kuuluvad peamiselt kesklinnas asuvad kaubanduskeskused ning mitmed planeeritud trassi äärde jäävad kortermajad ja mitme pere elamud. Selles grupis olevate tarbijate kogu soojuskoormus jääb 9578 kW juurde.

Kollasesse gruppi jäävad need tarbijad, kelle liitumine võrguga on kõige ebatõenäolisem, kuid arvutustes on nendega arvestatud tulenevalt nende paiknemisest rajatava võrgu suhtes. Selles grupis on valdavalt tegu ühe pere elamutega, kuid on ka mõningaid korterelamuid ja kaubanduskeskuseid. Sellesse gruppi jäävate tarbijate hinnanguline soojuskoormus jääb 6120 kW juurde. Kolme grupi peale kokku on planeeritava võrgu kogu soojus vajadus 24806 kW.

Tabel 2.1 Piirkonnas 1 paiknevad tarbijad jaotatud võrguga liitumise ajakava järgi

Tarbija	Koormus, kW	Tarbija	Koormus, kW
ORA101	507	YEL101	81
ORA102	351	YEL102	473
ORA103	963	YEL103	116
ORA104	65	YEL104	90
ORA105	507		
ORA106	78		
Kokku:	2471		760
Piirkond kokku:	3231		



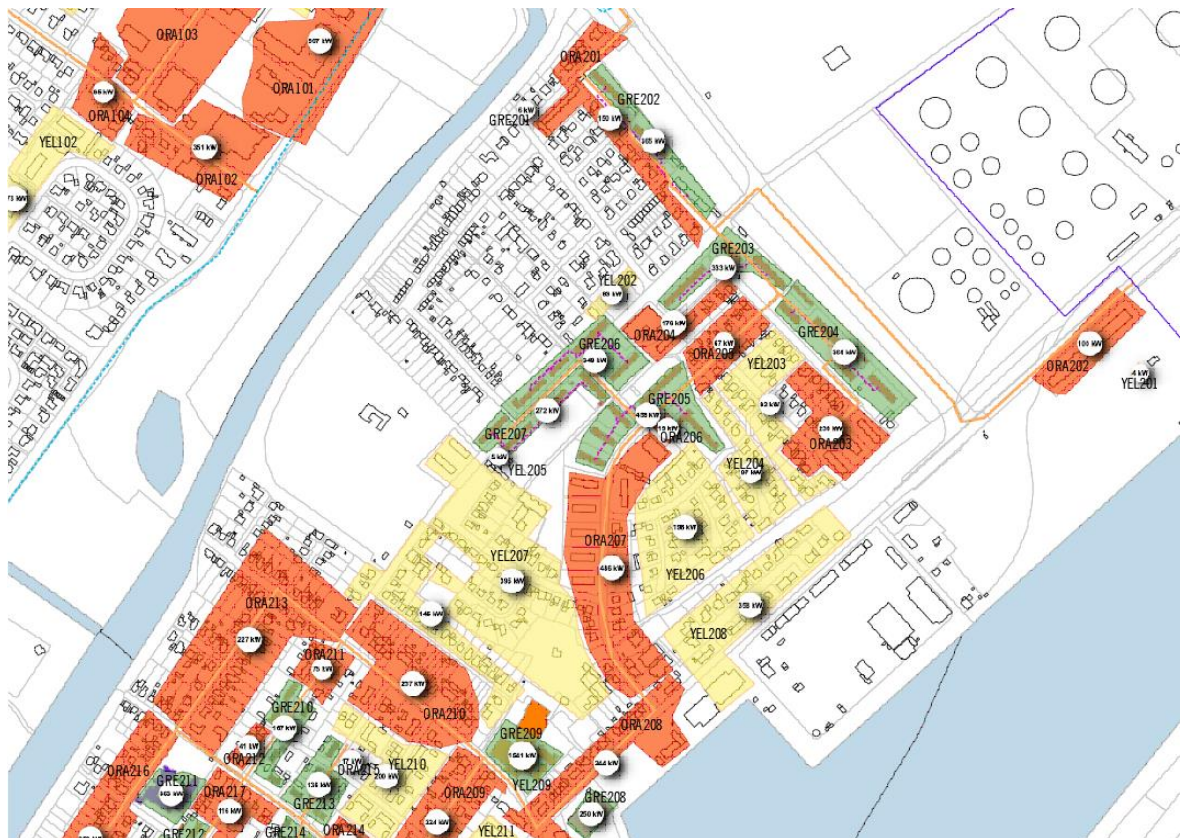
Joonis 2.3 Piirkond 1 tarbijad kaardil

Kui vaadata tabelites 2.1-2.3 esitatud tarbija grupe, siis seal on näha, et piirkonnad ei ole võrsete suurusega. Esimesse piirkonda jäävad tarbijad moodustavad kokku 3231 kW tarbimiskoormus. Samuti on näha ka, et selles piirkonnas ei ole ühtegi roheline grupi tarbijat. See on tingitud sellest, et antud piirkonnas ei ole toimivat kaugküttevõrku ning tarbijate liitumine uue süsteemiga on keerukam tulenevalt võimalikest lisainvesteeringutest. Joonistel 2.3-2.6 on esitatud piirkondade 1, 2 ja 3 tarbijate grupid asukohaga kaardil. Joonised on lisatud kuvamaks tabelites 2.1- 2.3 esitatud tarbijate paiknemist.

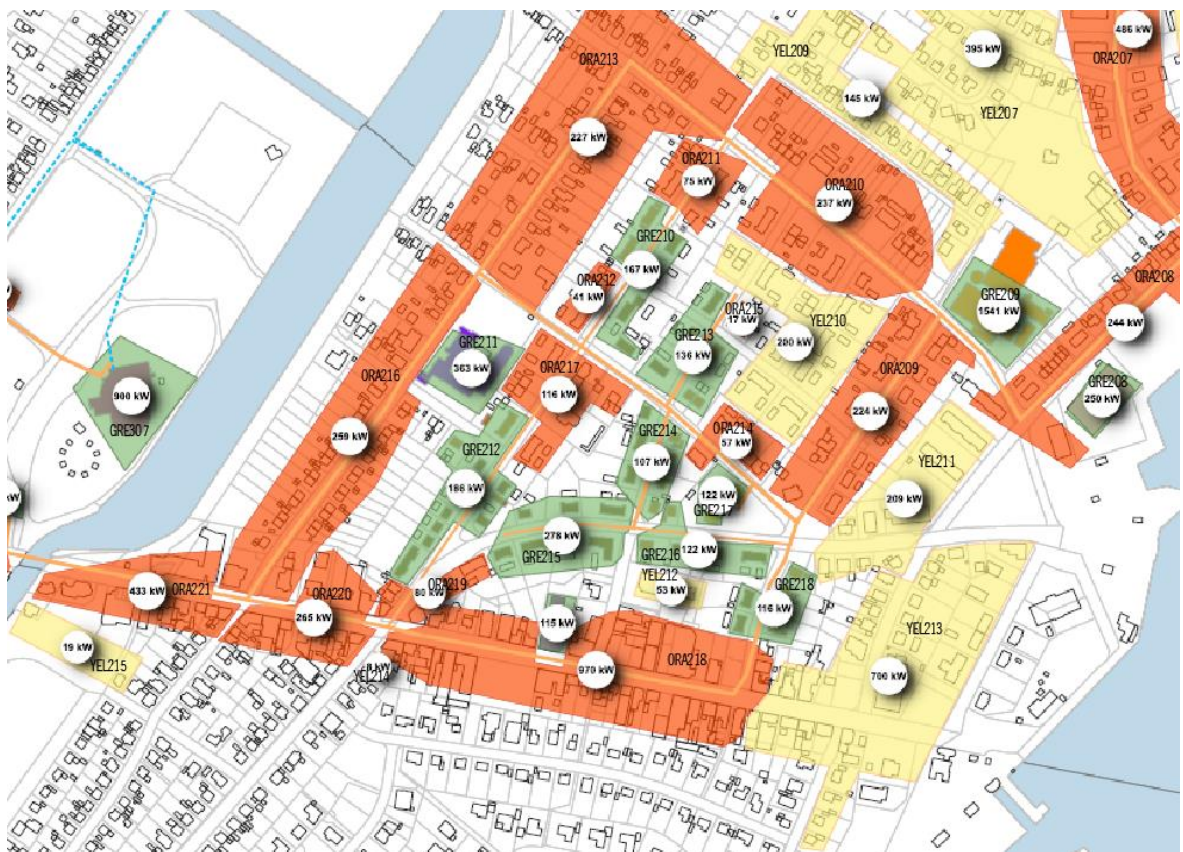
Tabel 2.2 Piirkonnas 2 paiknevad tarbijad jaotatud võrguga liitumise ajakava järgi

Tarbija	Koormus, kW	Tarbija	Koormus, kW	Tarbija	Koormus, kW
ORA201	150	YEL201	4	GRE201	6
ORA202	100	YEL202	83	GRE202	365
ORA203	238	YEL203	92	GRE203	333
ORA204	179	YEL204	97	GRE204	366
ORA205	67	YEL205	5	GRE205	458
ORA206	19	YEL206	198	GRE206	348
ORA207	486	YEL207	395	GRE207	272
ORA208	244	YEL208	358	GRE208	250
ORA209	224	YEL209	145	GRE209	1541
ORA210	237	YEL210	200	GRE210	167
ORA211	75	YEL211	209	GRE211	363
ORA212	41	YEL212	53	GRE212	186
ORA213	227	YEL213	700	GRE213	136
ORA214	57	YEL214	8	GRE214	107
ORA215	17	YEL215	19	GRE215	278
ORA216	259			GRE216	122
ORA217	116			GRE217	122
ORA218	970			GRE218	116
ORA219	80			GRE219	115
ORA220	265				
ORA221	433				
Kokku:	4484		2566		5651
Piirkond kokku:	12701				

Teises piirkonnas on kõige suurem tarbimisvõimsus. Selles piirkonnas on peaaegu kõik liitujate grupid oma koormuselt suuremad, kui terve esimene piirkond. Kollane grupp jääb esimese piirkonna kogu võimsusele alla ainult 665 kW. Teises piirkonnas on suur kindlate liitujate osakaal kuna seal on mitmeid tarbijaid, kelle vahel on pisem kaugküttevõrk. Lisaks jääb antud piirkonda ka kohalik haigla, kelle jaoks oleks kaugkütte puhul turvalise ja kindla soojusallikana. Hetkel varustab haiglat hoones paiknev CHP jaam, mille täpne võimsus ja kütus ei olnud tellijale teada.



Joonis 2.4 Piirkond 2 tarbijad kaardil

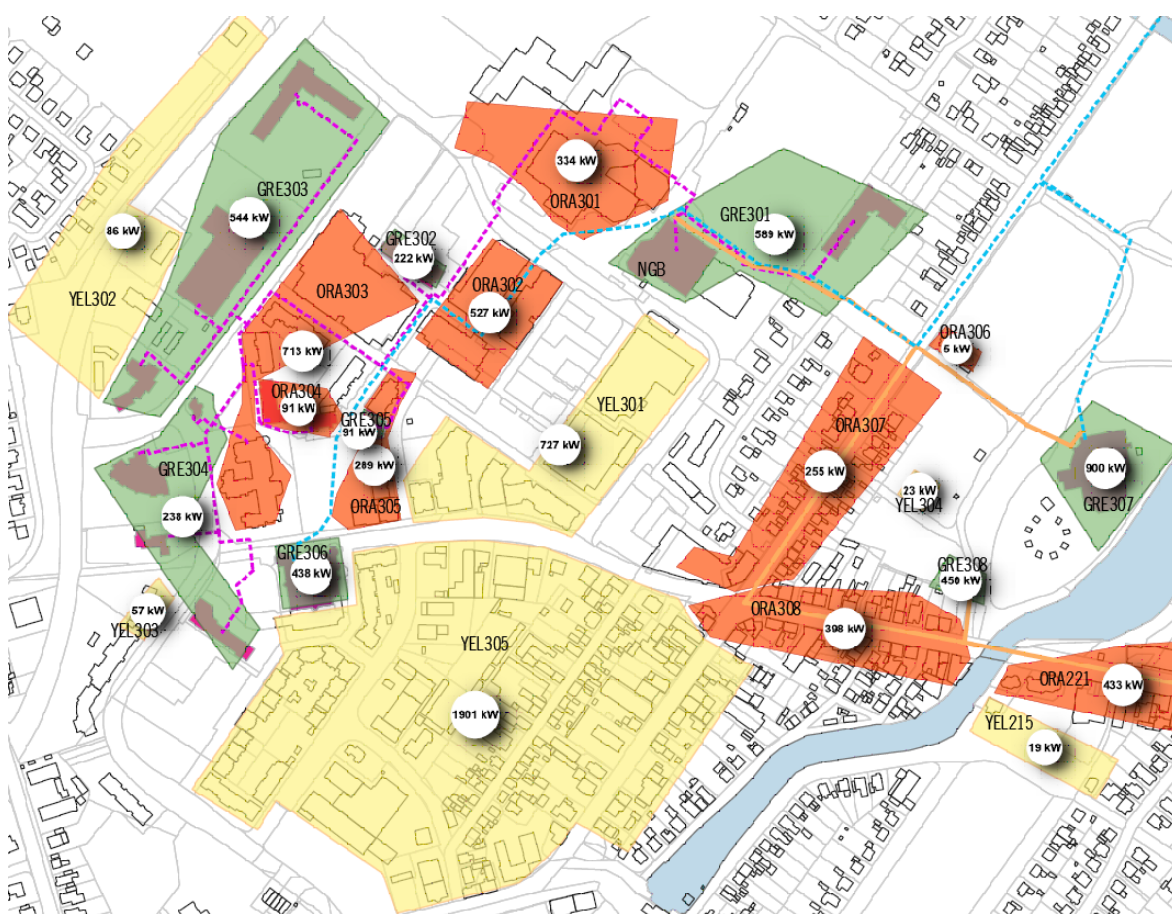


Joonis 2.5 Piirkond 2 tarbijad kaardil

Kolmandas piirkonnas on suur kindlate liitujate osakaal, mis on tingitud sellest, et hetkel on piirkonnas arenenud kaugküttevõrgud, millel on mitmeid arvestatava võimsusega tarbijaid ning kelle uue võrguga liitumine ei ole suureks probleemiks.

Tabel 2.3 Piirkonnas 3 paiknevad tarbijad jaotatud vastavalt võrguga liitumise ajakava järgi

Tarbija	Koormus, kW	Tarbija	Koormus, kW	Tarbija	Koormus, kW
ORA301	334	YEL301	727	GRE301	589
ORA302	527	YEL302	86	GRE302	222
ORA303	713	YEL303	57	GRE303	544
ORA304	91	YEL304	23	GRE304	238
ORA305	289	YEL305	1901	GRE305	91
ORA306	5			GRE306	438
ORA307	255			GRE307	900
ORA308	398			GRE308	450
Kokku:	2612		2794		3472
Piirkond kokku:	8878				



Joonis 2.6 Piirkond 3 tarbijad kaardil

Võrgu dimensioneerimise lähteülesandes on ette antud, et tarbijate puhul tuleb arvestada üheaegsusteguriga 0,5. See tähendab seda, et tervet võrku soojusega varustada tuleb arvestada võrgu koormusega 12403 kW. Hetkel olemasolev tootmisvõimsus on gaasikatlamaajas 3600kW, keemia tööstuse jääksoojusest saab veel lisaks 1600kW. Lisaks on võimalik võtta aurutorustikult vahelt välja võtte 3000kW võimsuse tarbeks. Seega hetke olukord näeb ette, et soojusvarustus on tagatud 8200 kW näol. See ei ole piisav, et katta ära vaja minev soojuskoormus. Sellest tulenevalt on planeeritud suurendada gaasikatelde võimsust 5953 kW, keemiatööstuse jääksoojuse eraldamist 3450 kW ning väljavõtet aurutorustikust 5000 kW. Antud juhul oleks tagatud 14403 kW. Lisaks on plaanis lisada võrku 3000 kW võimsusega soojussalvestid. Selle tulemusena oleks tipphetkel võrku soojust andvate üksuste summaarne võimsus 17403 kW.

