



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOO
INSENERITEADUSKOND
Energiatehnoloogia instituut

KAUGKÜTTEVÕRKUDE ÜHENDAMINE TALLINNA LINNAS: MASTAABIEFEKTI POTENTSIAAL VÄIKESTE KAUGKÜTTEPIIRKONDADE INTEGREERIMISEL

CONNECTING DISTRICT HEATING NETWORKS IN THE CITY OF TALLINN: THE POTENTIAL OF SCALE EFFECT IN THE INTEGRATION OF SMALL DISTRICT HEATING AREAS

MAGISTRITÖÖ

Üliõpilane: Katre Keridan

Üliõpilaskood 232292MASM

Juhendajad: Igor Krupenski, vanemlektor
Kaspar Kasepõld, volitatud
soojusenergeetikainsener

Konsultant: Eduard Latõšov, dotsent,
AS Utilitas Tallinna Soojus
ärianalüütika osakonna uuringute
juht

(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.

“21” mai 2025

Autor: Katre Keridan

/ allkirjastatud digitaalselt/

Töö vastab bakalaureusetöö/magistritööle esitatud nõuetele

“.....” 2025

Juhendaja:

/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

“.....”.....20... .

Kaitsmiskomisjoni esimees

/ nimi ja allkiri /

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks¹

Mina Katre Keridan

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose Kaugküttevõrkude ühendamine Tallinna linnas: mastaabiefekti potentsiaal väikeste kaugküttepiirkondade integreerimisel,

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.

/allkirjastatud digitaalselt/

¹ Lihtlitsents ei kehti juurdepääsupiirangu kehtivuse ajal vastavalt üliõpilase taotlusele lõputööle juurdepääsupiirangu kehtestamiseks, mis on allkirjastatud teaduskonna dekaani poolt, välja arvatud ülikooli õigus lõputööd reprodutseerida üksnes säilitamise eesmärgil. Kui lõputöö on loonud kaks või enam isikut oma ühise loomingu tegevusega ning lõputöö kaas- või ühisautor(id) ei ole andnud lõputööd kaitsvale üliõpilasele kindlaksmääratud tähtajaks nõusolekut lõputöö reprodutseerimiseks ja avalikustamiseks vastavalt lihtlitsentsi punktidele 1.1. ja 1.2, siis lihtlitsents nimetatud tähtaja jooksul ei kehti.

Energiatehnoloogia instituut

LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Üliõpilane: Katre Keridan 232292MASM

Õppekava, peeriala: MASM02/23 - Energiatehnoloogia ja soojusenergeetika

Juhendaja(d): TTÜ vanemlektor, Igor Krupenski +372 5800 3989

volitatud soojusenergeetikainsener, Kaspar Kasepõld, +372 5309 9599

Konsultant: Eduard Latõšov, ärianalüütika osakonna uuringute juht

AS Utilitas Tallinna Soojus, +372 5757 0487, Eduard.Latosov@utilitas.ee

Lõputöö teema: Kaugküttevõrkude ühendamine Tallinna linnas: mastaabiefekti potentsiaal väikeste kaugküttepiirkondade integreerimisel

Connecting District Heating Networks in the City of Tallinn: The Potential of Scale Effect in the Integration of Small District Heating Areas

Lõputöö põhieesmärgid:

1. Hinnata mastaabiefekti mõju ning potentsiaali väikeste kaugküttepiirkondade liitmisel Tallinna ühtse kaugküttevõrguga
2. Anda praktilist teavet Mahla piirkonnas esinenud projekteerimisalaste väljakutsete osas, mida saab võtta aluseks väikeste kaugküttevõrkude liitmise planeerimisel
3. Esitada ettepanekuid kohalikule omavalitsusele väikeste kaugküttevõrkude liitmise protsessis osalemisel

Lõputöö etapid ja ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Tähtaeg
1.	Lõputöö teema valimine, meetoodika välja töötamine	10.02.2025
2.	Lõputöö valmimine, vormistuslikud täiendused	01.05.2025
3.	Lõputöö terviklik esitamine	21.05.2025

Töö keel: eesti keel **Lõputöö esitamise tähtaeg:** "21" mai 2025.a

Üliõpilane: Katre Keridan /allkirjastatud digitaalselt/

Juhendaja: Igor Krupenski /allkirjastatud digitaalselt/

Kaasjuhendaja: Kaspar Kasepõld /allkirjastatud digitaalselt/

Konsultant: Eduard Latõšov /allkirjastatud digitaalselt/

Programmijuht: Alar Konist /allkirjastatud digitaalselt/

Kinnise kaitsmise ja/või lõputöö avalikustamise piirangu tingimused formuleeritakse pöördel

SISUKORD

EESSÕNA.....	7
Lühendite ja tähiste loetelu.....	8
1. SISSEJUHATUS.....	9
2. KAUGKÜTE TALLINNAS	11
2.1 Tallinna kaugküttevõrgu kujunemine.....	13
2.2 Tallinna ühtne kaugküttevõrk täna	14
2.2.1 Tallinna kaugküttesektori institutsionaalne areng ja turustruktuuri muutused	16
2.3 Väikesed kaugküttepiirkonnad Tallinnas.....	17
2.4 Regulaatiivsed raamistikud.....	19
2.4.1 Tallinna kaugküttepiirkond	21
2.5 Toetused kaugküttetaristu arendusse.....	22
3. UURIMUSE KOOSTAMISE ALUSED	24
3.1 Mastaabiefekti konseptsioon ja rakendus.....	24
3.1.1 Tarbimistihedus.....	24
3.2 Energiasääst ja selle hindamise meetodid	25
3.2.2 Soojuskaod	25
3.2.3 Kaalumistegur.....	26
3.3 Süsiniku eriheitetegur	27
3.4 Majandusliku tasuvuse hindamine.....	27
3.4.1 Ehitusmaksumus.....	28
3.5 Projekteerimine	29
3.5.1 Võrgu planeerimine	31
3.5.2 Normaliseeritud soojusenergia tootmismahd.....	32
3.6 Ehitusprojekti koostamine, ehitusloa menetlus ning projekteerimistingimused	32
4. MAHLA KAUGKÜTTETORUSTIK	34
4.1 Ülevaade olemasolevast olukorrast	34
4.1.1 Projekteerimise käik.....	36

4.1.2 Alternatiivsed trasseeringud	39
4.2 Väljakutsed projekteerimisel	45
5. MASTAABIEFEKTI MÕJU HINDAMINE MAHLA	
KAUGKÜTTETORUSTIKU PROJEKTI NÄITEL	47
5.1 Lihtsustused arvutuste läbiviimiseks	49
5.2 Arvutuste läbiviimise mudel	51
5.3 Mastaabiefekti mõju energiasäästule	54
5.3.1 Energiasääst kaalumisteguriga	56
5.4 Mastaabiefekti mõju CO ₂ eriheitetegurile	57
5.5 Mastaabiefekti potentsiaali majanduslik hinnang	59
6. KAUGKÜTTEVÕRKUDE ÜHENDAMINE TALLINNAS.....	66
6.1 Tehnilised piirangud ja lahendused	66
6.2 Hinnang mastaabiefekti rakendamise potentsiaalile Tallinna	
piirkondades	67
6.2.1 Alternatiivid fosilsetele kütustele	68
6.3 Ettepanekud	69
KOKKUVÕTE	71
ABSTRACT	73
KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU	75
LISA 1	80
LISA 2	81
LISA 3	82

EESSÕNA

Käesolev magistritöö „Kaugküttevõrkude ühendamine Tallinna linnas: mastaabiefekti potentsiaal väikeste kaugküttepiirkondade integreerimisel“ on valminud Tallinna Tehnikaülikooli Energiatehnoloogia instituudi magistritööpe raames. Magistritöö teema valik põhineb isiklikul kokkupuutel, kus autor osales Mahla kaugküttetorustiku projekteerimisel, mis andis ainekaks ka antud magistritöö koostamiseks.

Töö koostamisel ja analüüside läbiviimisel olid suureks abiks juhendajad Igor Krupenski ja Kaspar Kasepõld, kelle erialane tugi ja praktilised soovitusid aitasid meetodika valimisel ning töö fookuse hoidmisel. Samuti tänab autor konsultanti Eduard Latõšovit, kes AS Utilitas Tallinna Soojuse ärianalüütika osakonna uuringute juhina jagas väärtuslikku sisendit kaugküttevõrgu arenduse kohta ja aitas kaasa arvutuste sisendandmete kogumisel ning töötlemisel.

Magistritöö eesmärk oli hinnata väikeste kaugküttepiirkondade liitmise potentsiaali Tallinna ühtse kaugküttevõrguga Mahla piirkonna näitel, kus analüüsiti liitmise mõjusid energiasäästule, süsiniku jalajäljele ja majanduslikule tasuvusele. Töös käsitleti ka projekteerimisel ette tulnud praktilisi takistusi ja kooskõlastusprotsesse, et pakkuda soovitusi tulevaste analoogsete projektide edukaks elluviimiseks.

Lühendite ja tähiste loetelu

Jm – jooksevmeeter

KOV – kohalik omavalitsus

KKT - kaugküte

KTJ – koostootmisjaam

SEJ – soojuselektri jaam

SPJ - soojuspumpjaam

1. SISSEJUHATUS

Tallinna linna pikaajalise kliimakava kohaselt on seatud eesmärgiks saavutada kliimanetraalsus aastaks 2050. Selle eesmärgi saavutamiseks on määratletud mitmeid strateegilisi tegevussihete, millest üks kesksemaid on kaugküttevõrkude laiendamine ning väikeste, lokaalkatlamajadega piirkondade ühendamine suure ühtse kaugküttevõrguga. Samuti on seatud vahe-eesmärk, mille kohaselt peab 2030. aastaks vähemalt 90% Tallinna kaugküttesoojusest pärinema biomassist või taaskasutuseks mittesobivatest jäätmetest, säilitades maagaasi rolli üksnes tipukoormuste katmisel [1].