Vastavalt tellija soovile toimub soojuskoormuste katmine 50%ulatuses maksimaalsest. Arvutusi teostades tuleb arvestada sellega, et kogu tootmisüksuste võimsust ei rakendata üheaegselt. Sellest tulenevalt pakkus tellija välja kaks stsenaariumit võimsuste jagunemiseks tootmisüksuste vahel. Stsenaariumid on esitatud tabelis 2.4.

Tabel 2.4 Tellija poolt ette antud soojusvarustusstsenaariumid tippkoormuse ajal.

Tootmisüksus	Võimsus tippkoormuse ajal	
	Stsenaarium 1	Stsenaarium 2
Sasol Waste heat, tööstuse jääksoojus, kW	3450	3450
Biomassi CHP, auru muundamine, kW	5000	0
Soojussalvestid, kW	3000	3000
Gaasikatlad, kW	953	5953

Mõlema tellija pakutud stsenaariumi puhul kasutatakse tööstuse jääksoojust võrdselt 3450 kW ulatuses. Biomassi CHP jaamas toodetava auru soojust kasutatakse stsenaarium 1 puhul 5000 kW jagu. Stsenaarium 2 puhul seda allikat ei kasutata. Mõlema stsenaariumi kohaselt toimuks soojussalvestitest 3000 kW laadimine võrku nagu on näidatud tabelis 2.4. Gaasikatlad rakendatakse esimeses stsenaariumi puhul 953 kW ulatuses. Teise stsenaariumi järgi rakendatakse gaasikatlad tööle 5953 kW täisvõimsusel.

2.3 Rajatava võrgu dimensioneerimine

Võrgu dimensioneerimisel oli antud järgmised kriteeriumid. Võimaluse korral tuleb arvestada olemasoleva soojusvõrguga ja planeeritav soojustorustik peab olema 3. isolatsiooniklassiga. Isolatsiooniklass on torutootja poolt sama läbimõõduga torude puhul erineva paksusega isolatsioon. Näiteks on DN100 toru puhul 1. isolatsiooniklassi torul eelioleeritud osa välisläbimõõt 200mm, teise isolatsiooniklassi puhul 225mm ja kolmanda isolatsiooniklassipuhul 250 mm. Suurem isolatsioonikestaga on võimalik vähendada soojuskadusid. [13]

Pärast algse lähteülesande saamist ei muutunud võrguplaan väga palju. Muudeti soojussalvestite paiknemisala, mille tulemusel koondus rohkem soojusvõimsust linna põhja osas asuvale alale ning planeeritud võrgu lõuna osasse jääb ainult gaasikatlamaja.

Võrku oli planeeritud üks suur ringvooluga liin ning jõe Braake ja Kieli kanali vahelisele alale mitu väiksemat ringi. Ringühenduse soov oli kaasas tellija lähteülesandes. Ringühenduse eelisteks on parem soojusülekandevõime ja suurte alade teenindamata jäämise riski vähendamine magistraaltorustiku lõhkemise korral. [4]

Tabel 2.5 Dimensioneeritud torude läbimõõdud ning lõikude pikkused

Torutüüp	Lõikude arv	Sisediameeter	Torustiku pikkus	Pikkus
	tk	mm	m	m
2xDN250/500	44	263	1853	3706
2xDN200/400	76	210.1	3078	6155
2xDN200/315	2	210.1	53	107
2xDN150/315	32	160.3	1947	3895
2xDN125/280	8	132.5	323	646
2xDN100/250	18	107.1	716	1433
2xDN80/200	8	82.5	210	420
2xDN65/180	62	70.3	2475	4950
2xDN50/160	32	54.5	426	853
2xDN40/140	20	43.1	402	803
2xDN32/140	42	37.2	1429	2858
2xDN25/125	16	28.5	412	823
2xDN20/125	16	21.7	538	1077
Kokku:	376		13862	27724

Tabelis 2.5 esitatud olemasolevates torustikes on toodud ka torustikud, mis on suurema läbimõõduga, kui oleks optimaalne. Nende torustike optimaalsema vastu välja vahetamist vaadatakse töö hilisemas faasis ning kuidas see võrku mõjutab. Enamus olemasolevate torustike jätmine samadele läbimõõtudele tuleneb tellija soovist.

Võrgu dimensioneerimisel sai aluseks võetud, et võrgu suur ringühendus oleks võimalikult suure optimaalse läbimõõduga, kuid selle teostamisel oli mitmeid takistusi. Näiteks jõe Brake ületus kahes kohas, kus ühes kohas ei olnud võimalik arvestada torustiku rekonstrueerimisega jõe alt läbiminekul ning teises kohas oli piiravaks teguriks käesoleval aastal rekonstrueeritav sild. Silla konstruktsioonide puhul oli arvestatud soojustorustike välisläbimõõduga 315mm, mis tähendas seda, et sellele lõigule tuli ette näha madalama isolatsiooniklassiga torustiku paigaldamine.

Olemasolevate torustike vanusest oleks kasu torustike soojuskadude arvutamisel, kuna see annaks võimaluse hinnata torustikel oleva isolatsioonimaterjali degradeerumist ajas. Olemasolevate torustike vanust ei ole tellija poolt edastatud, kuna antud töö peamiseks ülesandeks oli soov saada planeeritava võrgu hüdraulika kohta ülevaade ning dimensioneerida torustik.

Tabel 2.6 Olemasolevatest võrkudest alles jäetud torustikud

Torutüüp	Lõikude arv	Sisediameeter	Torustiku pikkus	Pikkus
	tk	mm	m	m
2xDN125/225	20	132.5	801	1602
2xDN100/200	10	107.1	1646	3293
2xDN65/140	6	70.3	121	241
Kokku:	36		2568	5136

Tabelites 2.5 ja 2.6 esitatud torulõikude arv võtab arvesse nii peale- kui ka tagasivoolutoru. Torustiku pikkuste all on esitatud sirgete lõikude pikkused. Torustike paigutamisel kaardile ei võetud arvesse kompenseerivate elementide paiknemist. Samuti ei arvestatud ka olemasolevate võrkude, puude ja rajatistega ning nendest ümber põikamisega. Tabelites 2.5 ja 2.6 näidatud torupikkuste puhul ei ole arvestatud ka iga üksiktarbijani jõudmist. Enamus juhtudel on jagatud väiksemateks gruppideks. Mõningatel juhtudel on arvestatud ka üksiku lõpptarbijaga, kus tarbija on piisavalt suur või eristuv ümbritsevatest tarbijagrupidest.

Hinnanguliselt võib maha pandavate torude pikkused olla summaarselt 15-25% võrra suuremad. See on tingitud varasemalt mainitud tingimustest. Seda tuleb arvesse võtta

ka antud töö hilisemas faasis kui analüüsimise dimensioneeritud võrku ning võrgus tekkivat rõhukadu. Võrgu projekteerimise ja ehitamise käigus tuleb teha võrgu plaanis täiendusi ja täpsustusi, et saaks õigesti dimensioneerida võrgupumbad.

2.4 Tulemuste analüüs

Selleks, et jõuda optimaalseima tulemuseni. Tuli teha võrgule mitu erinevat arvutust. Esimene arvutus oli võrgu dimensioneeriv arvutus, millest kirjutati lähemalt eelmises alapeatükis. Seal esitatud tabelites on näidatud võrgu lõplikud läbimõõdud. Kuid selles peatükis vaatame lähemalt, kuidas selle tulemuseni jõudsime.

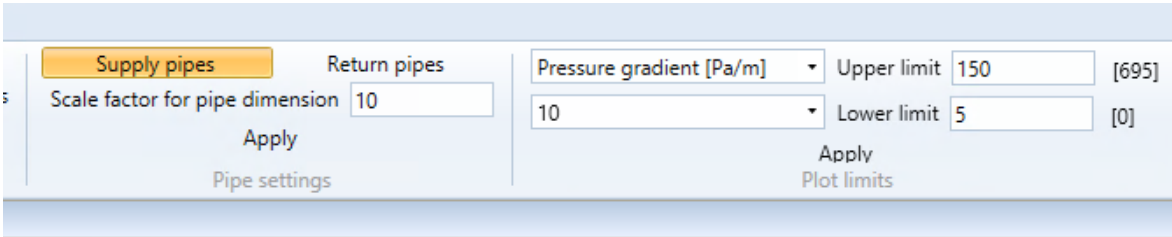
Programm hakkab arvutama läbimõõtusid alates kindlatest punktidest, mida kasutaja on talle ette andnud alginfona. Üheks punktiks on kaugeim punkt võrgus, kus peab olema tagatud etteantud rõhkude vahe. See punkt ei pruugi vastata tegelikkusele ning kui on selline olukord, siis programmi enda arvutuste järgi näitab ära punktid, kus on rõhk langenud alla seatud piirmäära. Arvutuste ja katsetuste käigus juhtus ka olukordi, kus tagasivoolu torus oli suurem rõhk kui pealevoolu torus. Teiseks oluliseks sisendiks on mitme allika puhul tuleb määrata ära rõhku hoidev jaam. Seal on võimalik määrata ära, kas rõhu hoidmine toimub peale või tagasivoolul või peab hoidma mingit kindlat rõhkude vahet. Seda on selleks vaja, et teada, mis punkti arvutused peaks kokku suubuma. Lisaks tuleb mitme katlamaja puhul jätta üks jaam lahtise võimsusega. See on selleks, et oleks võimalik kompenseerida soojuskadusid. Viimaseks arvutuste eelduseks on see, et tuleb määrata ära suvalistele torudele läbimõõdud, mis on arvutustest võrdluspunktiks. Selles osas ei ole vahet, kas see toru on sellel hetkel ala- või üledimensioneeritud, kõige parema isolatsiooniga või paigutatud kanalisse.

Programmile oli veel sisendina antud piirväärtused, mille järgi ta valis toru läbimõõte. Piirväärtusteks olid kiirus ja erirõhukadu. Väiksema läbimõõduga kui DN100 torude puhul kasutati piirväärtusena toru sees voolava keskkonna kiirust. Piirväärtuseks oli 1m/s. See tähendab seda, et kui arvutatud toru oli väiksem, kui DN100 ning kiirus torus oli suurem, kui 1m/s, siis tehti kontrollarvutus üks läbimõõt suurema toruga. Kui kiirus langes alla 1m/s, siis arvutati järgmine torulõik, kui mitte tuli uuesti suurendada läbimõõtu. Erirõhukadu oli jälgitavaks parameetrik torudes, mis olid suuremad, kui DN100. Põhjus, miks suuremate torude puhul on läbimõõdu valitud piiravaks faktoriks erirõhukadu on see, et üldiselt suurema läbimõõduga torud varustavad rohkem tarbijaid ning nende torulõikude pikkused võivad olla sadades või tuhandetes meetrites. See tähendaks seda, et kui on soov tagada piisav rõhukadu kõikide tarbijate juures, siis

tuleb katlamajast lahkuva soojuskandja rõhku tõsta väga palju optimaalse lahenduse omast kõrgemaks. Paljudel juhtudel on piiriks, katlad, soojusvahetid, kraanid ja torud, mis ei pruugi vastata vajalikule rõhule. Suurem rõhu tõstmine mõjutab ka pumpamiskulusid, sest sama vooluhulga juures suurema tõstekõrguse tagamiseks tarvivad pumbad rohkem voolu. See, aga kajastub võrguvaldaja suurenenud elektriarvetes. Erirõhukao ülemiseks piiriks oleme võtnud 150 Pa/m kohta.

2.4.1 Võrgu hüdrauliline arvutus. Variant number 1

Esimene variant, mida lähemalt analüüsimise on programmi enda poolt arvutatud läbimõõdud ning miks see ei olnud kõige parem variant meie olukorras. Selleks, et arvutatud tulemustest paremini aru saada kasutasime NetSimi tarkvaras olevat rakendust NetSim Analyse, mis aitab visualiseerida saadud arvutustulemusi kaartide, tabelite ja graafikute abil. Kaardi puhul on tegemist kõige üle vaatlikuma tööriistaga. Saad valida parameetri ning piirväärtused, mille alusel ta torulõigud kaardil värvib, vaata joonis 2.7. Lisaks on võimalik valida ka mitmeks erinevaks piirkonnaks piirväärtuste vaheline ala jagatakse ning kas seda tehtaks peale- või tagasivoolu kohta.



The screenshot shows a software interface with two main sections: 'Pipe settings' and 'Plot limits'. In the 'Pipe settings' section, there are two tabs: 'Supply pipes' (highlighted in orange) and 'Return pipes'. Below the tabs is a text input field for 'Scale factor for pipe dimension' with the value '10' and an 'Apply' button. In the 'Plot limits' section, there is a dropdown menu for 'Pressure gradient [Pa/m]' with a downward arrow, and two text input fields for 'Upper limit' (value '150') and 'Lower limit' (value '5'). To the right of these fields are the units '[695]' and '[0]' respectively. There is also an 'Apply' button for the plot limits.

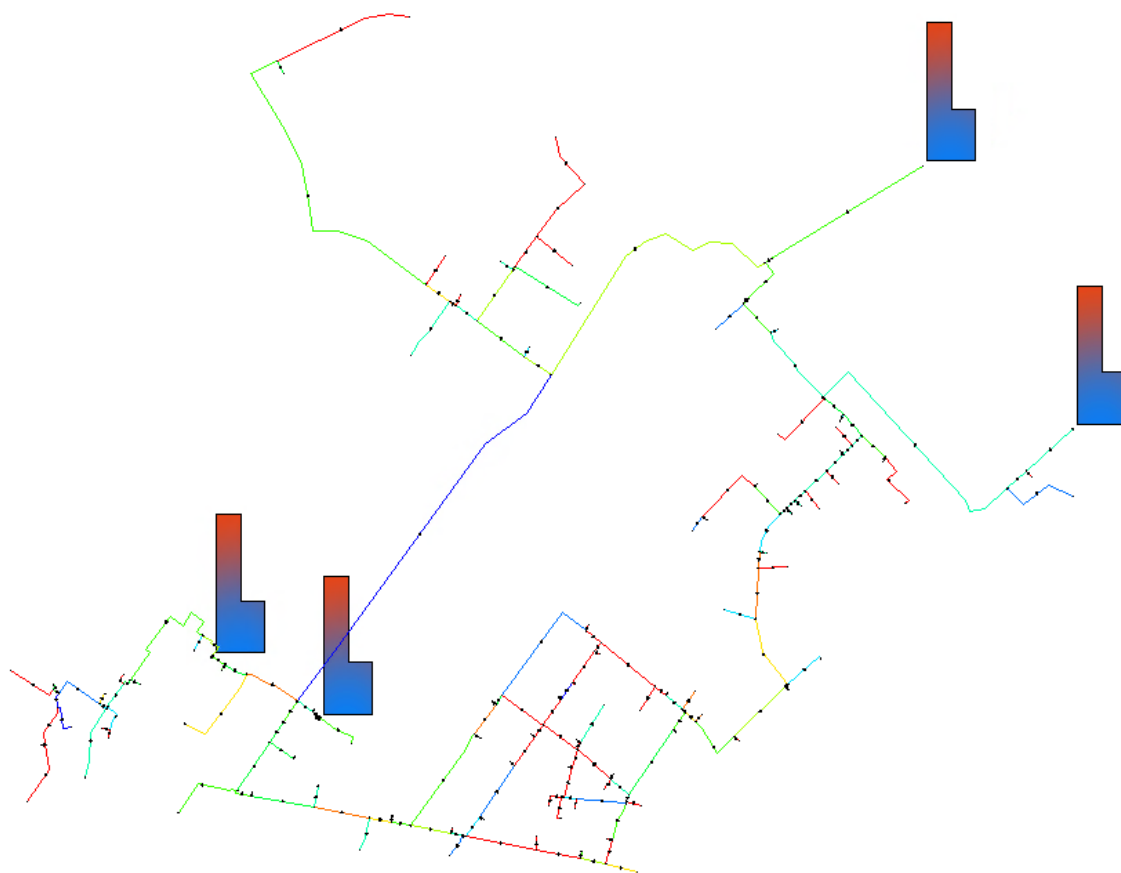
Joonis 2.7 Kaardil kuvatava parameetri ja piirväärtuste seadistamine

Kahjuks on NetSimi Analyse tööriistal üks halb külg ka. Seal ei ole võimalik lisada kaardi tööriistale taha tausta. Lihtsamaks võrdluseks tänavatega, kus antud torulõik asub.