Väikeste kaugküttepiirkondade ühendamisel Tallinna ühtsesse kaugküttevõrku võib esineda mastaabiefekt, mille võimalikuks ilminguks on energia tootmise ja edastamise suurem efektiivsus ja väiksem primaarenergia kulu tarbitud energiaühiku kohta. Samuti võib selline ühendamine mõjutada süsteemi töökindlust ning energiavarustuse hinnastabiilsust. Käesolevas magistritöös uuritakse mastaabiefekti mõju Mahla piirkonna kaugküttevõrgu ühendamise näitel, mis väljendub primaarenergia kulu ja süsiniku jalajälje muutustes ning potentsiaalses majanduslikus kuluefektiivsuses võrreldes lokaalse tootmisega. Mastaabiefekti potentsiaali hindamiseks viiakse läbi stsenaariumipõhine võrdlev analüüs.

Käesolevas töös uuritakse Tallinna linnas ühte eraldi seisvat kaugkütte võrgupiirkonda-Nõmme linnaosas asuv Mahla võrgupiirkond. Töös vaadeldakse kolme võimalikku stsenaariumit eelmainitud kaugküttevõrgu käitamisele: olemasoleva olukorra jätkumine, kus soojuse tootmine baseerub lokaalsel maagaasikatlamajal; ühendamine Tallinna kaugküttevõrguga 2025. aasta tootmisstruktuuri alusel ning ühendus 2030. aasta prognoosiga, mil kaugküttesoojus toodetakse 100% taastuvatest allikatest. Töö käigus analüüsitakse piirkonna ühendamisel tekkivat mõju energiasäästule, CO₂ heitkogustele ning lõpptarbija hinnale. Metoodiliselt põhineb töö energiasäästu hindamisel primaarenergia arvutusel ja kaalumisteguritel, süsiniku jalajälje hindamisel süsiniku eriheiteteguritel ning majanduslikul hindamisel investeeringute tasuvuse võrdlusel kolme stsenaariumi vahel. Kasutatud on nii soojusvõrgu tarbimisstatistikat, kaugkütte piirhindade andmeid kui ka projekterimisdokumentides sisalduvat teavet torustiku pikkuse kohta.

Teema aktuaalsus tuleneb asjaolust, kus Mahla piirkond on valdavalt suure tarbimiskoormusega Tallinna kaugküttealased, kus soojust toodetakse lokaalses maagaasil töötavas katlamajas. See ei vasta Tallinna linna pikaajalise kliimakava eesmärgile vähendada fossiilkütuste osakaalu kaugküttes, seega piirkonna soojuse

tootmise ümberstruktureerimine on strateegiline eesmärk nii kohaliku omavalitsuse kui ka võrguvaldaja jaoks.

Autori otsene osalus Mahla kaugküttetorustiku projekteerimisel võimaldab käsitleda uurimisobjekti nii analüütilisest kui ka rakenduslikust vaatenurgast. Töö ühendab mastaabiefekti käsitleva arvutusliku analüüsi praktiliste kogemustega, mis on seotud trassikoridori planeerimise, projekteerimistingimuste hankimise ning insenertehniliste lahenduste leidmisega tihedas tehnovõrkude piirkonnas. Kirjeldatud väljakutsed ja järeldused ei ole unikaalsed üksnes Mahla projektile, vaid on rakendatavad ka teiste Tallinna väikevõrkude kontekstis, mille liitmine ühtsesse kaugküttevõrku on lähiaastate kliimapoliitiline ja tehniline eesmärk. Seetõttu võib antud töö tulemusi käsitleda kui sisendit edasiste sarnaste projektide kavandamisel ja elluviimisel.

Töö on jagatud kuueks peatükiks. Esimeses peatükis antakse ülevaade Tallinna kaugkütte arengust ja hetkeseisust, teises käsitletakse regulatiivseid, tehnilisi ja rahastamismehhanisme. Kolmas peatükk kirjeldab kasutatud meetodikat. Neljandas peatükis tuuakse detailne ülevaade Mahla kaugküttevõrgu hetkeolukorrast ja projekteerimisprotsessist. Viendas peatükis esitatakse arvutused, mis näitavad ühendamise mõju energiasäästule, CO₂ eriheitele ja majanduslikule tasuvusele. Kuuendas peatükis antakse üldine hinnang kaugküttevõrkude ühendamise potentsiaalile Tallinna kontekstis ning tehakse ettepanekud regulatiivsete ja tehniliste kitsaskohtade lahendamiseks.

Lõputöö kasutab mitmeid allikaid, sealhulgas Tallinna linna strategiadokumente, AS Utilitas Tallinna Soojuse võrgupiirkondade- ning majandusandmeid, Konkurentsiameti hinnakooskõlastusi ning riiklike määruste väärtusi CO₂ heitkoguste ja kaalumistegurite kohta. Arvutused koostati Microsoft Exceli programmis. Graafilised joonised ja skeemid pärinevad AS Utilitas Tallinna Soojuse tehnilistest lähteülesannetest ning on esitatud töö lõpuosas, lisades.

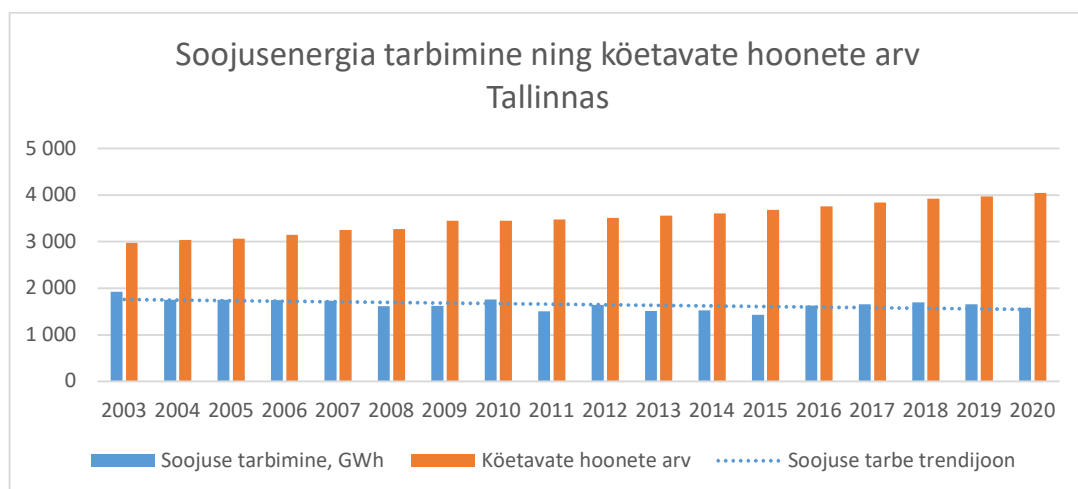
Võtmesõnad: kaugküte, mastaabiefekt, energiasääst, süsiniku eriheitetegur, magistritöö

2. KAUGKÜTE TALLINNAS

Kaugküte on Eesti majapidamistes kõige enam levinud soojusvarustuse vorm. 2021. aasta rahvaloenduse andmetel oli see kasutusel 71% asustatud eluruumides. Eestis on kokku veidi üle 200 kaugküttepiirkonna ning 229 kaugkütte võrgupiirkonda [2]. Ligi kolmandik Eesti rahvastikust elab Tallinnas, mis teeb sellest suure ja tihedalt asustatud soojust vajava piirkonna. Selle valguses on Tallinna linnas suur potentsiaal maksimiseerida kaugkütte eeliseid lokaalkütte ees [3].

Kaugküttepiirkond on Kaugkütte seaduse alusel üldplaneeringu alusel kindlaksmääratud maa-ala, millel asuvate tarbijapaigaldiste varustamiseks soojusega kasutatakse kaugkütet, et tagada kindel, usaldusväärne, efektiivne, põhjendatud hinnaga ning keskkonnanõuetele ja tarbijate vajadustele vastav soojusvarustus. Võrgupiirkonna all mõistetakse seaduse alusel maa-ala, kus asub ja kus arendatakse ühe võrguettevõtja omandis või valduses olevat võrku [4]. Võrgupiirkond võib laieneda ka teistesse kaugküttepiirkondadesse, näiteks laieneb Tallinna võrgupiirkond ka Maardu linna ning Rae valda [2]. Täpsem ülevaade regulatiivsetest raamistikest ning Tallinna kaugküttepiirkonnast on toodud alapeatükkides 2.4 ning 2.4.1.

Soojusenergia tarbimine Tallinnas on püsinud perioodil 2003-2020 valdavalt stabiilsel tasemel. Vaatamata asjaolule, et samal perioodil on Tallinna köetavate hoonete arv on kasvanud ligi 1000 võrra, kuid joonisel 2.1 on näha, et soojusenergia tarbimine Tallinnas on hoopis langustrendis [5]. Paradoksi saab selgitada asjaoluga, et viimasel kümnendil on Tallinnas investeeritud energiasäästu potentsiaali parendamisse, mille meetmeteks on hoonete soojustamine, soojuse tootmise uuendamine ning soojustorustike renoveerimine [3].



Joonis 2.1 Soojusenergia tarbimine Tallinnas [5]

Lisaks on soojuse tarve (sellest tulenevalt ka soojuse tootmisvõimsus) seotud välisõhutemperatuuriga – mida külmem on välisõhu temperatuur, seda rohkem on vaja hooned kütta [6]. Keskmine välisõhutemperatuur erineb aastate lõikes - sellest tulenevalt ei saa teha otseseid järeldusi energiatõhususe muutuste osas ainult soojusenergia tarve tõusu või languse alusel, vaid kasutatakse normaliseeritud soojusenergia tootmismahu meetodit. Selgitused meetodi osas on kirjeldatud alapeatükis 3.5.2.

Tallinn on kehtestanud kindlad kaugküttepiirkonnad, kus kaugkütte kasutamine on kohustuslik ja kus asub peaaegu 4000 hoonet soojusarvestitega. Tallinna linna pikaajalise kliimakava eesmärgi saavutamiseks rakendatavate meetmete hulka kuulub ka väikekatlamajade ühendamine suure süsteemiga [1]. Perioodil 2020–2022 on Tallinna ühtses võrgupiirkonnas lisandunud aastas keskmiselt ca 100 uut tarbijat, lahkunud aga keskmiselt ca 10 tarbijat (sh ka hoonete lammutamised) [2].

Kaugküttevõrkude rekonstrueerimine ja laiendamine on olnud pidev protsess, mis aitab vähendada võrgu soojuskadusid ja suurendada energiatõhusust. Soojuskadusid Tallinna kaugküttevõrgus on hinnatud kütteperioodi jooksul ligikaudu 10% peale, väljaspool kütteperioodi (kus soojuse tarnimine toimub sooja tarbevee jaoks), on soojuskaod üle 30% [7]. AS Utilitas Tallinna Soojuse majandusaasta aruande kohaselt on 2035. aastaks seatud eesmärk saavutada 100% ulatuses rekostrueeritud jaotusvõrk. 2021. aastal renoveeriti ja laiendati võrke kokku 28 km ulatuses, 2022. aastal 26 km ning 2023. aastal 27 km ulatuses [8][9].

01.01.2024 aasta seisuga oli AS Utilitas Tallinna Soojuse hallatava kaugküttevõrgu pikkus 519,84 km, millest 2023. aastaks oli majandusaastaruande kohaselt rekonstrueeritud 68,8% [8]. Võrkude rekonstrueerimismahu eesmärgi saavutamiseks tuleb järgnevate aastate jooksul rekonstrueerida keskmiselt 14.75 km soojustorustikke aastas, millele lisanduvad ka uute kaugkütte trasside mahud [10].

2020. aasta andmete kohaselt toodeti 80% Tallinna kaugküttesoojusest biomassist ning jäätmetest. Tipukoormuste katmiseks kasutati maagaasi [1]. 2023. aasta seisuga varustati soojusega umbes kolmandikku Eesti kaugkütte klientidest, sealhulgas ligi 187 000 majapidamist ning munitsipaal- ja ärikliente [8].

2.1 Tallinna kaugküttevõrgu kujunemine

Tallinna kaugküttevõrgu rajamine algas 1956. aastal, kasutades selleks Tallinna Elektriijaama toodetud soojust. Elektriijaama juurde ehitati katelseade, torustik ja pumbad, ning linnas hakati arendama kaugküttevõrku. Samal aastal valmis ka soojusvõrkude esialgne projekt, mille autoriks oli projekteerimisinstituut Teploelektroprojekt Riia osakond, projekteerimisaegsete probleemide tõttu anti projekt üle RPI Eesti Projektile. Projekti järgi oli tollaegse kaugküttevõrgu temperatuurirežiim 130/70 °C ning võrgu kogu soojuskoormus oli 128 MW [7].

Esmane rajatud Tallinna kaugküttevõrgu magistraalitorustik ulatus elektriijaamast Viru väljakuni ning sealt edasi mööda Rävalla puiesteed kuni Kentmanni tänavani, kogupikkusega 2,1 km. Torustiku läbimõõt oli elektriijaamast Viru väljakuni 500 mm ja Rävalla puiestest Kentmanni tänavani 400 ja 250 mm. Esimene Tallinna kaugküttevõrku ühendatud hoone oli aadressiga Kentmanni 10 (tol ajal Kreuksi tänav), millele järgnes järgmisel päeval Estonia pst 1 asuv Eesti Energia administratiivhoone. 1959. aasta lõpuks oli kaugküttevõrguga ühendatud neli maja kogukoormusega 1,4 MW. Esimese kahe aasta jooksul ehitati kokku ligi 10 km torustikku ja ühendati 86 maja [7].

Uute elamurajoonide arenemisega kasvas nõudlus soojuse järgi ka teistes Tallinna piirkondades: loodi tsentraalkatlamajad Mustamäele (1963. aastal) ja Põhja-Tallinnasse, Karjamaale (1964. aastal). 1968. aastaks oli Tallinna soojusvõrkude kogupikkus kasvanud 56 kilomeetrini ning kaugküttele oli üle viidud umbes 800 elamut, ettevõtet ja asutust arvutusliku soojuskoormusega 285 MW. Elamurajoonidest järgnes Kristiine katlamaja loomine 1973. aastal. Lasnamäe soojusvarustus toimus esialgu 1978. aastal intalleeritud ajutise gaaskütusel töötava konteinerkatlamaja abil, kuni valmis Iru soojuselektriijaama (SEJ) soojusmagistraal [7].

Pärast Eesti taasiseseisvumist ja üleminekut turumajandusele 1991. aastal seisid kaugküttevõrgud silmitsi mitmete probleemidega. Olulisemateks väljakutseteks olid soojuse tootmise ja transportimise madal efektiivsus ning sellest tulenev suur keskkonnareostus. Samuti mõjutas kaugkütte arengut paljude ettevõtete sulgemine, mille tõttu vähenes järsult soojuse tarbimine. Enamik senistest soojusvarustusettevõtetest restruktureeriti eraettevõteteks ning osa neist omandati hiljem välisinvestorite poolt [7].

Järgnevatel aastatel hakkas lokaalkatlamajade arv vähenema. Kui lokaalkatlamajad paiknesid olemasolevate kaugkütetrasside läheduses, ühendati need üldjuhul linnavõrku, kasutades seniseid katlamaju boilerjaamadena ja säilitades kohalikud

torustikud. Seoses riikliku toetusega elektri ja soojuste koostootmise arendamiseks rajati suurematesse linnadesse, sealhulgas Tallinna, koostootmisjaamad. Tallinna koostootmisjaamades hakati kasutama peamiselt biomassi [7]. Ülevaade tänasest Tallinna kaugküttevõrgust on antud peatükis 2.2.

2.2 Tallinna ühtne kaugküttevõrk täna

Tallinna linnas on mitu kaugküttevõrku, mis jagunevad väiksemateks võrgupiirkondadeks. Eraldiseisvad võrgupiirkonnad on Kesklinna, Pirita, Põhja-Tallinna ning Nõmme linnaosa ning Järve keskus. Ülejäänud linnaosad kuuluvad ühtsesse Tallinna võrgupiirkonda. Alates 2010. aastast on Tallinna lääne- ja idapiirkonna kaugküttevõrgud ühendatud spetsiaalse ühendustorustiku kaudu. Tänu sellele ühendusele saab soojust transportida läänepiirkonnast Kesklinna, Maardusse ja Lasnamäele, samuti vastupidises suunas [7].

Tallinna ühtne kaugküttevõrk hõlmab ligikaudu 4000 tarbijat. Läänepiirkonnas (Kristiine, Mustamäe ja Õismäe) on üle 1600 tarbija, kelle kogutarbimine aastas on 676 GWh. Kesklinna piirkonnas on ligi 1300 tarbijat, kelle aastane tarbimine ulatub 400 GWh-ni. Kõige väiksem tarbijate arv (veidi üle 1000) paikneb Lasnamäe ja Maardu piirkonnas, kuid sealne aastane tarbimine on kesklinna omast kõrgem, kokku 477 GWh. Korterelamud moodustavad Tallinna kaugküttevõrgu tarbijatest suurima osa – ligikaudu 73% [7].

Koostootmisjaamad katavad Tallinnas soojuste tarbimise baaskoormuse. Suurimateks koostootmisjaamadeks on Iru prügipõletusjaam, Tallinna SEJ 2 (Väo II), Mustamäe KTJ ning Tallinna SEJ 1 (Väo I). Tarbimise tipukoormuse katavad gaasikatlamajad, milledest suurimad on Kristiine katlamaja ning Ülemiste katlamaja [7]. Tabelis 2.1 on esitatud Tallinna võrgupiirkondi varustavad peamised soojusjaamad maksimaalsete soojuskoormustega ning kasutatava kütusega (jätkub leheküljel 15).