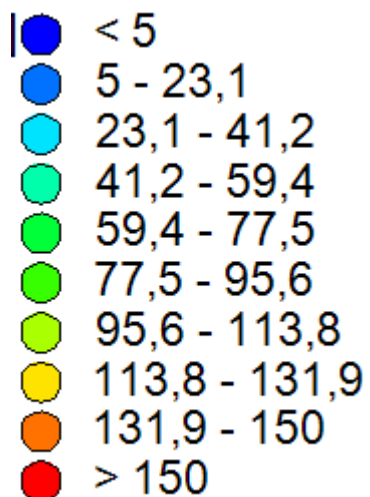
Alloleval joonisel 2.8 võib näha erirõhukadu võrgus programmi poolt arvutatud läbimõõtude kohta. Punased lõigud tähistavad kohti, kus erirõhukadu jääb üle 150 Pa/m kohta ning sinised lõigud kohti, kus erirõhukadu jääb alla 5 Pa/m kohta. Täpsem selgitus on joonisel 2.9, kus on kuvatud legend. See legend kehtib kõigi erirõhukao jooniste koha.

Lähemal vaatlusel on kuvatud ka nooled näitamaks voolusuundasid iga lõigu kohta. Kuna meil on tegemist ringistatud võrguga, siis annab see hea ülevaate, millistes jaamades valmistatud soojus jõuab, milliste tarbijateni. Antud olukorras on kujunenud nii, et kaks kirde poolset jaama suudavad tagada kogu vajaliku võimsuse varustamiseks

linna põhja poolset osa ning kaks loodes asuvat jaama on suutelised varustama linna lõuna osa.



Joonis 2.8 Tulemuste visualiseerimine kaardil

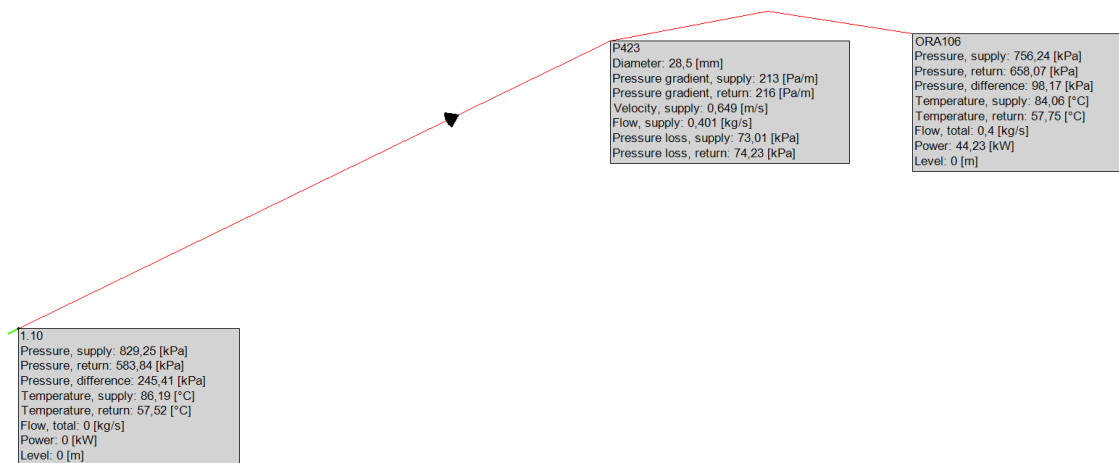


Joonis 2.9 Piirväärtuste legend

Kuidas toimus kuvatud tulemuste parandamine? Esmalt sai üle käidud kõik punasega kuvatud lõigud. Kui tegemist oli lõiguga, mille küljes oli mut tarbijat sai see muudetud

automaatsel ühe läbimõõdu võrra suuremaks järgmiseks arvutusringiks. Teiseks sai jälgitud ka üksik tarbijaid. Alumisel pildil on kuvatud on kuvatud virtuaalse kaugeima tarbijani ORA106 minev torustiku viimane lõik. Kuvatud torustiku lõik on 343m pikk. Mis tähendab selleks, et vesi peab punkti 1.10 tagasijõudmiseks läbima 686m, vaata joonis 2.10.

Arvutuste kohaselt oleks optimaalne torustik varustamaks punkti ORA106 läbimõõduga DN25 ning kuna torustiku läbimõõt jäi alla DN100, siis järgis programm, et voolukiirus jääks alla 1,0m/s. Kuid rõhukadu antud torustiku lõigus on 147 kPa. Kui võtta arvesse, et antud arvutustes oli suurim rõhk aurust jääksoojuse kasutamise jaamas 1026 kPa ning miinimum jääksoojus jaamas jäädes 300 kPa juurde, mida tuli arvutusandmete järgi selles jaamas hoida. See tähendab seda, et suurima ja väiksema rõhuvahe oli 726kPa ning suurim rõhkude vahe ühes punktis oli jääksoojus jaamas jäädes 696 kPa juurde. Tähendas see seda, et 690 m lõigu peale oli rõhukadu 147kPa, mis moodustas kogu rõhukaost 20% olukorras, kus kogu võrgu pikkus oli pea 27 km.



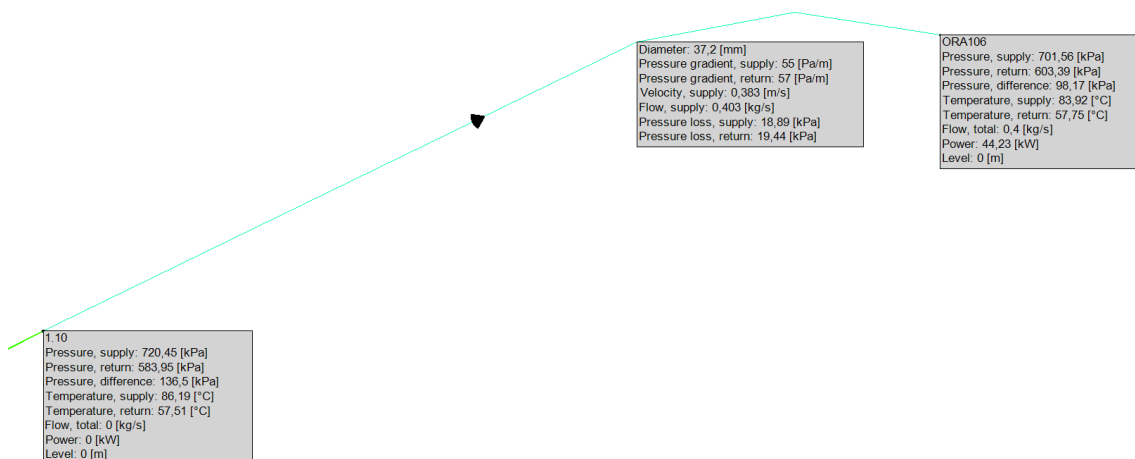
Joonis 2.10 Programmi arvutatud läbimõõtude saadavad parameetrid lõigul 1.10 – ORA106

Tabelis 2.7 on välja toodud hetke arvutusvariandile vastavad parameetrid võrgu kohta. Tabelis on toodud punktis 2.2 kirjeldatud stsenaariumi järgi allikate toodetud soojus, kui ka tarbijate poolt tarbitud soojus. Lisaks võib antud olukorras lugeda välja ka soojuskadod võrgus.

Tabel 2.7 Soojusvõrku iseloomustavad parameetrid

VARIANT 1		
	Stsenaarium 1	Sõlm
Toodetud soojus, kW	13303.1	
Tarbitud soojus, kW	12783.9	
Soojuskadu, kW	518	
Soojuskadu, %	3.89	
Suurim rõhk, kPa	1334.7	N580
Väiksem rõhk, kPa	300	SWWH01
Suurim temperatuur, °C	88	HSP/N580/ NGB/SWWH01
Väiksem temperatuur, °C	52.5	N601
Suurim rõhkude vahe, kPa	998.3	SWWH01
Väiksem rõhkude vahe, kPa	99.8	ORA106

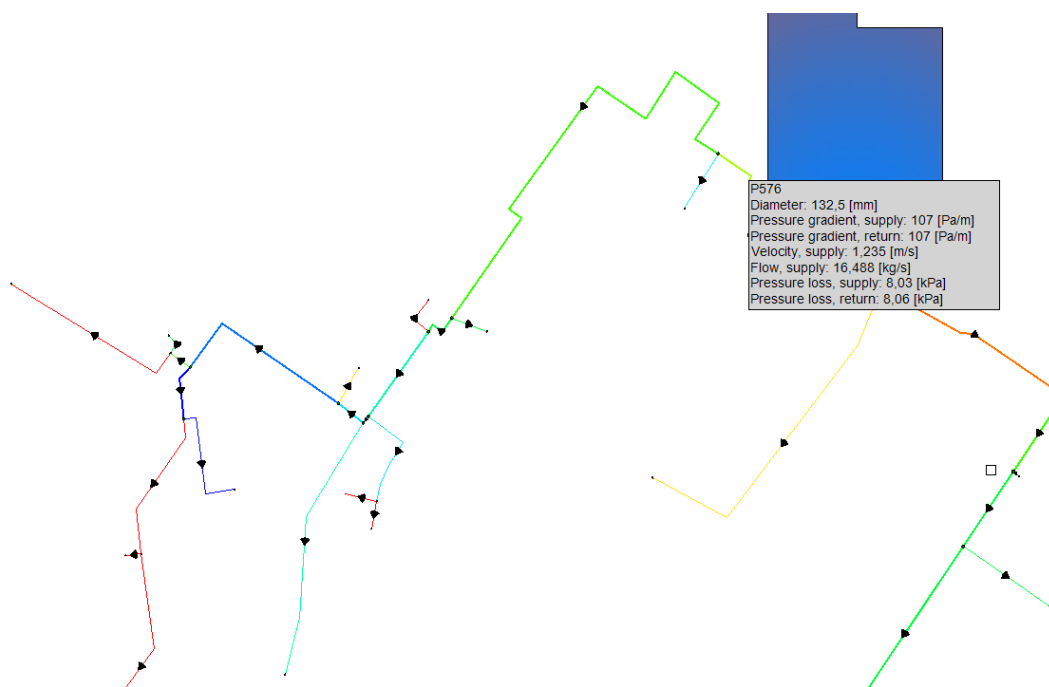
Näitlikustamaks olukorda asendasime antud lõigus toru DN20 toruga läbimõõdus DN25 ning arvutasime uuesti. Tegemist oli ainukese muudatusega, mis arvutuste vahel sai tehtud. Aurujaamas langes pealevoolu torus rõhk 1026 kPa 918kPa ning jääksoojusjaamas 996 kPa-lt 888 kPa-le. Tegemist on langusega 108kPa võrra. Tänu antud muudatusele langes ka selle torustiku lõigus rõhkukadu varasema 147 kPa-lt 38kPa peale.



Joonis 2.11 Programmi poolt arvutatud parameetrid pärast torustiku läbimõõdu optimeerimist lõigul 1.10 – ORA106

Kui võrrelda mõlemas stsenaariumis esitatud voolukiiruseid, siis suurendatud diameetri puhul on langenud voolukiirus 0,26 m/s võrra. Kuigi suurema toruga peaks muutuma keskkonna kokkupuute pinna osa toruga kogu pinna suhtes väiksemaks ning see läbi vähenema soojuskaod läbi välispindade, siis on antud näite puhul näha, et hargnemisest 1.10 jõudis DN25 toru puhul 0,14°C kõrgem soojuskandja tarbijani, kui DN32 puhul läbides sama 343m pikkust distantsi. Temperatuuri erinevused on näha, kui võrrelda jooniseid 2.10 ja 2.11.

Üks koht, millele sooviks esimeste arvutuste tulemusel tähelepanu pöörata on olemasoleva võrguga kesklinna piirkond, vaata joonist 2.12. Võrgu trasseeringu programmi sisestamisel sai tehtud seal kohas eksimus ning kaks paralleelselt paiknevat võrku sai sisestatud kui üks. Olemasolevate võrgu läbimõõtude puhul ei ületanud antud magistraali lõigus erirõhukadu 107 Pa/m. Joonisel olevad punased hargnemised on üksikus lõpptarbijad, kelleni viivate torude läbimõõdud ei olnud teada.



Joonis 2.12 Olemasolevate lõikude hüdraulika

2.4.2 Võrgu hüdrauliline arvutus. Variant number 2

Pärast esimese variandi arvutuste tulemuste analüüsi, sai torude läbimõõdu andmed sisestatud torudele. Andmete sisestamisel sai jooksvalt jälgitud ka esialgse arvutuse NetSim Analyse tarkvara poolt edastatud andmeid. Tellijaga sai kokkulepitud, et ka väiksemates torudes ei ületaks erirõhukadu 150 Pa/m kohta. Sellest tulenevalt sai

muudetud mõndades kohtades läbimõõtu suurema vastu. Vastavalt väljatoodud kokkuleppele tellijaga.

Käesoleva variandi arvutamise käigus proovisime liigutada virtuaalset võrgu kaugeimat punkti ehk punkti, kus peaks olema tagatud miinimum rõhkude vahe. Meil oli määratud minimaalseks rõhkude vaheks 100 kPa. Võrgu tavapäraseks kaugeimaks punktiks oli eelmises alampeatükis vaadeldud lõigu lõpus olev tarbija ORA106. Antud arvutuse jaoks tõstsime selle punkti ümber punkti YEL303. Tulemuseks oli see, et rõhkude vahe oli punktis ORA106 -48,46 kPa, mis tähendas seda, et tagasivoolul oli suurem rõhk kui pealevoolul. Suurimaks rõhuks võrgus oli 656,8kPa punktis N580 ning suurimaks rõhkude vaheks ühes punktis oli 301,8 kPa, mis esines punktis N580.

Kui määrasime virtuaalse kaugeima tarbija õigeks suurenes maksimaalne rõhk 805 kPa ning maksimaalne rõhkude vahe jäi 449,5 kPa juurde. Mõlemad punktis N580. Huvitav muutus oli ka võrgu kogu soojuskao võrdluses, kui YEL303 puhul oli see 437,1kW, siis ORA106 määramisel kaugeimaks punktiks langes see 415,4 kW peale.

Tarbija juures rõhkude muutumine selliselt, et tagasivool rõhk on pealevoolu omast suurem, tähendab seda, et võrgupumbad ei suuda võrguvett tõsta piisavale rõhule. Seda oli ka näha punkti õigeks liigutamisel tõusis rõhk varasemas kõrgeimas punktis 150kPa võrra. Kui tarbijapaigaldise juures ei ole tagatud piisav rõhkude vahe, millega on arvestatud soojussõlme projekteerimisel, siis ei saa tarbijat varustada piisava hulga soojusega [9]. Lisaks võib antud olukorras suurened ka soojuskadu võrgus, nagu varem toodud näite põhjal võib järeldada.

Käesolevas versioonis oli magistraalitorudes, mis moodustasid suure ringvoolu suurimaks erirõhukaoks 23 Pa/m kohta. Piirkonnast, kus läksid läbi kolm paralleelset liini sai arvutuste faasis vastu võetud otsus jätta kulgema paralleelselt kolm sama läbimõõduga toru.

Teise arvutuskorra ajal hakkasime läbi mängima mõlemat tellija antud stsenaariumit tippkoormuse katmiseks. Stsenaariumid on esitatud tabelis 2.4.2. Erineva stsenaariumid tuleb läbimängida, et näha kas peamise magistraalid suudavad läbi lasta võrgu muutuvat hüdraulikat.