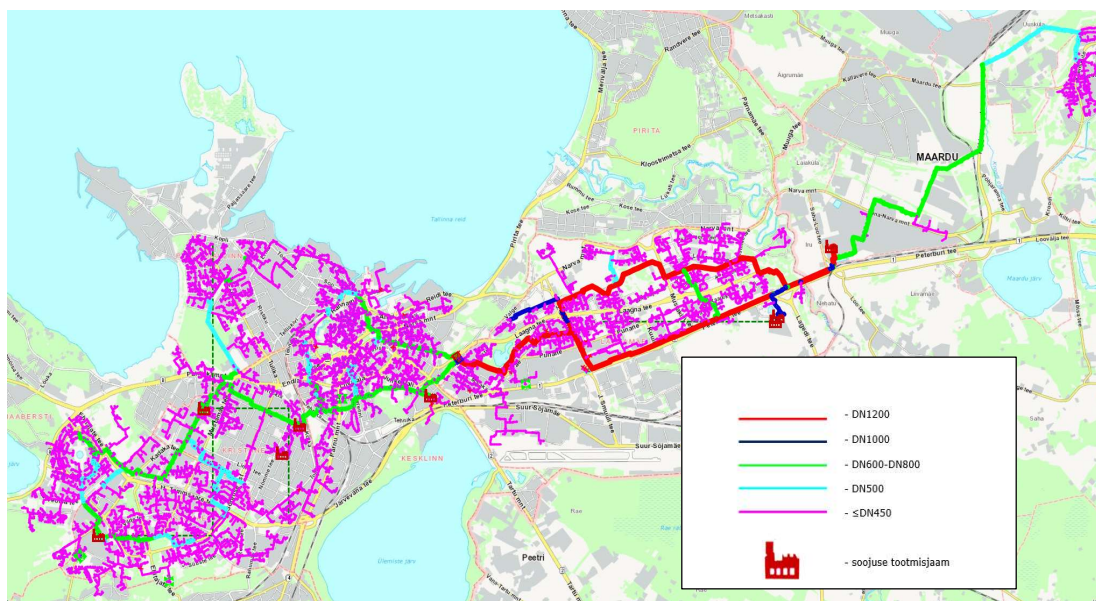
Tabel 2.1 Tallinna võrgupiirkondi varustavad peamised soojusjaamad maksimaalsete soojuskoormustega ning kasutatava kütusega [7]

Soojusjaam	Maksimaalne koormus MW (soojuslik)	Kasutatav kütus
Iru jäätmeplokk	50	jäätmepõletus
Väo II SEJ	76	puiduhake
Mustamäe KTJ	45	puiduhake

Väo I SEJ	68	puiduhake
Kristiine gaasikatlad	250	maagaas
Mustamäe gaasikatlad	200	maagaas
Ülemiste gaasikatel	100	maagaas
Spordi gaasikatel	14	maagaas

Joonisel 2.2 on kujutatud Tallinna ühtse kaugküttevõrgu skeem 2025. aasta seisuga, mille alusel on võimalik saada ülevaade võrgupiirkondade struktuurist, peamiste soojuse tootmisjaamade asukohtadest ning soojustrasside jaotusest läbimõõtude lõikes. Skeemil on torustikud esitatud erinevat värvi joontega vastavalt nende läbimõõtudele: punasega DN1200, tumesinisega DN1000, rohelisega DN600–DN800, helesinisega DN500 ning lillaga torustikud läbimõõduga DN450 ja väiksemad (\leq DN450). Lisaks on tähistatud olemasolevad soojuse tootmisjaamad. Skeemil kujutatud joonte ning tingmärkide kirjeldused on esitatud ka joonise legendis.

Antud magistritöö autor töötab inseneriettevõttes, mis osutab AS Utilitas Tallinna Soojusele konsultatsiooniteenust kaugküttevõrkude hüdrauliliste arvutuste ja projekteerimise valdkonnas, sellest tulenevalt oli autoril ligipääs 2025. aasta Tallinna ühtse kaugküttevõrgu seisule.



Joonis 2.2 Tallinna ühtne kaugküttevõrk 2025 seisuga [11]

Jooniselt joonistub selgelt välja Tallinna kaugküttevõrgu põhimagistraalide skeem, kus suure läbimõõduga torustikud (DN1000–DN1200) moodustavad piirkondade vahelised ühendused, võimaldades soojuse jaotust erinevate tootmisallikate vahel ning tagades süsteemi ringistamise kaudu varustuskindluse. Keslinna, Mustamäe ja Lasnamäe

piirkonnad on ühendatud läbi mitme paralleelse trassilõigu, mis võimaldab süsteemil töötada dünaamiliselt ja kohanduda tarbimiskoormuste muutusega. Väiksema läbimõõduga torustikud täidavad lokaalse jaotusvõrgu funktsiooni ja jõuavad lõpptarbijateni tiheda hajuvusega.

AS Utilitas Tallinna Soojus kavandab Tallinnasse Paljassaare reo- ja merevett kasutavat soojuspumpajaama. Ehitustöödega on 2025. aasta seisuga alustatud ning esimene soojusenergia peaks jõudma tarbijateni 2026. aasta sügisel, uue kütteperioodi alguseks. Jaama koguvõimsuseks on planeeritud 110 MW. Soojuspumpjaamas kasutatakse reovees sisalduvat jääksoojust, mille aastaringselt stabiilne ja suhteliselt kõrge temperatuur muudab selle soojuspumpade jaoks tõhusamaks soojusallikaks võrreldes näiteks pinnase või veekogude soojusega. Küll aga reovee vooluhulgad, mis jõuavad reoveepuhastusjaama on võrdlemisi volatiilsed ning seetõttu kasutatakse ka merevett olukordades, kus reovee hulk ei ole piisav. Paljassaare jaam töötab tulevikus koos teiste linna jaamadega ning hakkab katma umbes 20% Tallinna linna aastasest soojusvajadusest. Merevee kasutamise eesmärk on stabiliseerida reovee vooluhulka olukordades, kus reovett on ööpäeva või ilmastiku tingimuste löikes kas liiga palju või liiga vähe [12].

2.2.1 Tallinna kaugküttesektori institutsionaalne areng ja turustruktuuri muutused

Tallinnas kuuluvad soojusvõrgud linna omandisse, kuid enamiku kaugkütte teenusest pakub AS Utilitas Tallinna Soojus, mis varustab soojusega umbes kahte kolmandikku linnast [1]. 31. oktoobril 2001 sõlmiti tolleaegsete nimedega ettevõtete AS Tallinna Soojus ja AS Tallinna Küte (kuni 2023. aastani AS Utilitas Tallinn) vahel rendi- ja operaatorleping (kestvusega 30 aastat), mille alusel on viimased 22 aastat kaugküttevõrku hallanud ja arendanud Utilitas. Kõnealune leping ei võimaldanud enam uute taastuenergiat põhinevate tootmisvõimsuste rajamist, sest allesjäänud kaheksa-aastane lepinguperiood ei andnud pankadele kindlust 25-30 aastase tasuvusajaga investeringute rahastamisel [13].

2023. aasta mais sõlmiti Tallinna linna ja Utilitas gruppi kuuluv OÜ Utilitase vahel kokkuleppe luua ühisettevõtte AS Utilitas Tallinna Soojus. Selle strateegiline eesmärk oli kaugküttesektori arendamine ja taastuenergialahenduste laiendamine. Linna osalus ettevõttes on 33,34% ja Utilitase osalus 66,66%, mis peegeldab nende investeringute suurust ja strateegilist kaalukust projektis [13]. 2023. aasta juulis anti plaanile kooskõlastus ka Konkurentsiameti poolt [14].

Varasemalt opereeris Tallinna piirkonnas ka konkureeriv kaugkütte teenuse pakkuja Adven Eesti AS. 2022. aastal juunis sõlmiti kokkulepe AS Utilitas Tallinna ning Adven Eesti AS vahel, kus viimase võrgupiirkonnad liideti Utilitase võrgupiirkonnaga. AS Utilitas Tallinna toodetud kaugkütte soojus toodeti peamiselt biomassist ning heitsoojusest (maagaas oli kasutusel tipukoormuste katmiseks), Adveni võrgupiirkonda kuulunud katlamajade tootmine baseerus vaid maagaasil [15].

Kokkulepe sai ka Konkurentsiameti heakskiidu ning alates 1. oktoobrist 2022 liideti Adveni võrgupiirkonnad Nõmmel, Põhja-Tallinnas, Kesklinnas ja Pirital AS Utilitas Tallinna Soojuse võrgupiirkonnaga. Võrgupiirkondade ühendamise eesmärgiks oli ühtlustada eri võrgupiirkondade kaugküttehinnad. Kuna Adveni võrgupiirkondades baseerus tootmine vaid maagaasil, tekitas rekordiliselt kõrge maagaasi hind suure erinevuse eri võrgupiirkondade kaugküttehinnas. Tehingu läbiviimisel hakkas liidetud võrgupiirkondades kehtima Tallinna võrgupiirkonnas kehtiva soojuse piirhind [16].

Selline koostöövorm kohaliku omavalitsuse ja eraettevõtte vahel, kus strateegiline taristu haldus ja arendus toimub ühissetevõtte kaudu, on uuenduslik ja erandlik. Tegemist on huvipakkuva institutsionaalse mudeliga, mille rakendamise potentsiaali hindamine Eestis ja maailmas jääb küll käesoleva magistritöö raamidest välja, kuid oleks autori hinnangul soovituslik käsitleda eraldiseisva uurimisteemana tulevasestest magistritöödes.

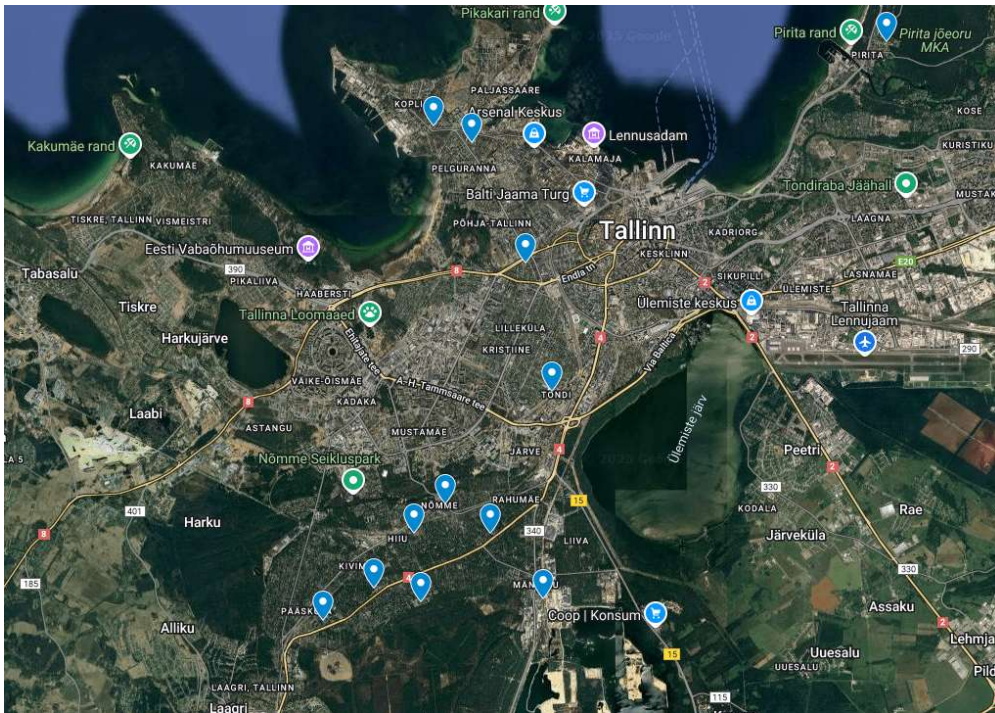
2.3 Väikesed kaugküttepiirkonnad Tallinnas

Tabelis 2.2 on esitatud ülevaade 2022. aastal sõlmitud kokkuleppe alusel Adven Eesti AS omandist Utilitas Tallinn AS-ile üle antud väikeste kaugküttevõrkude katlamajadest Tallinnas. Tabelis on toodud iga katlamaja asukoht, maksimaalne soojuskoormus (MW) ning kasutatav kütus. Kõik loetletud katlamajad kasutavad peamise kütusena maagaasi, välja arvatud Põllu põik 4 katlamaja, kus kasutatakse lisaks maagaasile ka lähedalasuvas prügilast toodetud biogaasi. Maksimaalne soojuskoormus katlamajade lõikes jääb vahemikku 1–12 MW, kusjuures suurima koormusega on Mahla 87 katlamaja (12 MW) ja väikseima koormusega mitmed 1 MW võimsusega katlamajad nagu näiteks Puhma 1a ja Rahu 6a.

Tabel 2.2 Adven Eesti AS omandist üle antud väikseste kaugküttevõrkude katlamajad maksimaalsete soojuskoormustega ning kasutatava kütusega [17]

Katlamaja asukoht	Maksimaalne koormus MW (soojuslik)	Kasutatav kütus
Haldja 1a, Tallinn	6	maagaas
J.V. Jannseni 38b, Tallinn	1	maagaas
Kasvu 16, Tallinn	1	maagaas
Mahla 87, Tallinn	12	maagaas
Metsavahi tee 19, Tallinn	4	maagaas
Puhma 1a, Tallinn	1	maagaas
Põllu põik 4, Tallinn	4	maagaas biogaas
Rahu 6a, Tallinn	1	maagaas
Uus-Maleva 2b, Tallinn	5	maagaas
Vana-Pärnu mnt 6, Tallinn	1	maagaas
Västriku 33, Tallinn	1	maagaas

Joonisel 2.3 on kaardile näidatud Adven Eesti AS omandist üle antud väikeste kaugküttevõrkude katlamajade geograafilised asukohad Tallinna linnas ja selle lähialadel. Märgitud katlamajad paiknevad hajutatult peamiselt Tallinna äärealadel, nagu Nõmme, Mustamäe, Haabersti ja Kristiine linnaosades. Geograafiliselt on enamik katlamajade koondunud piirkondadesse, kus valdavaks on eramajade, väiksemate korterelamute ja madalama hoonestustihedusega alade soojusvarustusvajadus. Näiteks Nõmme ja Pääsküla piirkondades iseloomustab hoonestust madalate korrusmajade ning ridaelamute ülekaal, mis selgitab väiksema, umbes 1–5 MW ulatuses jäävate katlamajade võimsusi. Samuti asuvad mitmed katlamajad (nt Mahla 87 ja Metsavahi tee 19) rohealade ja parkmetsa läheduses, kus suuremad kaugküttetorustike laiendused võivad vajada eritingimusi looduskaitse ja ehitusloamenetluste osas.



Joonis 2.3 Adven Eesti AS omandist üle antud katlamajade asukohad [17]

Konkurentsiameti info kohaselt ei ole Tallinnas eraldiseisvat Mahla võrgupiirkonda. Nimetatud võrgupiirkonda teenindab lokaalne katlamaja ja piirkond ei ole füüsiliselt ühendatud Tallinna võrgupiirkonnaga. Enne 2022. Aastal toimunud tehingut Adven Eesti AS ja AS Utilitas Tallinna vahel, müüs esimene Mahla katlamajas toodetud soojuse AS Utilitas Tallinna Soojusele, kes müüs soojuse edasi tarbijatele. Pärast mainitud omandamise tehingut ei laiene Mahla katlamajale eraldiseisvalt soojuse piirhinna kooskõlastamise kohustust (ei toimu soojuse müüki ühelt soojusettevõtjalt teise ettevõtja soojusvõrku). Mahla katlamaja soojuse tootmiskoguse ja -kuludega on kogu selle eksisteerimisaja vältel arvestatud AS Utilitas Tallinna Soojuse võrgupiirkonna soojuse piirhinnas [18].

2.4 Regulatiivsed raamistikud

Eestis reguleerib kaugkütte valdkonda Kaugkütteseadus, mille eesmärk on tagada tarbijatele usaldusväärne, tõhus ja mõistliku hinnaga kaugkütte teenus ning soodustada taastuvenergia ja jääsoojuse kasutamist. Seadus määratleb kaugkütte mõisted, kaugküttepiirkonna määramise tingimused, võrguettevõtja kohustused ja kaugkütteteenuse osutamise põhimõtted. Samuti sätestatakse kaugkütte hindade reguleerimise kord ning nõuded võrguettevõtjate tegevusele ja aruandlusele [4].

Kaugkütte hind Eestis on reguleeritud piirhindade süsteemiga, mis tähendab, et võrguettevõtjad ei või kaugkütet müüa kõrgema hinnaga, kui on konkurentsiameti poolt kinnitatud piirhind. Piirhind kujuneb põhjendatud kulude alusel, hõlmates soojustootmise, võrgu käitamise ja hoolduse kulusid ning mõistlikku kasumit. Piirhinna eesmärk on vältida monopolist tulenevaid hinnakõikumisi ja kaitsta tarbija huve, tagades samas võrguettevõtjate majandusliku jätkusuutlikkuse [4].

Eestis jälgib ja reguleerib kaugkütteturgu Konkurentsiamet, mille ülesandeks on kinnitada piirhinnad, jälgida nende täitmist ning lahendada võimalikke tarbijakaebusi. Konkurentsiamet hindab piirhindade põhjendatust võrguettevõtjate esitatud taotluste alusel, kontrollides nende majanduslikku ja tehnilist põhjendatust. Samuti tagab amet, et võrguettevõtjad järgivad kaugkütteseadusest ja seotud regulatsioonidest tulenevaid nõudeid ning ei kuritarvita oma turupositsiooni. Kooskõlastatud soojuse piirhinnad avaldatakse Konkurentsiameti kodulehel. Soojust võib müüa ka kooskõlastatud piirhinnast madalama hinnaga [19].

Kohaliku omavalituse tasandil (KOV) käsitletakse soojusmajanduse hetkeseisu ning arengusuundi soojusmajanduse arengukavas [2]. Tallinnas on 2025. aasta seisuga kehtivad soojusmajanduse arengukavad vaid kahele võrgupiirkonnale- Merirahu ning Kadrioru võrgupiirkond [20]. Soojusmajanduse arengukava loomine ei ole KOVile kohustuslik, kuid on eelduseks riigilt investeerimistoetuste taotlemiseks. Tallinnas, kus enamik kaugküttetaristust on rendile antud AS Utilitas Tallinna Soojusele, on soojuettevõtja poolt koostatud enda arengukava (Tallinna Tehnikaülikooli koostatud Tallinna ühtse kaugküttepiirkonna arengukava) [2].

Riigikontrolli aruandes Soojusmajanduse arendamine kohalikes omavalitsustes kokkuvõtvas järelduses on nenditud, kus üldistades auditeeritud KOV praktikat saab järeldada, et soojusmajanduse alaste küsimustega KOV tasandil palju ei tegeleta, sest kaugküttetaristu käitamine on suuremas osas antud teenusepakkujatele rendile (nt Tallinna näitel AS Utilitas Tallinna Soojusele). Aruandes tuuakse välja, et see on põhjustatud osaliselt asjaolust, et kaugkütte teenuste kvaliteet on viimastel kümnenditel märgatavalt paranenud, aga ka sellest, et riigi tasandil ei ole antud KOVidele praktilisi suuniseid, kuidas kliimaeesmärkide saavutamiseks antud ülesandeid valdkonna arengu juhtimisel tulemuslikult täita [2].

2.4.1 Tallinna kaugküttepiirkond

Kaugküttepiirkonna määramise aluseks on Kaugkütteseadus, mille kohaselt kohaliku omavalitsuse volikogu määrab kaugküttepiirkonna piirid lähtudes piirkonna tehnilisest valmisolekust, majanduslikust mõistlikkusest ning keskkonna- ja energiatõhususe kaalutlustest [4].

Tallinna kaugküttepiirkonnas on võrguga liitumine kohustuslik kõigile isikutele, kelle omandis või valduses on piirkonnas asuv, ehitatav või rekonstrueeritav hoone. Liitumine toimub kaugkütteseaduses ja Tallinna linna määruses sätestatud korras. Võrguettevõtjal on õigus võtta liitujalt põhjendatud liitumistasu, mis katab liitumisega seotud tegelikud kulud. Võrguettevõtja on kohustatud tagama kaugküttepiirkonna tarbijatele pideva ja kvaliteetse soojusvarustuse, järgides sealjuures kaugloetavate soojusarvestite andmete korrapärasest jälgimist ning tagades võrguvee rõhkude ja kvaliteedi vastavuse kehtestatud normidele [21].