Teise stsenaariumi käivitamine tähendab seda, et Biomassi CHP lülitatakse täiesti välja. Ülejäänud võrgust eraldab seda 850m pikkune torustik, mille ääres on kaks väikest

tarbijat. Selleks, et antud torustikus oleks täies pikkuses tagatud läbivool, tuleb teha soojusvaheti jaamas läbivoolu ühendus.

Üheks kitsaskohaks osutus teise stsenaariumi läbi arvutusel Gaasikatelde jaama ülejäänud võrguga ühendav trassil oli natukene suurem erirõhk, kui oleks soovitud, jäädes vahemikku 108-151 Pa/m. Hetkel on see ka üks lõikudest, kus jookseb kaks paralleelset trassi ning rajatava võrgu tulemusel asendataks need kaks lõiku ühega. Antud lõik jääks kitsaskohaks ainult juhul, kui Gaasikatlamaja töötab täis võimsusel. Gaasikatlaid on plaanitud kasutada tipu- ja reservkatlamajana. Sellest tulenevalt sai tellijaga konsulteerides vastu võetud otsus, et sellel lõigul läbimõõtu planeerimisfaasis ei suurenda. Antud lõigu läbimõõdu muutmise vajaduse vaataksime projekteerimiseelselt üle.

Kahe stsenaariumi tarbeks tehtud arvutuste tulemusel saadud andmed on esitatud tabelis 2.8. Lisaks varem kirjeldatud erinevustele rõhkades võime erinevate stsenaariumite puhul näha ka erinevusi nii toodetud ja tarbitud soojuses kui ka soojuskadudes. Stsenaarium 2 puhul, kus on linnasüdames võrku ühendatud suurem võimsus, kui stsenaarium 1 puhul, on toodetud soojust 3.6% võrra vähem ja tarbitud soojust on 3.2% vähem. Antud tulemust on raske selgitada, kuna tarbijate juures on tarbimisandmed samad.

Tabel 2.8 Soojusvõrku iseloomustavad parameetrid mõlema käsitletud stsenaariumi kohta variandis 2

	Stsenaarium 1	Sõlm	Stsenaarium 2	Sõlm
Toodetud soojus, kW	12874.9		12479.4	
Tarbitud soojus, kW	12407.8		12013.9	
Soojuskadu, kW	465.8		466.2	
Soojuskadu, %	3.62		3.74	
Suurim rõhk, kPa	771.7	N580	730.2	NGB
Väiksem rõhk, kPa	300	SWWH01	300	SWWH01
Suurim temperatuur, °C	88	HSP/N580/ NGB/ SWWH01	88	HSP/NGB/ SWWH01
Väiksem temperatuur, °C	56.5	N552	56.8	1.05
Suurim rõhkude vahe, kPa	414.5	SWWH01	378.4	SWWH01
Väiksem rõhkude vahe, kPa	100.2	ORA106	99.9	ORA106

2.4.3 Võrgu hüdrauliline arvutus. Variant number 3

Selle variandi arvutuste hetkeks oli peamine trasseering paigas koos arvutatud läbimõõtudega. Kuid trasseeringu asukoha valikus toimusid mõningased muudatused seoses tellija ja võrguvaldaja kokkulepetele. Muudatused, mis sisse tuli viia olid:

1) Soojussalvestite kolimine Edelaker strasse ja Hermann Löns Weg ristumise lähedaselt rohealalt Sasol-i territooriumile linna põhjaosas. Selle muudatuse sisseviimine tähendas seda, et neljast soojusallikast kolm on nüüd koondunud linna põhjaosasse väiksele maa-alale. Ainsa allikana on lõunasse jäänud gaasikatlad, mis on ette nähtud katma tippe ning olema reservvalmidusega. Kui arvestada sellega, et sellest katlamajast peab olema valmidus 6MW soojuse jõudmiseks võrku, siis selles piirkonnas tuleb valida suurema läbimõõduga torud kui on otstarbekas.

2) Biomassist tootetud aurust soojuse eraldamise võrgu ühenduse kolimine Justus von Liebig strasselt Helgoländer strassele ja Gorch-Fock Strassele. Põhjuseks oli tänavate rekonstrueerimis järjekord ning potentsiaalsete tarbijate paiknemine uue trassikoridori ääres. Selle tulemusel väheneks maha pandavate DN200 torude pikkus 200m võrra, DN32 torustiku pikkus 300m ning DN65 torustik 150m võrra lühem

3) Jõe Braake ületus Koogstrasse rekonstrueeritava sillal. Kuna silla projekteerimine oli lõppfaasis, siis oli ette määratud isolatsiooni kooriku läbimõõt, mida ei tohtinud ületada. Selleks oli 315mm. arvutuste osas tähendas see seda, et silla all kulgevale trassile tuli määrata I isolatsiooniklass. Muudatuse tulemusel on sellel lõigul suurem soojuskadu.

4) Jõe Braake ületus Eddelaker strasse ja Justus von Liebig strasse vahel. Kuna varasem trass oli puuritud jõe alt läbi, siis hinnati selle trassi lõigu asendamist liiga kulukaks. Mis tähendas seda, et jõe alune osa jäi umbes 65m ulatuses DN100/200 toruks. Mõlemale poole sellest jäi uus projekteeritud torustik läbimõõduga DN150/315. Selle tulemusena oli suurendatud erirõhukadu sellel lõigul.

Tabelis 2.9 on esitatud võrguandmed pärast eelneva nelja punkti sisse viimist. Suurim rõhkude vahe on stsenaarium 1 puhul 424.8 kPa ja stsenaarium 2 puhul 371 kPa. Suurim rõhk võrgus jääb mõlemas stsenaariumis alla 800 kPa.

Tabel 2.9 Soojusvõrku iseloomustavad parameetrid mõlema käsitletud stsenaariumi kohta arvutuste variandis 3

VARIANT 3				
	Stsenaarium 1	Sõlm	Stsenaarium 2	Sõlm
Toodetud soojus, kW	12902.2		12895.5	
Tarbitud soojus, kW	12408.2		12416.2	
Soojuskadu, kW	494		483.8	
Soojuskadu, %	3.82		3.75	
Suurim rõhk, kPa	765.5	N580	724.7	NGB
Väiksem rõhk, kPa	300	SWWH01	300	SWWH01
Suurim temperatuur, °C	88	N11/N580/ NGB/ SWWH01	88	N11/NGB/ SWWH01
Väiksem temperatuur, °C	56.8	1.05	56.3	N6
Suurim rõhkude vahe, kPa	424.8	SWWH01	371.0	SWWH01
Väiksem rõhkude vahe, kPa	100.4	ORA106	100.0	ORA106

2.4.4 Arvutus variantide omavaheline võrdlus

Kui võrrelda oma vahel Variant 2 ja Variant 3, siis mõlemast variandist on näha, et stsenaarium 2 puhul on suurim rõhkude vahe väiksem kui stsenaarium 1 puhul. Väiksem maksimaalne rõhkude vahe tähendab, et valitud võrgupumpadel peab olema väiksem tõstekõrgus. See kajastub ka muidugi pumpade töös hoidmiseks kulub vähem elektrienergiat. Kui vaadata sellest seisukohast, et stsenaarium ühe puhul on kasutatud Biomassi CHP-st saadavat lisasoojust ning stsenaarium 2 puhul kasutatakse maagaasi, siis ei kaalu stsenaarium ühe puhul lisa elektrikulu üle variant 2 puhul rakenduvad saastetasusid. Torustiku läbimõõdu seisukohalt on leitud optimaalseim lahendus, et võrgu hüdraulika oleks optimaalseim omades piisavat rõhukadu.

2.5 Erijuhtumid

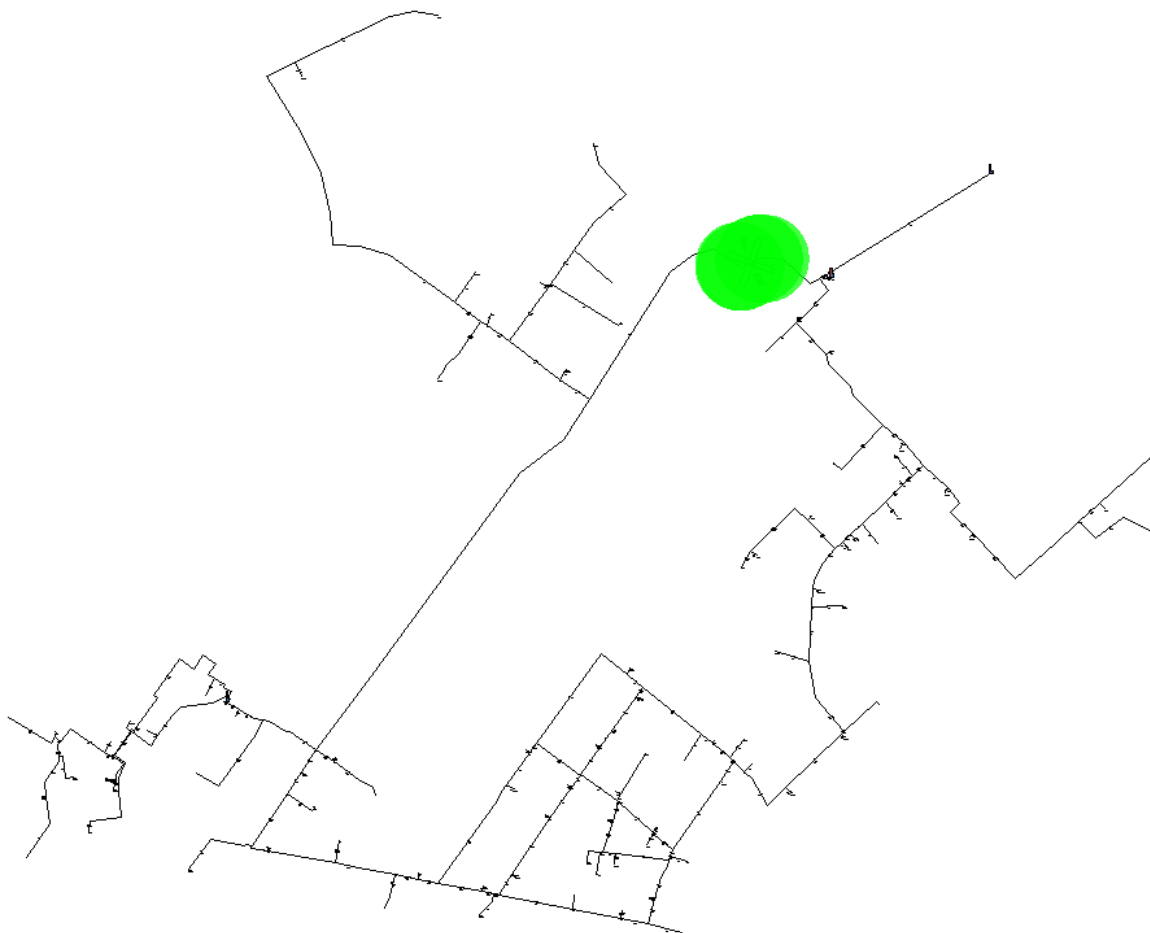
Võrgu olulistele lõikudele jäävad nii mitmeski kohas vanad torustikud, mille paigaldus on toimunud viimase 20 aasta jooksul, kuna täpne paigaldamishetk ei ole teada, siis arvestame, et nende paigaldusaeg on 20 aasta tagune. Tulenevalt sellest, et torustiku paigaldus hakkab lähenema projekteeritud kestvusele, siis vaatame, mis peaks juhtuma võrgus, kui külmal perioodil peaks toimuma torustikus avarii ning oluline torustiku lõik jääks süsteemist kõrvale. Selleks vaatleme kolme võimaliku olukorda: 1) jõe alune DN100 torustik P84 on tööst väljas. 2) Piirkondade 1 ja 3 vaheline DN100 toru P602 on tööst väljas. 3) Ehitatava silla alla jääv torustiku lõik P181 läbimõõduga DN200 peaks olema tööst väljas. Seda olukorda vaatame sellel eesmärgil, et milline on võrgu hüdraulika sellises olukorras.

2.5.1 Torustiku lõigu P84 tööst välja lülitamine

Torustiku lõigu P84 tööst välja langemisega kaoks ära ka läbivool torudest P2 ja P96. Torustiku lõik P84 asukoht on näidatud joonisel 2.13. See tähendaks, et tööst jääks välja 730m pikkune lõik. Selleks, et vältida külmumisohu torudes P2 ja P96. Peaks olema pärast hargnemisi sõlmedes N584 ja 1.01 sulgarmatuurid torudel P2 ja P96. Võrgu kaugeim punkt jääks ikkagi ORA106 sõlme. Kuna antud punkt oleks hetke olukorras ka realselt võrgu kaugeim punkt.

Torustiku lõigu P84 sulgemise tulemusena tõuseks torustikus P602 stsenaarium 1 korral erirõhukadu 215 Pa/m kohta. Stsenaarium 2 korral oleks erirõhukadu sama lõigus 209 kPa. Kuna lõigu P602 pikkus on 996,5 oleks rõhukadu selles torustiku lõigus 214kPa toru kohta ehk piirkonna 1 korrektseks soojusega varustamiseks tuleb tõsta süsteemis rõhku 430kPa võrra.

Tabelist 2.10 on kajastatud torustikulõigu P84 sulgemise tulemusel saadud võrgu piirparameetrid. Tabelist võib välja lugeda, et suurim rõhk võrgus tõuseks üle 14 ja 11 bar-i. Kuigi mõlema stsenaariumi puhul suletud sama torustiku lõik, siis teise stsenaariumi puhul toodetakse soojust 1 piirkonnale lähemal ning soojuskandja ei pea läbima tervet linnavõrku jõudmaks kaugeimate tarbijateni. Antud vahe tähendaks seda, et punktis SWWH01 oleks suurim rõhkude vahe stsenaarium 1 puhul 1105,3 kPa ja stsenaarium 2 puhul oleks rõhuvahe 855,8 kPa.



Joonis 2.13 Torustikulõige P84 asukoht

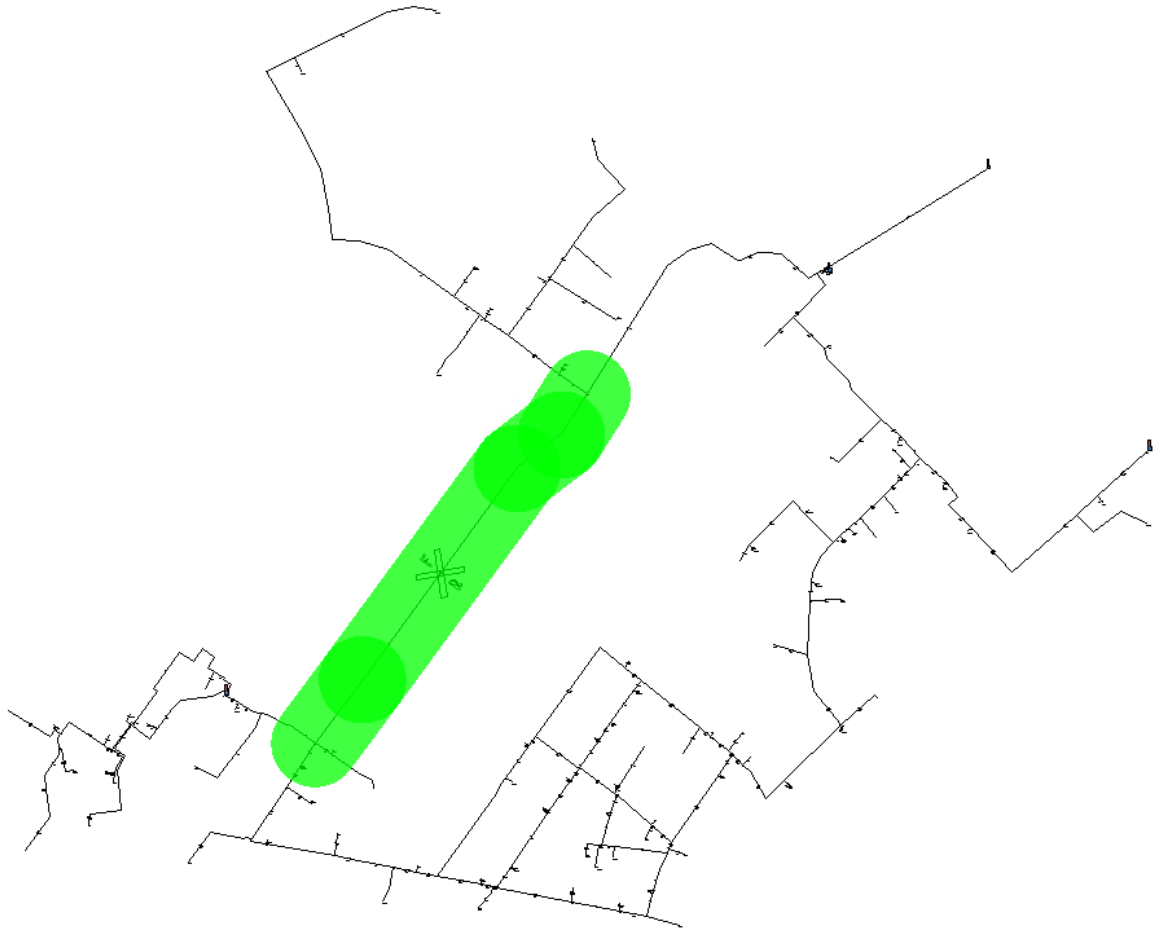
Võrgu madalaim temperatuur oleks stsenaarium 1 puhul punktis 1.05, kuna punktist YEL104 tulev torustik on 310m pikkune ning DN32 toru puhul on tegemist olukorraga, kus suurem osa soojuskandjamahest puutub kokku toru välispinnaga. Stsenaarium 2 puhul on Väikseim temperatuur punktis N6, milles on madal temperatuur tingitud, kuna Biomassi CHP-st selle lahenduse puhul soojust ei tarbita ning suures torus on minimaalne läbivool.