Võrgust eraldumine on lubatud piiratud juhtudel, näiteks kui toimub hoone lammutamine või põhjalik rekonstrueerimine, mille tulemusena soojusvarustus kaugküttesüsteemist muutub tehniliselt võimatuks. Erandina võib eraldumist taotleda ka siis, kui hoonele kavandatakse alternatiivne soojusvarustus, mis põhineb täielikult kütusevabadel taastuvatel energiaallikatel. Eraldumiseks tuleb esitada põhjendatud taotlus võrguettevõtjale [21].



Joonis 2.4. Tallinna kaugküttepiirkonna piir [21]

2.5 Toetused kaugküttetaristu arendusse

Euroopa Liidu liikmesriigina on paljud energeetika valdkonna toetused (sh kaugküttetorustike toetused) seotud Euroopa ühtekuuluvus- ja siseturvalisuspoliitika fondidide rahastusega. Fondide eelarveperiood on seotud Euroopa Liidu eelarvega, mis tähendab, et toetuste periood on jaotatud 7 aastasteks tsükliteks. Käimasolev tsükel käsitleb aastatel 2021-2027 määratavaid toetuseid [22]. Toetuste rakendamine on oluline ka kaugkütte tarbijatele, sest toetusrahast tehtud investeeringute kapitalikulud ei kajastata soojuse piirhinnas, kuna need ei kuulu tarbijatelt tagasi teenimisele. Kaugküttetorustikega seotud toetuseid määrab riiklik sihtasutus Keskkonnainvesteeringute Keskus (KIK) [2].

Eurotoetuste perioodil 2007–2013 rahastati 21 soojusmajanduse arendusprojekti üsummas ligikaudu 9,5 miljonit eurot. Järgneval perioodil 2014–2020 kasvas toetatud projektide arv 375-ni ning toetuste kogusumma ulatus ligikaudu 62,5 miljoni euroni. Kaugküttesüsteemide arendamise toetamist jätkatakse ka 2021–2027 eurotoetuste programmiperioodil, kuid väiksemas mahus. Kaugküttetaristute uuendamise meetme eelarve on 22,5 miljonit eurot, millest trasside renoveerimiseks on kavandatud 15 ja katlamajade uuendamiseks 7,5 miljonit eurot. Võrreldes eelmise perioodiga on plaanitav renoveeritav torustiku pikkus oluliselt väiksem – 55 km varasema 180 km asemel [2].

Käimasoleva perioodi struktuurivahenditest suurim toetussumma (35 100 000 €) Rohelisem Eesti alajaotuses on eraldatud Ettevõtluse ja Innovatsiooni Sihtasutusele (EIS), kes rakendavad määratud toetussummasid laenudeks, käendusteks ning toetusteks hoonete energiatõhususe tõstmiseks [23]. Toetatavate tegevuste hulka kuuluvad ka kaugküttevõrguga liitumise tasu ja liitumisega kaasnevad tööd ning korterelamu ühendamine kaugküttevõrguga [24].

2/3 elamufondist suunatakse korterelamute rekonstrueerimisse, mis on ehitatud enne 2000. aastat ja mille läbi muudetakse need energiatõhusamaks. Vastavalt uuringule, mis koostati Eesti energiamajanduse arengukava ettevalmistuse raames, on Eesti hoonete tehniline energiasäästupotentsiaal 80% hoonefondi praegusest energiakasutusest, seejuures paistab silma soojusenergia tehniline säästupotentsiaal– 9,3 TWh/a. Elamufondi rekonstrueerimisega on võimalik vähendada hoonete kütteenergia vajadust kuni 50%, mis ilmestab korterelamute rekonstrueerimise toetuste olulisust kliimaeesmärkide saavutamiseks. Perioodil 2015-2017 eraldati 17% toetuste mahust Tallinna korterelamute renoveerimisse, perioodil 2019-2020 oli osakaal langenud 10% peale. Langust saab selgitada toetustmäära regionaalse

diferentseerimisega, mille tõttu langes toetusmäär Tallinnas ja Tartus 30%-le ning selle mõjul langes ka esitatud taotluste arv piirkondades [25].

3. UURIMUSE KOOSTAMISE ALUSED

Käesolevas peatükis antakse ülevaade ning taustainfo uurimuse koostamise tehnilistest, majanduslikest ning regulatiivsetest alustest. Uuritav objekt- Mahla võrgupiirkond- ning selle ühendamise potentsiaali hindamine Tallinna ühtse kaugküttevõrguga hõlmab taustateadmisi mastaabiefektist ning sellega seotud energiasäästu hindamise praktikast; kaugküttele arvutusliku süsiniku eriheitetegurist; projekteerimisest ning võrgu planeerimisest; ehitusmaksumusest ning ehitusloa väljastamise protseduuridest.

3.1 Mastaabiefekti konseptsioon ja rakendus

Mastaabiefekti (mastaabisäästu) all saab mõista nähtust, kus mahu kasvust tulenevalt tõuseb ka protsessi efektiivsus. See võib väljenduda majanduslikult, kus suuremas mahus sisendite ost langetab ühiku hinda või tootmisprotsessi efektiivsuse tõstmises, kus väljundenergia ühiku kohta võimendub suuremaks tsentraalse tootmise juures kui lokaalse tootmise resursside liidetud summa [26].

Mastaabiefekti kaugküttesüsteemides väljendub olukorras, kus seadmete ja süsteemide erinvesteering (€/MW) väheneb seadme nominaalvõimsuse suurenedes. See tähendab, et suuremate süsteemide rajamisel on võimalik saavutada madalamad kulud ühiku kohta, parandades nii süsteemi majanduslikku tasuvust. Näiteks hakkpuidukatlamajade puhul väheneb ühikvõimsuse erinvesteering märkimisväärselt, kui katlamaja võimsus kasvab. Väikeste võimsustega katlamajade rajamisel on ühikuinvesteeringud kõrgemad, mistõttu on nende piirkondade soojuse hind kõrgem võrreldes suuremate kaugküttesüsteemidega [27].

3.1.1 Tarbimistihedus

Võrgupiirkondasid iseloomustavaks suuruseks on tarbimistihedus. Tarbimistihedust kirjeldatakse võrgupiirkonna soojustarbimise ning torustiku pikkuse suhtena, tavapäraselt kasutatakse ühikut MWh/m aastas. Soojuskoormus sõltub eelkõige asula hoonestustihedusest, tarbijate kategooriast (näiteks korterelamud, büroohooned, koolid või haiglad), tarbivate hoonete energiatõhususest ning kaugküttevõrgu torustike kadudest [27].

Tarbimistihedusel on oluline mõju kaugküttesüsteemi majanduslikule efektiivsusele ja seega ka referentshinnale, sellest tulenevalt on madalama tarbimistihedusega piirkondades ühiku soojuse hind reeglina kõrgem. See on tingitud asjaolust, et madalama tihedusega võrgupiirkondades tuleb sama müügitahu saavutamiseks rajada pikemad torustikud, mis omakorda suurendab investeerimiskulusid ja võrgukadusid

soojuse edastamisel [27]. Võib väita, et olukorras kus tarbimistiheduse näitaja on >1 MWh/m, tasub kaaluda kaugküttele asenduslahenduste kasutuselevõttu [28].

3.2 Energiasääst ja selle hindamise meetodid

Energiamajanduse korralduse seaduse kohaselt on energiasääst säästetud energia hulk, mis määratakse mõõtes või hinnates tarbimist enne ja pärast energiatõhususe parandamise meetme rakendamist võrdsetes välistingimustes. Tõhusa kütte saavutamiseks tuleb uute tootmislahenduste puhul kasutada vähem primaarenergiat võrreldes algse lahendusega [29].

Kaugküttetorustike energiasäästu saab hinnata parendatava aspekti põhjal - määravaks aluseks on energiasäästu potentsiaali tõstmiseks rakendatav meede [3]. Perioodil 2015-2020 rahastas Keskkonnainvesteeringute keskus (KIK) 123 amortiseerunud ja ebaefektiivse soojustorustiku renoveerimise või uue soojatorustiku rajamise projektil periodil oli fookuseks kaugküttevõrgu soojuskadude vähendamine ning sellest tulevalt energiasäästu saavutamine [7]. Käesolevas magistritöös hinnatakse energiasäästu mastaabiefektist tuleneva, säästetava maagaasi koguse järgi.

Säästupotentsiaaliga meede on ka hoonete energiatõhususe tõstmine, sh hoonete täielik soojustamine koos soojussõlmede ja majasisese küttetorustiku renoveerimisega [3]. Lisaks, hoonete liitmine gaasiküttest kaugküttevõrku kasvatab omakorda hoonete energiatõhusust - hoonete energiatõhususearvutustes kasutatakse kaalumistegureid, kus gaasi kaalumistegur on 1,0 ning tõhusa kaugkütte oma 0,65 [30]. Viimase madalam väärtus võimaldab hoonetel tõsta hoone energiaklassi, kusjuures maagaasi kasutamise puhul pole võimalik madalenergiahoonele vastavaid tingimusi saavutada [31].

3.2.2 Soojuskaod

Kaugküttevõrkude soojuskadude ulatus mõjutab oluliselt süsteemi energiatõhusust ja soojuse lõpphinda. Soojuskadude põhjused jaotuvad kahte kategooriasse: torustike omadused ja ümbritseva keskkonna tingimused. Eelisolleeritud torustikud tagavad väiksema soojuskao, kuid nende renoveerimine ei ole alati majanduslikult tasuv, arvestades jaotusvõrkude suhteliselt lühikest eluiga (30 aastat) ja investeeringu pikka tasuvusaega. Keskkonnast tulenevaid tegureid mõjutada ei saa, kuid teada on, et maaluste torustike soojuskadu on 20–30% väiksem kui maapealsetel trassidel. Toru optimaalne läbimõõt on teoreetiliselt arvutatav, kuid selle määramine on keeruline seoses tarbimiskoormuste muutlikkusega, eriti õiste tipukoormuste korral. Samuti tuleb võrgu planeerimisel arvestada tarbimise võimalikku vähenemist ning uute tarbijate liitumist [7].

Nii keskkonnamõju vähendamise kui ka soojuse hinna optimeerimise seisukohalt on oluline tagada, et kaugküttetorustike kaudu tarbijateni jõudva soojuse kaod oleksid võimalikult väikesed. Selle saavutamiseks on vajalik kasutada soojuspitavaid ja optimaalset läbilaskevõimet omavaid trasse ning rakendada hoonetes tehnilisi lahendusi, mis väldivad paralleeltarbimist, st olukorda, kus kaugküttega liidetud hoones kasutatakse lisaks kaugküttele ka lokaalseid kütteviise (nt õhksoojuspumpasid) [2].

Konkurentsiameti kehtestatud metoodika kohaselt on kaugküttetrasside puhul ebaefektiivsuse piiriks seatud soojuskadu 13,5%. Kui kaugküttevõrgu trassikaod seda piiri ületavad, siis vastavaid kulusid soojuse piirhinna arvestamisel enam arvesse ei võeta. Selline lähenemine on suunatud võrgupidajate motiveerimisele investeerida trasside renoveerimisse ja energiatõhususe parandamisse [2].

3.2.3 Kaalumistegur

Energiakandjate kaalumistegur on parameeter, mida kasutatakse energiatõhususe hindamisel. Teguri väärtus väljendab energiakandjate kasutamise arvutuslikku keskkonnamõju. Kaalumisteguri rakendamise eesmärgiks on soosida madalama keskkonnamõjuga energiaallika valimist uusehitiste projekteerimisel või olemasolevate hoonete rekonstrueerimisel. Hoonete energiatõhususe miinimumnõuete §9 järgi on sätestatud kaalumistegurid erinevatele energiakandjatele, sh kaugküttesüsteemidele, elektrile, maagaasile ja fossiilkütustele [30].

Kaugkütte puhul sõltub kaalumisteguri väärtus kaugkütte tõhususest – tõhusa kaugkütte puhul on väärtus 0,65; tõhusa kaugküttemärgiseta energiakandja puhul 0,9 [30]. Eestis väljastatakse tõhusa kaugkütte märgis kaugküttesüsteemile, kus vähemalt 50% soojusest toodetakse taastuvatest energiaallikatest, koostootmise teel või tööstuslikust protsessist pärineva heitsoojusena. Tallinna ühtne kaugküttevõrk kuulub tõhusa kaugkütte märgise saanute hulka [7]. Hoonete energiatõhususe miinimumnõuetes esitatud energiakandjate kaalumistegurid on järgmised: [30]

1) taastuvtoormel põhinev kütus, puit ja puidupõhine kütus ning muu biokütus, välja arvatud turvas ja turbabrikett – 0,65;

2) kaugküte – 0,9;

3) tõhus kaugküte – 0,65;

4) kaugjahutus – 0,4;

5) tõhus kaugjahutus – 0,2;

- 6) vedelkütus, kütteõli ja vedelgaas – 1,0;
- 7) maagaas – 1,0;
- 8) tahke fossiilkütus – 1,0;
- 9) turvas ja turbabrikett – 1,0;
- 10) elekter – 2,0.

3.3 Süsiniku eriheitetegur

Süsiniku eriheitetegur (kgCO_2/MWh) iseloomustab kaugküttesüsteemi keskkonnamõju, väljendades, kui palju süsinikdioksiidi tekib ühe soojusenergia ühiku tootmisel. Eriheiteteguri suurus sõltub eeskätt kasutatavatest kütustest ja soojuse tootmisviisist – kas tegemist on ainult soojuse tootmise või elektri ja soojuse koostootmisega [32].

Käesolevas magistritöös määratakse süsiniku eriheitetegur ainult toodetavale soojusele, lähtuvalt kasutatud kütuste osakaalust, kütuste eriheiteteguritest ja tootmise kasuteguritest. Tarbitava soojuse eriheitetegur esitatakse ühikuna $\text{tCO}_2/\text{MWh}_{\text{tarbimine}}$, mille alusel võrreldakse olemasolevat olukorda Mahla piirkonnas olukorraga, kus Mahla liidetakse Tallinna võrgupiirkonnaga. Arvutustes kasutatakse eriheitetegureid sõltuvalt kütuseliigist, mis on sätestatud määruuses „Välisõhku väljutatava süsinikdioksiidi heite arvutusliku määramise meetodid“ ning EJKÜ aruandes [32].

3.4 Majandusliku tasuvuse hindamine

Majandusliku tasuvuse hindamine kaugküttetorustikega seotud projektides on kriitilise tähtsusega, sest investeeringute hind kajastub soojuse müügihinnas, mille maksab kinni tarbija. Tasuvusarvutuste koostamisel võetakse arvesse järgmised põhikomponendid, mille hulka kuuluvad investeeringukulud, energiakulude kokkuhoid ning primaarenergia kulu vähenemine [33].

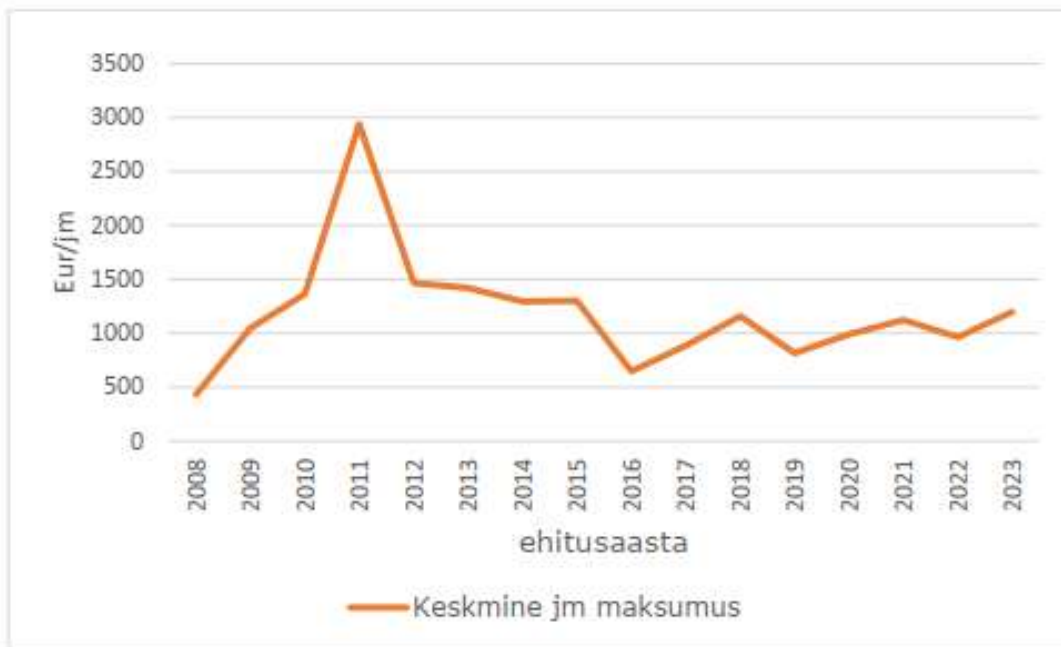
Majandusliku tasuvuse hindamisel kasutatakse erinevaid rahavoogude analüüsi meetodeid, mille eesmärk on hinnata investeeringu mõistlikkust kogu selle elutsükli jooksul [33]. Käesolevas magistritöös hinnatakse majanduslikku tasuvust tundlikusanalüüsiga, võttes arvesse investeeringu maksumust kolme erineva ehitismaksumuse juures ning leides vastavad kaugküttesoojuse hinnad lõpptarbijale. Tundlikusanalüüsiga leitud kaugküttehindu võrreldakse olemasoleva Mahla piirkonna kaugküttesoojuse omahinnaga – olukorras, kus investeeringuga kujunev soojuse hind on madalam kui viimase omahind, saab hinnata projekti realiseerimist mõistlikuks ning majanduslikult tasuvaks.

3.4.1 Ehitusmaksumus

Kaugküttetorustiku rajamise ehitusmaksumuse hindamiseks kasutatakse Olari Randmäe magistritöö analüüsi tulemusi. AS KE Infra projektijuhi, Olari Randmäe magistritöös „Tallinna kaugküttevõrgu arendamine: Optimaalsed lahendused ja Kopli poolsaare arengu potentsiaal“ analüüsi 2011.-2024. aastal rajatud 12 kaugküttetorustikusüsteemi objekti, mille alusel hinnati tööde läbiviimise kiirusele ning maksumusele mõjuvaid tegureid. Töös analüüsiti objekte, kus suurem osa rajatavast trassist torustiku diameetriga 813 mm, et kindlustada selgemate seoste ning jäelduste tegemine kirjeldatud võrdlevaks analüüsiks [10].

Eelmainitud magistritöös leitud analüüsi alusel saab jäeldada, et ehitusmaksumus on seoses tööde läbiviimise kiirusega- näiteks objekti puhul, kus ehitustempo oli 40% kiirem (m/päevas) võrreldes teiste objektidega, oli sellega otseses suhtes ka ehitusmaksumuse 40% kõrgem väärtus. Seda selgitas asjaolu, et töid teostati mitmes vahetuses; lisaks toimus ehitus Tallinna linna magistraaltänaval, kus tuli lahendada liikluskorraldus ning tänavate sulgemine, mille eest tuli tasuda täiendavaid kulusid. Analüüsi alusel jäeldati, et oluliseimad faktorid ehitushinna kujunemiseks on ehitatava torustiku paiknemine linnaruumis (sh kas planeeritud torustik asub teekatendi või haljasala all); ehitamise sesoonsus ning asjaolu, kas kaugküttetorustiku rajamise/rekonstrueerimise ehitust realiseeritakse koostöös linnaga, tänavataisrekonstrueerimisel [10].