Tabel 2.10 Võrgu parameetrid torustiku lõigu P84 sulgemisel

	Stsenaarium 1	Sõlme	Stsenaarium 2	Sõlme
Toodetud soojus, kW	12863.8		12850.3	
Tarbitud soojus, kW	12408.2		12416.2	
Soojuskadu, kW	468.1		460.5	
Soojuskadu, %	3.64		3.58	
Suurim rõhk, kPa	1437.1	GRE201	1187.6	GRE201
Väiksem rõhk, kPa	300	SWWH01	300	SWWH01
Suurim temperatuur, °C	88	N11/N580/ NGB/SWWH01	88	N11/N580/ NGB/SWWH01
Väikseim temperatuur, °C	56.8	1.05	56.3	N6
Suurim rõhkude vahe, kPa	1105.3	SWWH01	855.8	SWWH01
Väikseim rõhkude vahe, kPa	99.7	ORA106	100	ORA106

2.5.2 Torustiku lõigu P602 tööst välja lülitamine

Torustiku lõigu P602 sulgemisega muutub stsenaarium 1 puhul ka võrgu kaugeim punkt, milleks saab YEL303. Torustiku lõik P602 on näidatud joonisel 2.14. Võrgu kaugeima punkti muudatus on tingitud sellest, kuna tava olukorras toimub stsenaarium 1 järgi piirkonna 3 võrgu varustamine ka toru P602 kaudu. Mis on põhjustatud sellest, et NGB poolt toodetav 953 kW ei piisa võrguosa soojusega varustamiseks. Sellest tulenevalt kompenseeritakse see tava olukorras P602 ja P181 kaudu. Antud olukorras jääks täiendava soojusvarustuse tagamine P181 torustiku lõigule.



Joonis 2.14 Torustikulõigu P602 asukoht

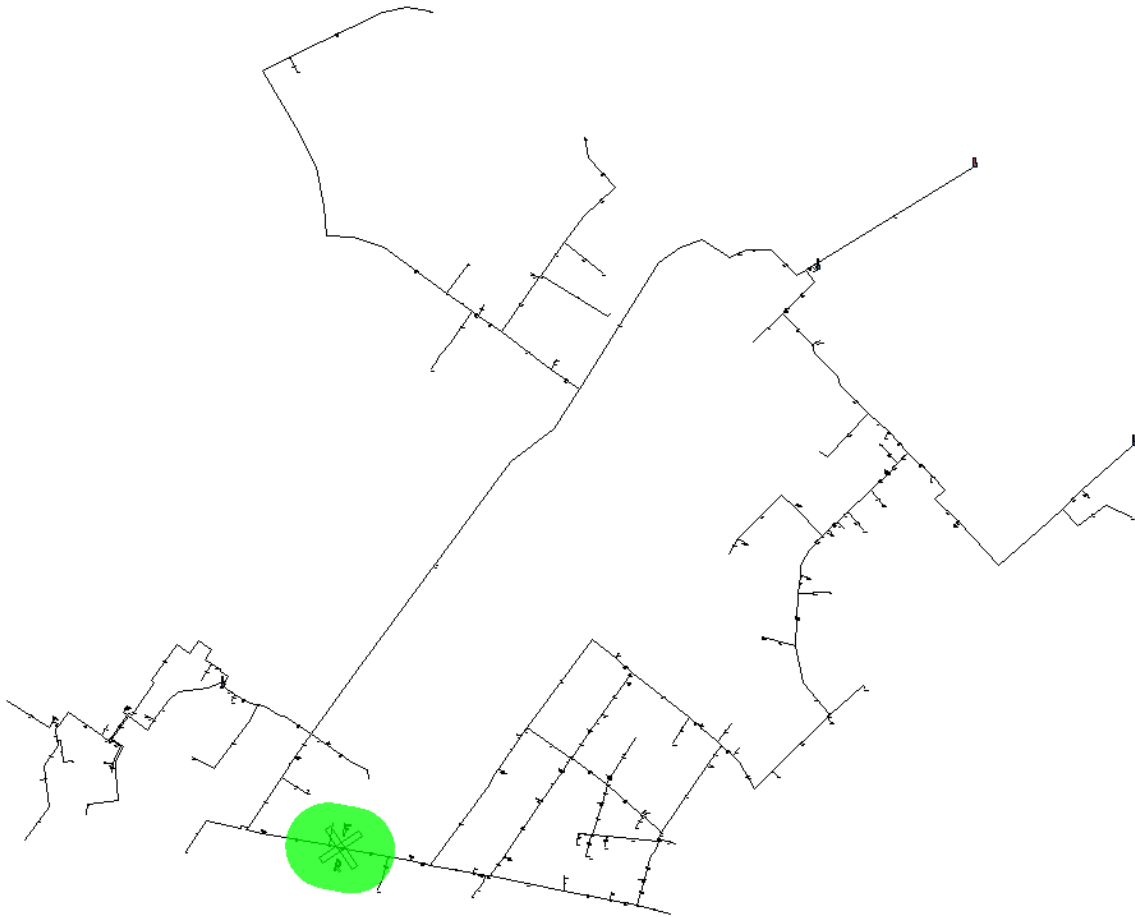
Kui võrrelda võrgus olevaid suuremaid rõhke Variant 3, siis suurimad rõhud võrgus väga ei erinegi tavapärasest töö olukorrast. Stsenaarium 1 puhul langeks suurim rõhk võrgus 12,8kPa võrra 765,5kPa-lt 752,7 kPa. Muutub ka suurima rõhu punkt varasema N580 asemel on nüüd GRE201. Sõlme GRE201 puhul ei ole tegemist, mitte katlamajaga, vaid tarbijaga ning rõhu suurenemine selles punktis on tingitud sellest, et tarbija on võrreldes muu võrguga madalamal. Antud olukorras muutub võrgu hüdraulika piisavalt, et suurima rõhuga punktiks muutub tarbija. Stsenaarium 2 puhul jääb kõrgeima rõhuga punktiks endiselt NGB ning võrgu kaugeimaks punktiks jääb ORA106. Võrgu parameetrid mõlema stsenaariumi puhul on toodud tabelis 2.11.

Tabel 2.11 Võrgu parameetrid torustiku lõigu P602 sulgemisel

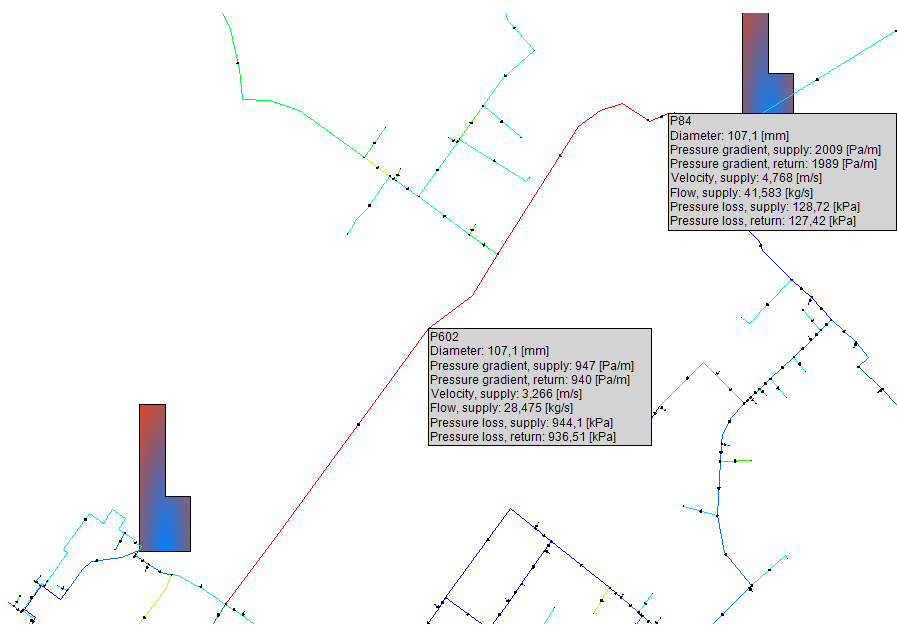
	Stsenaarium 1	Sõlm	Stsenaarium 2	Sõlm
Toodetud soojus, kW	12850		12818.4	
Tarbitud soojus, kW	12408.2		12416.2	
Soojuskadu, kW	473.9		466.3	
Soojuskadu, %	3.69		3.64	
Suurim rõhk, kPa	752.7	GRE201	731	NGB
Väiksem rõhk, kPa	300	SWWH01	300	SWWH01
Suurim temperatuur, °C	88	N11/N580/ NGB/SWWH01	88	N11/N580/ NGB/SWWH01
Väiksem temperatuur, °C	56.8	1.05	56.4	N6
Suurim rõhkude vahe, kPa	415.6	SWWH01	375	SWWH01
Väiksem rõhkude vahe, kPa	100.7	YEL303	100.1	ORA106

2.5.3 Torustiku lõigu P181 tööst välja lülitamine

Torustiku lõik P181 on üks planeeritud torustike lõikudest. Kuna see paikneb silla all võivad seda mõjutada välised tegurid, asukoht näidatud joonisel 2.15. Lisaks saame antud torulõigu arvutusliku välja lülitamise kaudu teada, kuidas see võib mõjutada võgu hüdraulikat. Sellise variandi puhul oleks stsenaarium 1 puhul erirõhukadu väga suur jäädes torustiku lõigus P84 üle 2000 Pa/m ja lõigus P602 üle 940 Pa/m kohta ning rõhuadu lõigus P602 oleks pealevoolul 944kPa ning tagasivoolul 936 kPa. See tähendaks seda, et võrgus olev rõhk peaks ületama 30 bar-i, et süsteem toimiks korrektselt. Sellisele rõhule ei peaks paigaldatud kaugküttetorustik vastu. Joonise 2.16 on näidatud, millised oleksid erirõhukaod ja rõhukaod torustike lõikudes P602 ja P84.



Joonis 2.15 Torustikulõigu P181 asukoht



Joonis 2.16 Stsenarium 1 rõhukaod P181 tööst välja lülitamise korral

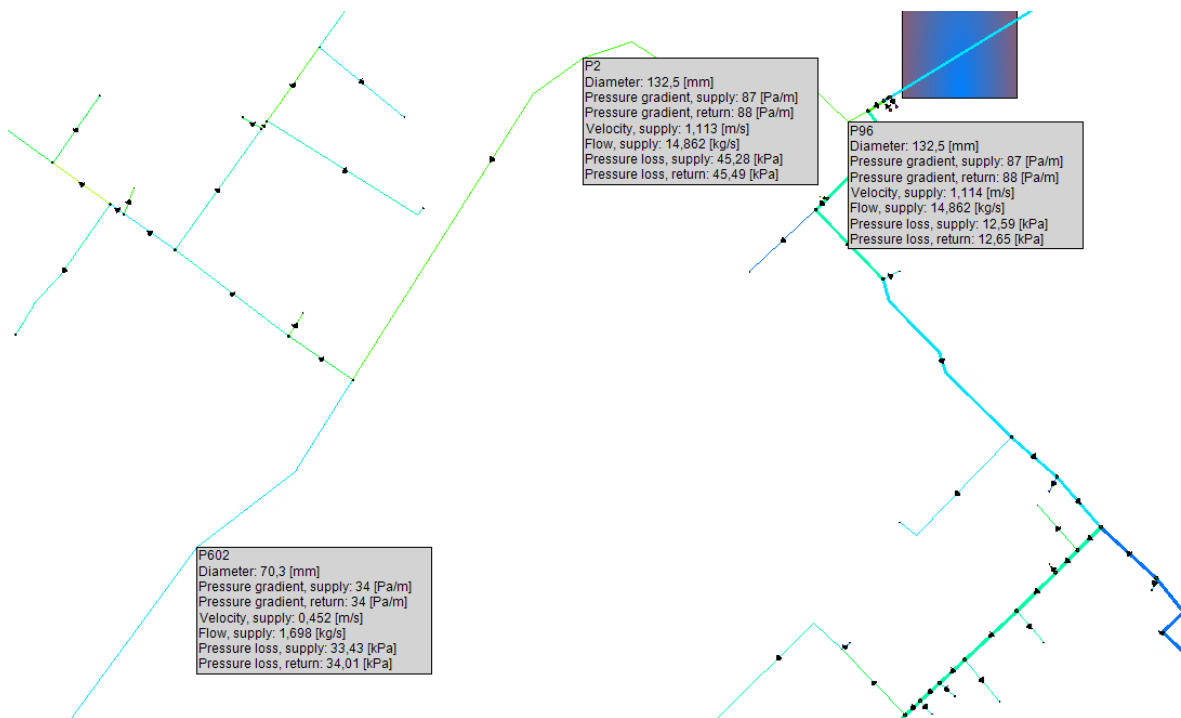
Stsenaarium 2 puhul toimib võrk kortrekselt. Suurim rõhk tõuseks 1157 kPa, näidatud tabelis 2.12. Seadmed ja materjalid on projekteeritud 1600 kPa-le. Sellise variandi puhul peaks staatilise rõuhoidmine peaks toimuma sõlmes NGB asuvast gaasikatlamajast.

Tabel 2.12 Võrgu parameetrid torustiku lõigu P181 sulgemisel

	Stsenaarium 1	Sõlm	Stsenaarium 2	Sõlm
Toodetud soojus, kW	12896.8		12895.7	
Tarbitud soojus, kW	12408.2		12416.2	
Soojuskadu, kW	473.9		478.7	
Soojuskadu, %	3.67		3.71	
Suurim rõhk, kPa	-	-	1157.4	NGB
Väiksem rõhk, kPa	-	-	300	NGB
Suurim temperatuur, °C	88	N11/N580/ NGB/SWWH01	88	N11/NGB/ SWWH01
Väiksem temperatuur, °C	56.8	1.05	56.3	N6
Suurim rõhkude vahe, kPa	-	-	857.4	NGB
Väiksem rõhkude vahe, kPa	-	-	99.9	ORA106

3 Võrgu hüdraulika olemasolevate torustike optimeerimise korral

Selleks, et optimeerida võrgu kitsaskohti proovime asendada olemasolevad torustiku lõigud optimaalseima valikuga, et vähendada rõhukadusid süsteemis. Selleks sai muudetud olemasoleva torustiku lõigud punktist N584 kuni N508 ja torustikulõigud alates punktist 3.01 kuni katlamajast läände jäävate tarbijateni teadmata toru läbimõõduga torude vastu. Muudetud torude hulgas olid esialgu ka mõningad torustiku lõigud, mille asendamise olime juba teinud nagu P2 ja P96. Kui varem olime antud lõikude läbimõõtuks käsitsi määranud DN150, siis hetkel programmiarvutuste kohaselt muutub see DN125 ning P602 puhul oleks arvutuste kohaselt optimaalseim läbimõõt DN65, vaata joonis 3.1. Arvutatud läbimõõdud on stsenaarium 1 järgi. Kuid soov nendel lõikudel toruläbimõõte muuta ei olnud, mitte väiksemaks vaid suuremaks.



Joonis 3.1 Programmi poolt arvutatud läbimõõdud

Piirkonnas 3 pakub programm stsenaarium 2 korral suurendada P573 ja P575 DN200 torustiku vastu. Põhivõrguga ühendav torustik P571 pakub programm jätta DN150-ks. Käsitsi muudame antud lõigu DN200-ks, kuna muidu jääks kahe DN200 lõigu P573 ja P430 vahele väiksema läbimõõduga 140m pikkune lõik. Samuti arvestab ka see võimalusega, et kui punktis NGB suurendatakse katlamajade võimsust veelgi, oleks mõistliku rõhukaoga ühendus tagatud.

Lisaks sai muudetud mõningatel planeeritud liitumistel läbimõõte. Muudatuste aluseks oli, et tarbijaühendustel, kus hetkel oli erirõhukadu 4-10 Pa/m ei ole vajadust hoida nii madalat rõhukadu. Enamus juhtudel oli seal määratud toru läbimõõduga DN25. need lõigud said asendatud toruga DN20 ning uueks suurimaks erirõhukaoks nendel lõikudel jäi kuni 44 Pa/m nagu näiteks P439 torulõigul. Torulõigu P447 puhul tõusis erirõhukadu 10 Pa/m kohta, kuid kahjuks ei olnud võimalik seal väiksema läbimõõduga toru valida. Arvutuste aluseks võetud tootekataloogis oli tegemist väikseima läbimõõduga toruga. [10]

Tabel 3.1 Võrguparameetrid pärast olemasolevate trasside asendamist

		Stsenaarium 1	Sõlm	Stsenaarium 2	Sõlm
Toodetud soojus	kW	12869.3		12853.9	
Tarbitud soojus	kW	12408.2		12416.2	
Soojuskadu	kW	459.3		436.1	
Suurim rõhk	kPa	867.5	GRE201	795.5	NGB
Väiksem rõhk	kPa	300	SWWH01	300	SWWH01
Suurim temperatuur	°C	88	N11/N580/ NGB/SWWH01	88	N11/N580/ NGB/SWWH01
Väikseim temperatuur	°C	56.8	1.05	56.3	N6
Suurim rõhkude vahe	kPa	529.6	SWWH01	480.5	SWWH01
Väikseim rõhkude vahe	kPa	101.1	YEL303	100	ORA106

Kui võrrelda kahte stsenaariumit omavahel, siis sellest tuleb välja jällegi, et teise stsenaariumi puhul on võrgus esinev suurim rõhk ja rõhukadu madalamad esimesest stsenaariumist. Samuti on stsenaarium 2 puhul ka soojuskaod väiksemad.

Torustike lõikude P2, P84, P96 muutmisel varasemate arvutuste tulemusel jõutud läbimõõdule DN150 on võrgu parameetrite tulemused esitatud tabelis 3.2. Antud tabelis esitatud arvutustes on võetud arvesse ka läbimõõtude suurendamine lõikudel P578 ja P580 DN100-lt DN125-le. Muudatuse põhjuseks oli see, et antud lõigud varustavad suurt hulka tarbijaid ning nende erirõhukadu oli 100 Pa/m lähedal, mis pea 370m lõigu peale annab märgatava rõhukao jäädes 37 kPa juurde nii peale kui tagasivoolul.

Tabel 3.2 Alles jäänud trasside arvutuslikud parameetrid pärast arvutatud läbimõõtude optimeerimist

		Stsenaarium 1	Sõlm	Stsenaarium 2	Sõlm
Toodetud soojus	kW	12872.1		12861.1	
Tarbitud soojus	kW	12408.2		12416.2	
Soojuskadu	kW	462.7		453.3	
Suurim rõhk	kPa	750.3	GRE201	691.7	GRE201
Väiksem rõhk	kPa	300	SWWH01	300	SWWH01
Suurim temperatuur	°C	88	N11/N580/ NGB/SWWH01	88	N11/N580/ NGB/SWWH01
Väiksem temperatuur	°C	56.8	1.05	56.3	N6
Suurim rõhkude vahe	kPa	406.4	SWWH01	354.2	SWWH01
Väiksem rõhkude vahe	kPa	100.3	YEL303	100.4	ORA106

Kui võrrelda tabelis 3.1 ja tabelis 3.2 esitatud andmeid, siis suurim rõhk süsteemis on langenud mõlemal juhul 100 kPa võrra. Saadav sääst oleks märgatav võrgu pumpade valikul, kuna madalama tõstekõrgusega tarbib pump vähem elektrit.

3.1 Torustike lõigutine välja lülitamine

Järgnevatel punktis vaadeldakse, mis juhtub võrgu hüdraulikaga, kui toimuks samade torude võrgust välja lülitamine, mis on toodud punktis 2.5. Lisaks on antud punktis vaadeldud veel variante eriolukordade hüdraulika ühtlustamiseks võrgu tava tööseseisundiga.

3.1.1 Torustiku lõigu P84 tööst välja lülitamine

Kui võrrelda Tabelis 3.3 esitatud andmeid torustikus tekkiva rõhukao osas tabeliga 2.10 on suurim rõhk võrgus langenud stsenaarium 1 puhul 1437 kPa-lt 1149 kPa-le. Rõhk on vähenenud 287.8 kPa võrra. Kui võrrelda optimaalse töörežiimiga, siis saadud rõhulang moodustaks 38% arvutuslikust suurimast rõhust 750kPa.

Tabeli 3.3 järgi on stsenaarium 1 järgi suurim rõhk sellise torusulgemisest tulenevalt ikkagi väga kõrge. Joonisel 3.2 on täpsemalt näidatud, mis on üheks kõrge rõhu põhjustajaks. Lõigul N559 – N584 jääb erirõhukadu paljudel lõikudel üle 80 Pa/m juurde. Lõigul kogupikkus on 1290m. Pealevoolu rõhkude vahe on kahe punkti vahel 40 kPa, mis on tingitud sellest, et arvestuslikult asub sõlm N559 sõlmest N584 6m madalamal.

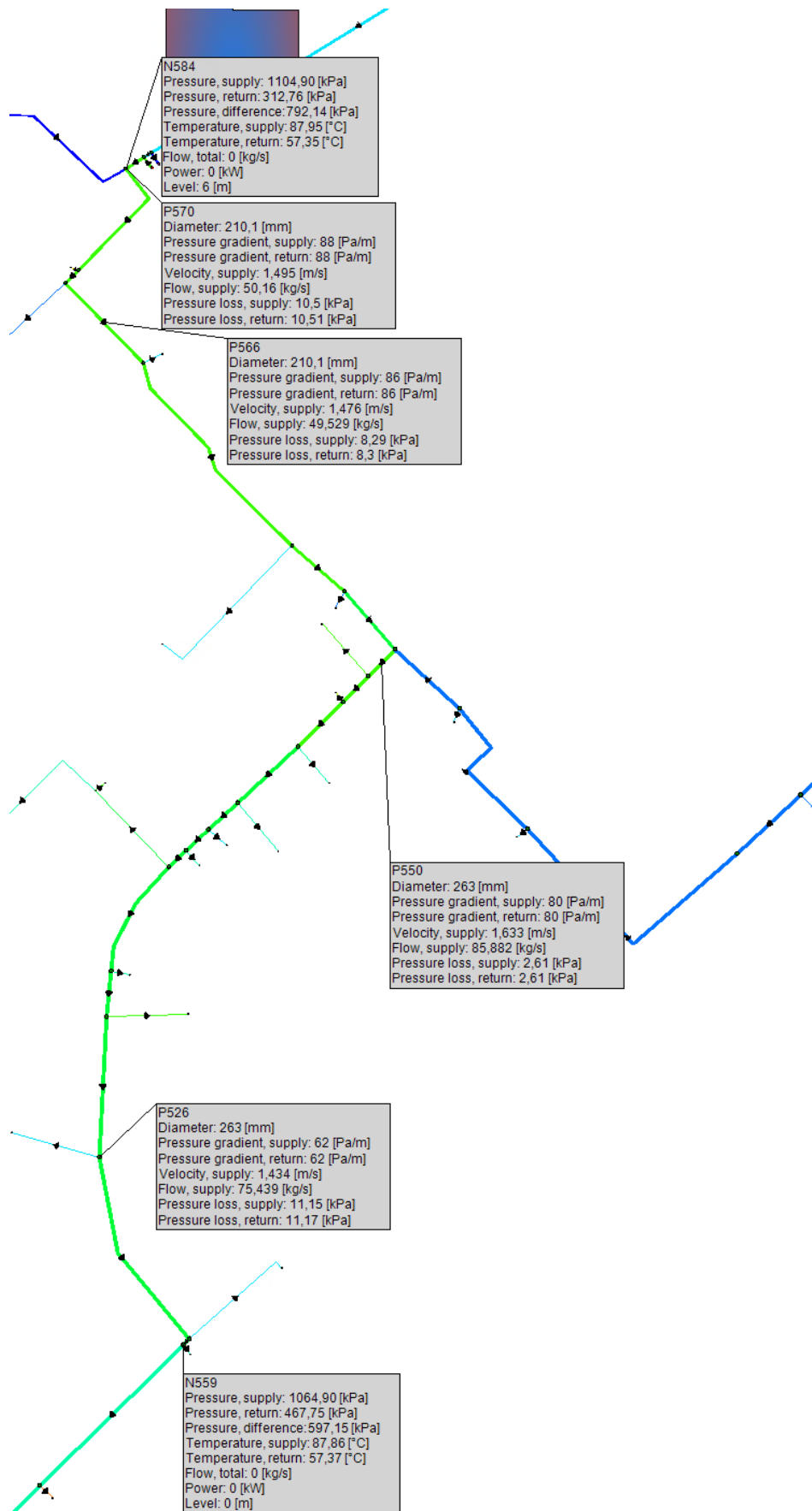
Tagasivoolul on rõhkude vaheks 155 kPa. Seega antud lõigu poolt põhjustatav rõhulang oleks 195 kPa. Antud tulemust võib näha ka stsenaarium 2 puhul, kus suur osa soojusetootmisest jääks linna teise otsa on suurim rõhk 250kPa võrra väiksem. Üks lahendus on antud lõigus läbimõõte suurendada. Suurendatud läbimõõduga trass on näidatud Joonisel 3.3.

Tabel 3.3 Optimeeritud läbimõõtude hüdraulika toru P84 välja lülitamise korral

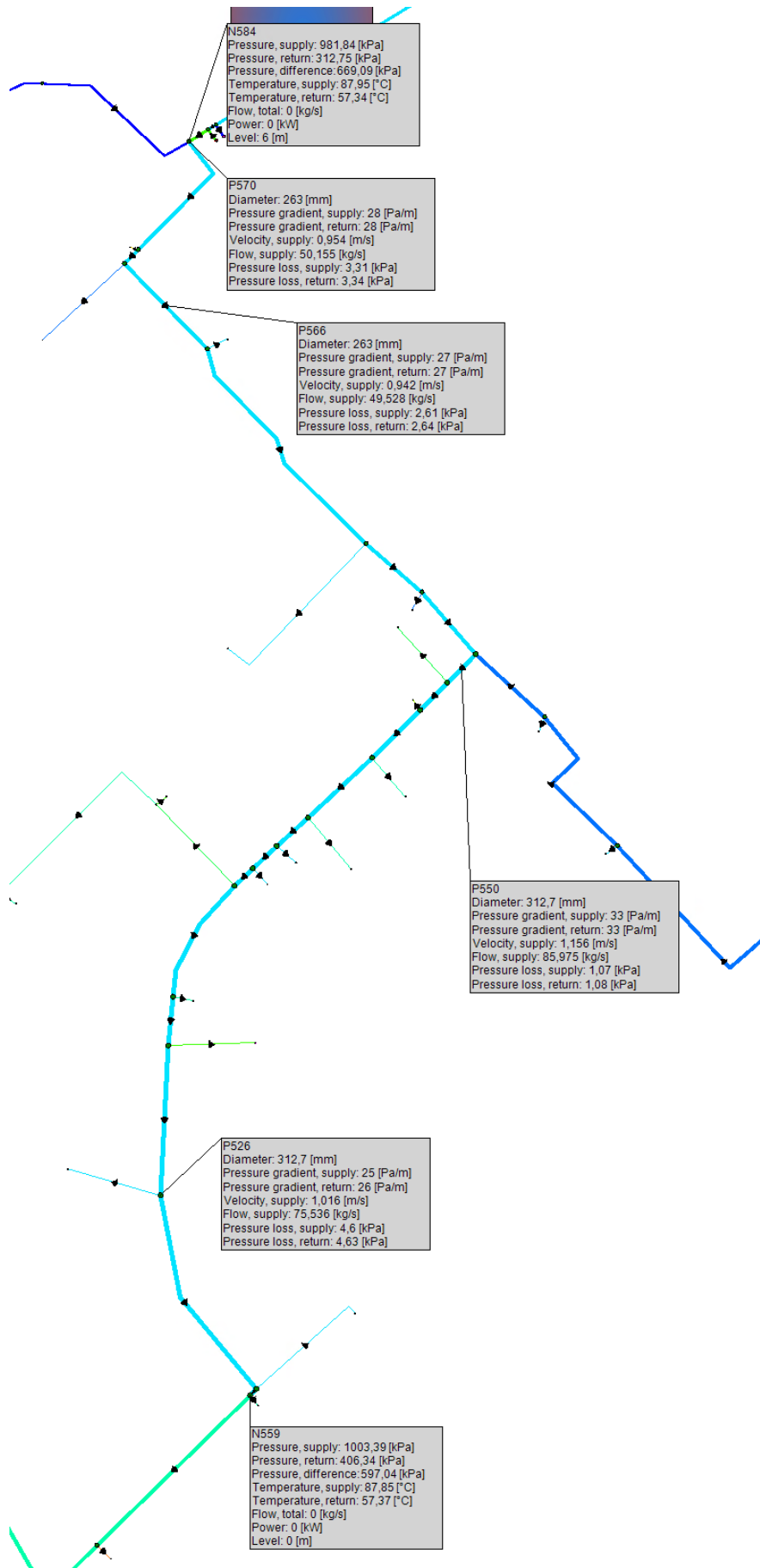
	Stsenaarium 1	Sõlm	Stsenaarium 2	Sõlm
Toodetud soojus, kW	12834.2		12820.6	
Tarbitud soojus, kW	12408.2		12416.2	
Soojuskadu, kW	438.4		430.8	
Soojuskadu, %	3.41		3.36	
Suurim rõhk, kPa	1149.3	GRE201	909.7	GRE201
Väiksem rõhk, kPa	300	SWWH01	300	SWWH01
Suurim temperatuur, °C	88	N11/N580/ NGB/SWWH01	88	N11/N580/ NGB/SWWH01
Väikseim temperatuur, °C	56.8	1.05	56.3	N6
Suurim rõhkude vahe, kPa	817.5	SWWH01	577.9	SWWH01
Väikseim rõhkude vahe, kPa	100.2	ORA106	100.5	ORA106

Punktis N584 on pärast läbimõõdu tõstmist pealevoolu rõhk 982 kPa ning punktis N559 on rõhuks 1003 kPa. Rõhk on suurenenud tulenevalt sellest, et Punkt N584 asub punktist N559 kõrgemal ning trassi läbimõõt on piisavalt suur, et trassis tekkiv hõõrdekadu ei ületa kõrguste vahest tingitud rõhukasvu. Tagasivoolu puhul on rõhuks punktis N584 313 kPa ning punktis N559 on rõhk 406 kPa.

Kahjuks ei ole sellise lahenduse rakendamine otstarbekas, kuna tugineb olukorrale, et üks toru tööst välja langeks. Suurenenud trassikoridori vajadus tänaval ning suurenenud ehituskulud nagu näiteks kallim materjal, suurema kandevõimega veo- ja tõstetehnika, pikem montaažile kuluv aeg on mõningad pisikesed detailid, mis muudavad ehituse lõppkokkuvõttes palju kallimaks.



Joonis 3.2 Lõigu N584-N559 erirõukadu



Joonis 3.3 Lõigu N559- N584 erirõhukadu pärast läbimõõdu suurendamist

3.1.2 Torustiku lõigu P602 tööst välja lülitamine

Esitatud planeeritud lahenduse, kui ka selle optimeeritud lahenduse puhul, ei avalda suurt mõju torustiku lõigu P602 välja lülitamine, vaata tabel 3.4. Võrreldes variant 3 on esimese stsenaariumi rõhk 18 kPa võrra madalam võrgu suurimast rõhust ja teise stsenaariumi puhul lausa 36 kPa võrra madalam.

Tabel 3.4 Võrgu andmed pärast olemasolevate torustike optimeerimist torustikulõigu P602 välja lülitamise korral

	Stsenaarium 1	Sõlm	Stsenaarium 2	Sõlm
Toodetud soojus, kW	12828.2		12796.6	
Tarbitud soojus, kW	12408.2		12416.2	
Soojuskadu, kW	447.9		440.3	
Soojuskadu, %	3.49		3.44	
Suurim rõhk, kPa	747.6	GRE201	688.9	GRE201
Väiksem rõhk, kPa	300	SWWH01	300	SWWH01
Suurim temperatuur, °C	88	N11/N580/ NGB/SWWH01	88	N11/N580/ NGB/SWWH01
Väikseim temperatuur, °C	56.8	1.05	56.4	N6
Suurim rõhkude vahe, kPa	410.5	SWWH01	352.0	SWWH01
Väikseim rõhkude vahe, kPa	100.4	YEL303	100.2	ORA106

Kui vaadata rõhke P602 sulgemisel olemasolevate läbimõõtude ja optimeeritud läbimõõtude puhul, siis esimese stsenaariumi puhul erilisi muudatusi ei ole, vaata tabel 3.5. See on tingitud sellest, et kuna enamuse võrgu koormusest toodetakse linna põhjaosas, siis tuleb see pumbata teise linna otsa, millest tulenevalt on torustikes suur rõhukadu. Stsenaarium 2 puhul katab linna lõunaosa vajaduse all lõunas asuvad gaasikatlad. Pumpamiskulu sääst saavutatakse jõealuse torustiku asendamisega suurema vastu. Kui vaadata võrgu kaugema punkti olekut vastavalt stsenaariumile, stsenaarium 1 puhul jääb antud punkt võrgu lõunaosasse. Stsenaarium 2 puhul võrgu lääneosasse. See kinnitab ka jõealla suurema läbimõõduga toru paigaldamisest saadavat kasu.

Lisaks langeks suurim rõhkude vahe stsenaarium 2 puhul 23 kPa võrra. Stsenaarium 1 puhul on langus 5 kPa. Mõlemal juhul tähendab stsenaarium 2 eelistamine antud

olukorra soojuskandja pumpamise seisukohalt kasulik, kuna stsenaarium 1 puhul on suurim rõhkude vahe esimesel juhul suurem 40 kPa ja optimeeritud juhul 58 kPa.

Tabel 3.5 Rõhud võrgus olemasolevate ning optimeeritud läbimõõtude puhul

	Stsenaarium 1		Stsenaarium 2	
	Olemasolevad	Optimeeritud	Olemasolevad	Optimeeritud
Suurim rõhk, kPa	752.7(GRE201)	747.6 (GRE201)	731.0 (NGB)	688.9 (GRE201)
Väiksem rõhk, kPa	300(SWWH01)	300(SWWH01)	300(SWWH01)	300(SWWH01)
Suurim rõhkude vahe, kPa	415.6(SWWH01)	410.5(SWWH01)	375.0 (SWWH01)	352.0 (SWWH01)
Väikseim rõhkude vahe, kPa	100.7 (YEL303)	100.4(YEL303)	100.1 (ORA106)	100.2 (ORA106)

3.1.3 Torustiku lõigu P181 tööst välja lülitamine

Kui punktis 2.5.3 vaadeldud variandi puhul oleks esimese stsenaariumi puhul läinud vajalik rõhk üle 3000 kPa, mis oleks olnud kõrgem materjalidele omistatud rõhuklassist. Torustiku lõikude P84 olemasoleva D100 torustiku lõigu asendamine torustiku vastu läbimõõduga DN150 ja lõigu P602 suurendamine ühe läbimõõdu võrra olemasolevalt DN100 läbimõõdule DN125 on muutnud pildi märgatavalt paremaks suurim rõhk jääks alla 1600 kPa jäädes 1529.45 kPa juurde.

Samuti on tabelis 3.6 näha ka märgatavat rõhu alanemist teise stsenaariumi kasutamise korral. Tabelis 2.12 on välja toodud, et olemasolevate torude puhul jääks suurim rõhk 1157.4 kPa. Lõikudel P84 ja P602 muudetud läbimõõtude korral langeks suurim rõhk võrgus torustiku P181 tööst välja langemise korral 771.6 kPa peale.

Kui vaadelda mõlemat varianti, kus lõikudele P84 ja P602 jääks alles olemasolev torustik või vahetada välja natukene suurema läbimõõdu vastu, tähendaks see, et torustiku lõigu P181 tööst välja langemise korral oleks kasulik lülitada ümber tootmisüksused stsenaarium kahele. Joonistel 3.1.3.1 vaadeldakse lõigu N508 – N584 hüdraulikat lähemalt esimese stsenaariumi puhul ning pakutakse välja täiendavaid lahendusi võrgu hüdraulika parandamiseks eriolukorra tasandamiseks.

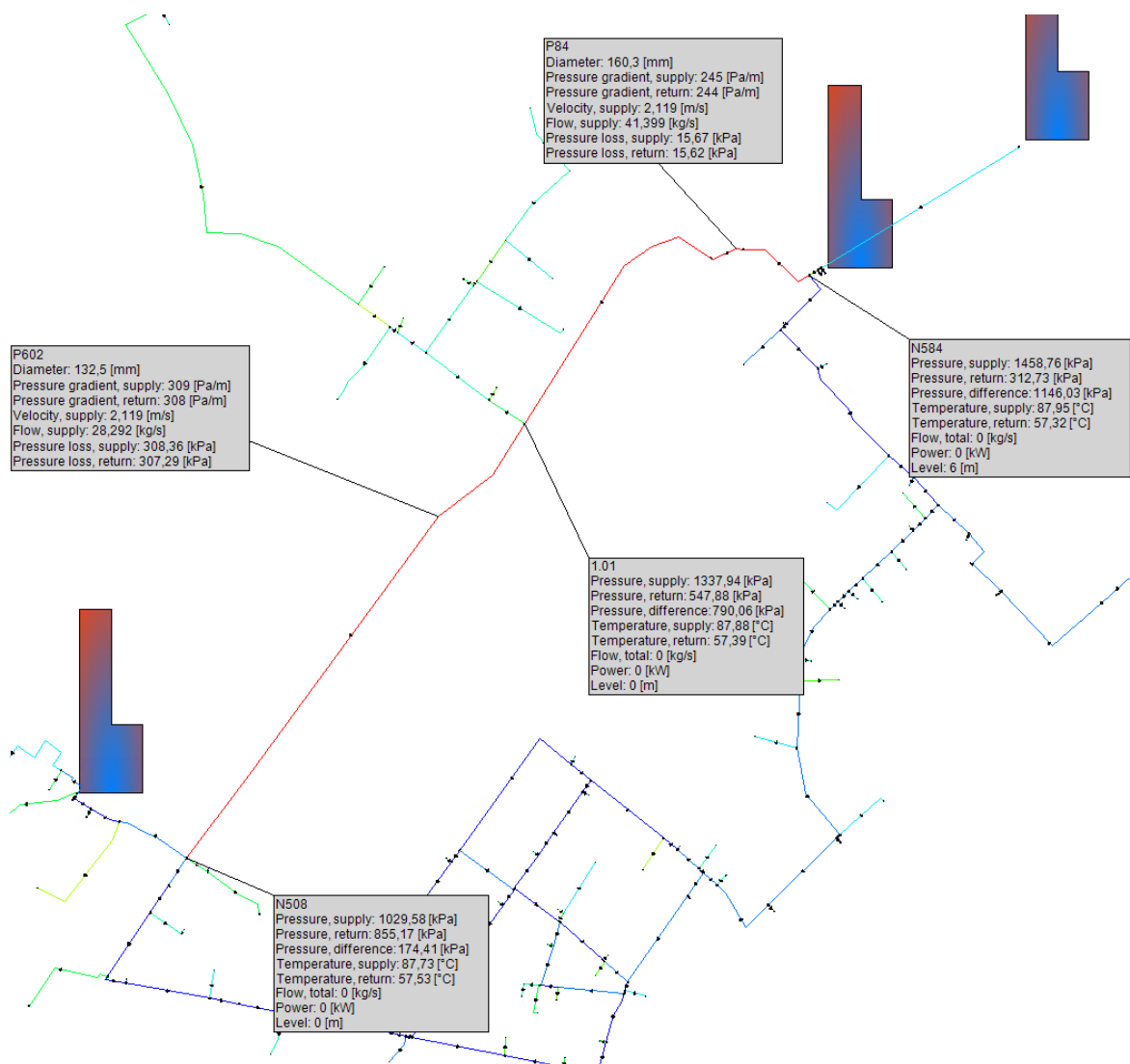
Tabel 3.6 Torustikulõigu hüdraulika lõigu P181 sulgemisel

Olol läbimõõtude asendamine P181 suletud				
	Stsenaarium 1	Sõlm	Stsenaarium 2	Sõlm
Toodetud soojus, kW	12864.2		12865.6	
Tarbitud soojus, kW	12408.2		12416.2	
Soojuskadu, kW	455.2		448.7	
Soojuskadu, %	3.54		3.49	
Suurim rõhk, kPa	1529.45	N580	771.6	NGB
Väiksem rõhk, kPa	300	SWWH01	300	SWWH01
Suurim temperatuur, °C	88	N11/N580/ NGB/SWWH01	88	N11/N580/ NGB/SWWH01
Väiksem temperatuur, °C	56.5	1.05	56.3	N6
Suurim rõhkude vahe, kPa	1172.4	N580	471.6	SWWH01
Väiksem rõhkude vahe, kPa	99.8	YEL303	100.0	ORA106

Joonisel 3.4 on näidatud lõigu N508 – N584 hüdraulilisi andmeid juhul, kus toru P602 on viidud läbimõõdule DN125 ja lõik P84 on läbimõõduga DN150. Võrk töötab esimese stsenaariumi järgi, kus peamised tootmisvõimsus on koondunud linna põhjaosasse.

Lõigul P602 oleks erirõhukaoks pealevoolu torus 309 Pa/m ja tagasivoolul 308 Pa/m. See tähendaks, et rõhukadu lõigu P602 pealevoolu torus on punktide 1.01 ja N508 vahel 308,4 kPa ja tagasivoolu puhul jääks rõhukadu 307 kPa. peale- ja tagasivoolu summaarne rõhukadu P602 lõigul oleks 615 kPa.

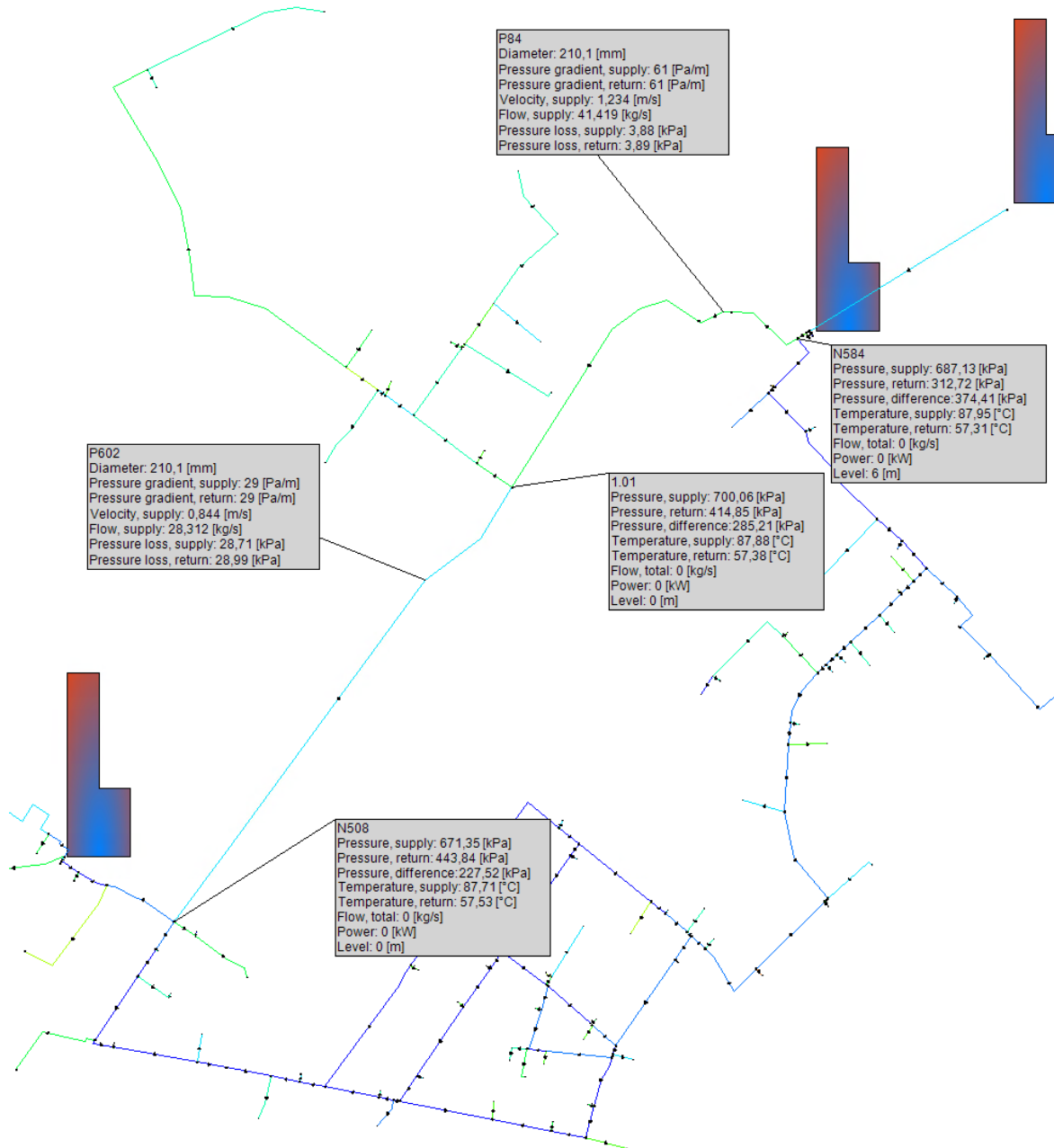
Kui lõigu P84 läbimõõt oleks DN150, siis sellisel juhul oleks erirõhukadu sellel lõigul pealevoolul 245 Pa/m ja tagasivoolul 244 kPa. Kuna tarbija hargnemisi ei ole pikemal lõigul, siis vaatame rõhulangu lõigul 1.01 ja N584. Pealevoolu rõhulanguks oleks sellel lõigul 121 kPa ja tagasivoolul oleks rõhulanguks 235 kPa. tagasivoolu suurem rõhulang on tingitud sellest, et sõlm N584 asub kõrgemal sõlmest 1.01.



Joonis 3.4 Lõigu N508 - N584 hüdraulika toru läbimõõdul DN150, DN125 P181 sulgemise puhul

Joonisel 3.5 on kujutatud olukord, kus torulõik P181 on endiselt suletud, aga lõik sõlmede N508 ja N584 vahel on asendatud läbimõõduga DN200. Kohe paistab silma erirõhkude langemine lõigul P84 varasemalt 245 Pa/m praegusele 61 Pa/m pealevoolu torul. Lõigu P602 korral langeks pealevoolu erirõhkude 309 Pa/m kohta 29 Pa/m.

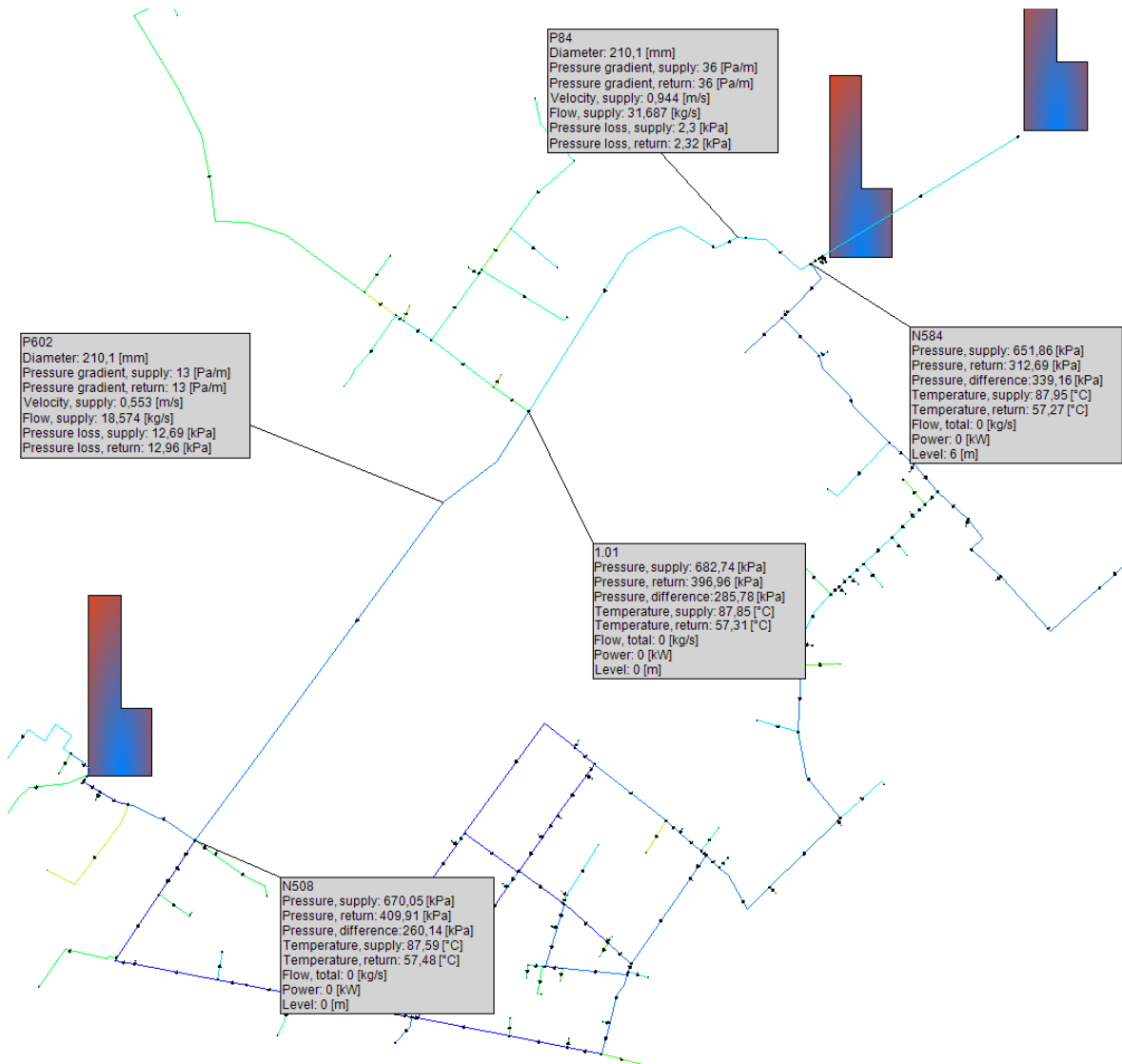
Sõlmede N584 ja N508 rõhkude vahet mõjutaks selline muudatus märgatavalt. pealevoolu puhul oleks rõhkudevahe 16 kPa, tagasivoolu puhul jääks rõhkudevahe 131 kPa. tagasivoolu suurem vahe on tingitud kõrhuste vahest punktide vahel. Kokku oleks ainult lõigu N508 – N584 poolt põhjustatud rõhulang 147 kPa. Viimane rõhulang ei võta arvesse kõiki lõiguga ühendatud hargnemisi ning hargnemistega koos langeks rõhulang sõlmes N584 varasemalt 1146 kPa praeguse variandi järgsele 374 kPa.



Joonis 3.5 Lõik N508 - N584 hüdraulika suurendatud läbimõõdule DN200 toru P181 sulgemise korral

Joonisel 3.6 on välja toodud võrgu hüdraulika juhul, kui torustiku lõik P181 töötab ehk tavaline olukord, kui peaks lõigul N508 - N584 paigaldatama suurem läbimõõt DN200. Eirirõhukadu lõigul P84 oleks nii tagasivoolul kui ka pealevoolul 36 Pa/m. Lõigu P602 puhul jääks eirirõhukadu 13 Pa/m juurde. Sellise lahenduse puhul peaks olema sõlmes N508 18 kPa kõrgem rõhk kui sõlmes N584. Kõrgema rõhu põhjustajaks selles punktis oleks kõrgustevahe punktiga N584 ja torustiku madal eirirõhukadu. Tagasivoolu puhul

on rõhkudevahe 97 kPa. Kogu rõhkudevahe erineks 79 kPa võrra, olles suurem sõlmes N584.



Joonis 3.6 Lõigu N508 - N582 hüdraulika suurendatud läbimõõdu DN200 ja avatud P181 toru puhul

Tabelis 3.7 on välja toodud lõigu P181 avatud ja suletud olekus rõhud võrgus nii olemasolevatel kui ka muudetud läbimõõtude puhul. Nagu kõigi varasemate variantide puhul on madalaima rõhuga punkt võrgus SWWH01, kus toimub võrgu rõhuhoidmine. Suurim rõhkude vahe muutub vahemikus 364 kPa 1172 kPa. Kõige kehvem variant on nii rõhkudevahe poolest kui kasuurima rõhuga võrgus variant, kus lõik P84 on DN150 ja lõik P602 on läbimõõduga DN125 ning lõik P181 on suletud. Selleks, et leida antud kohas optimaalseim lahendus tuleb antud punkti täpsemalt arutada tellijaga, kas ja kui palju soovitakse erinevateks erijuhtudeks valmis olla ning kui tasuv see majanduslikult on. Kuid läbimõõtude suurendamist antud lõikudel võiks kaaluda.

Tabel 3.7 Võrgu hüdraulika võrdlus lõigu P181 sulgemisel ja N508 - N584 suurendamisel läbimõõdule DN200

	Tavaline (sõlm)	P181 suletud (sõlm)	P181 suletud suurendatud läbimõõt DN200 (sõlm)	P181 avatud suurendatud läbimõõt DN200(sõlm)
Suurim rõhk, kPa	750.3 (N580)	1529.4(N580)	757.7 (N580)	717.8(N580)
Väiksem rõhk, kPa	300.0(SWWH01)	300.0(SWWH01)	300.0(SWWH01)	300.0(SWWH01)
Suurim rõhkude vahe, kPa	406.4(SWWH01)	1172.4 (N580)	400.8(N580)	364.4(SWWH01)
Väikseim rõhkude vahe, kPa	100.3(ORA106)	99.8 (YEL303)	100.0 (ORA106)	100.3(ORA106)

KOKKUVÕTE

Töö alguses sai vaadeldud kaugkütte olukorda Saksamaal. Millised kasutatavatest kütustest on levinuimad ning mille suunas tulevikus liigutakse. Lisaks sai vaadeldud erinevaid soojussalvesti tüüpe, mille poolest nad omavahel erinevad ning millist, mis tingimustel kasutada saab. Selles etapis sai vaadeldud kasutatud hüdraulika arvutuse programm, mis valemitel see põhineb, kuid sai vaadeldud ka mis on antud programmi eelised.

Töö keskmises faasis kirjeldati linna, mille põhjal on tehtud planeeritava kaugkütte võrgu arvutus. Tutvuti nii olemasolevate võrkudega, kui ka võeti vaatluse alla planeeritavasse võrku lisanduvad tarbijad. Vaadeldi kahte stsenaariumit, mis olid projekti tellija poolt ette andnud. Mõlema stsenaariumi kesksel kohal oli tööstuse jääksoojuse kasutamine, kui ka soojussalvestites salvestatud soojuse kasutamine. Selles osas arvatud ka planeeritud võrgule läbimõõdud, teostati arvatud läbimõõtudele ka esmane optimeerimine, et vähendada torustikes tekkivaid rõhukadusid. Viimasena vaadeldi erinevaid juhtumeid, mis peaks juhtuma, kui mõni olemasolevatest alles jäätavatest torustikest peaks tööst väljas langema. Nende olukordade käigus üritati aru saada, kas olemasolevat lõigud suudaksid planeeritava lõigu avarii korral piisavas koguses soojust tarbijateni transportida.

Viimases peatükis vaadeldi tellija antud ülesandest kaugemale ning optimeerisiti olemasolevaid torustike eesmärgiga muuta võrgus tekkiv suurim rõhkude vahe ühtlasemaks, et suuremate avariide või hooldustööde ajaks ei peaks võrku lisama suuremat pumpamisvõimekust. Selles etapis vaadeldi samuti varasemas peatükis käsitletud kolme avarii situatsiooni uutel tingimustel ning mõningatel lõikudel jõuti järeldusele, et torustiku läbimõõtu tuleks veel mõnes kohas suurendada.

Selleks, et näha selles töös kujutatud võrku tervikuna toimimas kulub palju aega. Esimesed soojustrasside ehitused hakkavad pihta juba sellel aastal ning hetkel mõjutab ehitamise ajakava linna poolne tänavate rekonstrueerimise ajakava. Selle mõju avaldub selles, et ei soovita samu teelõike iga paari aasta tagant üles kaevata. Võrguplaneerimisel on arvestatud kõikide piirkonnas olevate tarbijate liitumisega ning sooviga tagada võimalikult madal rõhukadu. Realsuses ei pruugi kõik kaardil kujutatud tarbijad võrguga liituda. Sellest tulenevalt hindab autor, et töös kujutatud võrk võib jääda üledimensioneerituks.

Autori hinnangul on antud töös kohti, mis vajaksid lisauurimist. Olulisemateks punktideks, mida võiks autori hinnangul veel uurida on:

- 1) Millist mõju avaldaks teises piirkonnas ringühenduste vähendamine või torude läbimõõtude vähendamine?
- 2) Hetkel on võrgu arvutused teostatud külmale perioodile, kuid kuidas toimiks võrk väiksema koormusega välistemperatuuri 0° ja $+10^{\circ}$?
- 3) Kuidas toimiks võrk, kui võrguga liituksid veerandi, poole, poolteist või kahe kordse tarbimisvõimsusega tarbijad?

SUMMARY

At the beginning of the thesis an overview of the German district heating networks was given. Which fuels are used the most commonly and in which direction they will move in the future? In addition, an overview of different types of heat accumulators were given, the differences between them and the conditions under which they can be used. A review of the hydraulic calculation program and the formulas on which it is based, was also given. but the advantages of this program were also reviewed.

In the middle phase of the thesis, the city of Brunsbüttel was described, which was the basis for the calculation of the planned district heating network. The existing networks were examined, as well as the consumers who will be added to the planned network. Two scenarios presented by the client were considered. At the heart of both scenarios was the use of residual heat in industry, as well as the use of heat stored in heat accumulators. In this part, the diameters of the planned network were also calculated, and the initial optimization was performed on the calculated diameters in order to reduce the pressure losses in the pipelines. Lastly, various cases were considered which should happen if any of the existing pipelines that remain, fail. In these situations, an attempt was made to understand whether the existing sections would be able to transport sufficient heat to consumers in the event of an accident on the planned section.

The final chapter looked beyond the customer's task and optimized the existing pipelines in order to make the maximum pressure difference in the network more uniform, so that no major pumping capacity should be added to the network during major accidents or maintenance work. At this stage, the situation of the three accidents discussed in the previous chapter was also examined in the new context, and it was concluded in some sections that the diameter of the pipeline should be increased in some places.

It takes a long time to see the network depicted in this work as a whole. The first constructions of heating mains will start already this year and at the moment the construction schedule will be greatly influenced by the city's street reconstruction schedule. The effect is that it is not recommended to dig up the same sections every few years. The network planning has taken into account the connection of all consumers in the area and the desire to ensure the lowest possible pressure loss. In reality, not all consumers shown on the map may join the network. Consequently, the author estimates that the network depicted in the work may remain oversized.

The author suggests, that there are places in this thesis that would need further research. According to the author, the most important points that could be studied are:

1) What effect would a reduction in ring connections or a reduction in pipe diameters have in second area?

2) At the moment, the network calculations have been performed for the cold period, but how would the network work with a lower load outside temperature of 0 ° and + 10 °?

3) How would the network work if consumers with a quarter, half, one and a half or twice the capacity would join the network?

KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU

- [1] „Euroheat & Power,” 2019. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.euroheat.org/knowledge-hub/district-energy-germany/>.
- [2] P. E. G. H. T. G. Trieb M. S., „Landscape of district heating systems in Germany – Status quo and categorization,” *Energy Conversion and Management*, 2021.
- [3] T. H. O. W. W. H. A. P. R. B. R. Munson, „*Fundamentals of FLuid Mechanichs*,” Hoboken, NJ, John Wiley & Sons Inc, 2013.
- [4] S. W. S. Frederiksen, „District heating and cooling,” 2017.
- [5] W. S., „Annual heat losses in district heating networks,” *Fernwärme International*, nr 9, 1982.
- [6] „Vitec software koduleht,” [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.vitecsoftware.com/en/product-areas/energy/products/netsim-grid-simulation/>. [Kasutatud 21 05 2021].
- [7] S. P. A. Nielsen J. E., „Renewable district heating and cooling technologies with and without seasonal storage,” *Renewable Heating and cooling*, pp. 197-220, 2016.
- [8] D. P. Sartor K., „Optimized Integration of Heat Storage Into District Heating Networks Fed By a Biomass CHP Plant,” *Energy Procedia*, nr 135, pp. 317-326, 2017.
- [9] G. P. Beckmann G, „Thermal Energy Storage,” *Springer- Verlag* , 1983.
- [10] „Brunsbütteli asukoht,” [Võrgumaterjal]. Available: <https://en.wikipedia.org/wiki/Brunsb%C3%BCttel>.
- [11] „Brunsbütteli asukoht Google maps'is,” [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.google.com/maps/place/25541+Brunsb%C3%BCttel,+Germany/@53.9524042,8.1935506,7.5z/data=!4m5!3m4!1s0x47b3e569a1aee0d9:0x8589b7925d4a6866!8m2!3d53.8988902!4d9.1338853>.

- [12] „Brunsbütteli kesklinna väljavõte kaardilt Google Maps,“ [Võrgumaterjal].
Available: <https://www.google.com/maps/@53.9022412,9.1196316,14.5z>.
[Kasutatud 09 05 2021].
- [13] „Logstori tootekataloog,“ Logstor, [Võrgumaterjal]. Available:
<https://www.logstor.com/media/6614/design-202005.pdf>. [Kasutatud 07 05 2021].
- [14] Eesti Jõujaamade ja Kaugkütte Ühing, Soojussõlmed. Juhised ja eeskirjad, 2019.