Eelmainitud töös oli koostatud AS Utilitas Tallinna Soojuse majandusaastaaruannete alusel soojusvõrkude rajamise keskmise maksumuse hinnang ehitatud trassimeetri kohta (jm). Antud keskmise maksumuse leidmine ei arvesta soojustorustiku läbimõõtu, toru tüüpi, ega ehituse asukohta, kuid on heaks aluseks käesolevas magistritöös majanduslike tasuvusarvutuste koostamiseks [10]. Käesolevas magistritöös kasutatakse 2023. aasta ehitusmaksumuse hinnangut kaugküttetorustikule väärtusega 1250 €/jm kohta. Keskmise AS Utilitas Tallinna Soojuse rajatud soojustrasside ehitusmaksust on kirjeldatud joonisel 3.1.



Joonis 3.1 AS Utilitas Tallinna Soojuse rajatud keskmine soojustrasside maksumus [10]

3.5 Projekteerimine

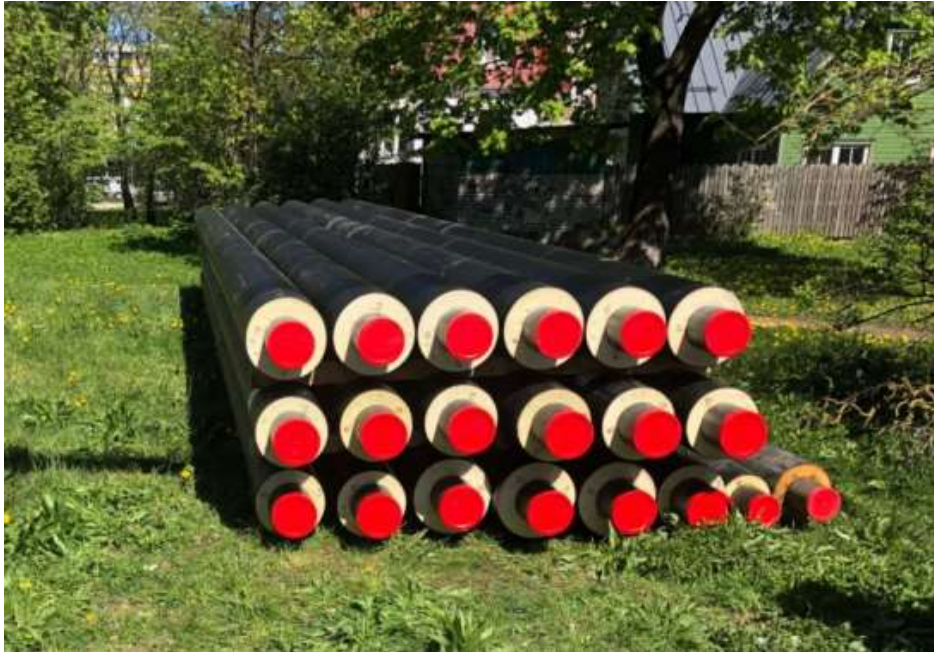
Kaugküttesüsteemide projekteerimine ning ehitamine tugineb mitmetele standarditele, mis määratlevad nõuded võrgu ja süsteemide kavandamiseks, ehitamiseks ning komponentide, nagu torude, liitmike ja isolatsioonimaterjalide, valikuks. Peamised standardid, millest projekteerimisel juhendatakse, jagunevad kaugkütte üldstandarditeks ja eelisooleeritud terastorude standarditeks [7].

Eestis kasutatakse kaugküttetorustike rajamisel peamiselt kolme tüüpi torusid: eelisooleeritud terastorud, plastiktorud ning traditsioonilised (eelisooleerimata) torud koos kohapeal valmistatud isolatsiooniga. Eelisooleeritud terastorud on täna kõige laialdasemalt kasutatav variant. Need koosnevad terasest kandetorust, mis on ümbritsetud tehases valmistatud polüuretaanvahuga ja kaitstud polüetüleenist (või metallist) väliskattega. Eelisooleeritud kaugküttetorud on kujutatud joonisel 3.2. Eelisooleeritud torude kasutamise eelisteks on: [7]

- madalad soojuskadud, sest isolatsioon valmistatakse kontrollitud tehase tingimustes
- kiirem ehitus, kuna torud tarnitakse juba isoleerituna

- sisseehitatud lekkeavastussüsteem võimaldab varakult tuvastada isolatsiooni niiskumist ja lekkeid

Käesolevas magistritöös vaadeldava projekti - Mahla kaugküttetorustik – võrguvaldaja poolt väljastatud lähteülesanne nägi ette eelisoleeritud torustike kasutamist.



Joonis 3.2 Eelisoleeritud kaugküttetorud [7]

Kaugküttetorud kulgevad üldiselt kahe paralleelse toruna - pealevool ja tagasivool. Projekteeritavate ja ehitatavate torustike läbimõõt määratakse hüdrauliliste arvutuste põhjal, et tagada soojuskandja nõuetekohane ringlus ning vajaliku energiakoguse edastamine tarbijatele. Läbimõõdu valik sõltub soojuskoormusest, voolukiirusest ja rõhukadudest süsteemis [7].

Torustike isolatsioon on kriitilise tähtsusega soojuskadude vähendamisel. Eelisoleeritud torud koosnevad tavaliselt terastorust, mida ümbritseb polüuretaanvahtisolatsioon ja kaitsev polüetüleenist kest [7]. Sulgarmatuur on oluline komponent kaugküttevõrkudes, võimaldades juhtida ja reguleerida soojuskandja voolu ning eraldada võrgu osi hoolduse või remondi ajal. Sulgarmatuuri paigutus ja tüüp valitakse vastavalt torustiku läbimõõdule, rõhule ning töötemperatuurile, järgides standardite nõudeid [34].

Kaugküttetorustike projekteerimise lähteülesande koostab võrguvaldaja, antud magistritöös uuritava objekti puhul oli koostajaks AS Utilitas Tallinna Soojus. Võrguvaldaja poolt väljastatav tehniline lähteülesanne (vt ptk 3.5.1) hõlmab enamasti ka põhimõttelist skeemi trasseeringule (vt LISA 1,2,3). Projekteerimistellimusega

kaasneb ehitusloale vastava projektlahenduse koostamine, sh viimase taotlemine. Projektlahenduse koostamise aluseks on uuringud, mida nõuab ka Ehitusseadustik [35]. Kaugküttetorustike projekteerimiseks viiakse tavapäraselt läbi geodeetilised ning dendroloogilised uuringud, mis on oluliseks sisendinfo trasseeringu valikul. Uuringud määravad objektide, hoonete, tehnovõrkude ja puude asukohad looduses, mis on projekteerijale sisendiks, kuhu on toru otstarbekas ning seadusandlusega kooskõlas võimalik paigutada.

Geodeetilised uuringud annavad sisendi ka maa sees paiknevatest tehnovõrkudest, millega ristumisel tuleb tagada nõuetekohane vahekaugus. Projekteerimisel lähtutakse standardist EVS 843:2016 Linnatänavad, mis annab sisendi linnaruumis aluseks võetavatele nõuetele [36]. Lisaks taotletakse ristumistel teiste tehnovõrkudega ka eraldi tehnilised tingimused võrguvaldajalt, kellele saadetakse ehitusprojekt kooskõlastamiseks ning kes saavad esitada täiendavaid nõudmisi.

Kaugküttetorustike projekteerimisel on dendroloogia oluline, sest torude paigutamine võib nõuda kaevetöid puude läheduses. Juurestike vigastamine võib vähendada puude elujõulisust või muuta need ohtlikuks, mistõttu tuleb projekteerimisel hinnata võimalusi trassi muutmiseks selleks, et tagada puude säilimine [37].

Kui olemasolevate võrkude või keskkonnatingimuste tõttu, näiteks haljastuse, liikluse või maa-aluste kommunikatsioonide paiknemise tõttu, ei ole võimalik torustikku rajada tavapärase lahtise kaeviku meetodil, tuleb lahendus projekteerida kinnise meetodiga, eelkõige horisontaalse suundpuurimise teel. See tehnoloogia võimaldab torustikke paigaldada ilma kaevetöödeta, kuid on tehniliselt keerukam ja majanduslikult kulukam võrreldes lahtise meetodiga [38]. Sellise lahenduse vajadus võib tuleneda ka võrguvaldajate või omavalitsuste tingimustest, mis keelavad teatud aladel kaevamist – näiteks parkide, alleede või tiheda liiklusega teede all.

3.5.1 Võrgu planeerimine

Kaugküttevõrgu planeerimisel tuleb arvestada mitmeid tegureid: tarbijapiirkondade paiknemine, läbitavate kinnistute omanike/valdajate nõuded, olemasolevate kaugküttetrasside asukohad, teiste tehnovõrkude asukohad ning paiknemine ja majanduslikud kaalutlused. Eelnevalt on loetletud tegurid ei ole ammendavad- alati tuleb arvesse võtta konkreetse piirkonna eripärasid [7]. Üldiselt teostab võrgu planeerimist ning hüdrauliliste arvutuste koostamist võrguvaldaja, kelle poolt väljastatakse tehniline lähteülesanne projekteerijale, mille alusel viimane koostab tehnilised joonised ehitusprojekti realiseerimiseks [39].

Oluline otsus on, kas magistraalid peaksid olema ringistatud, mis tagab kõrgema töökindluse, või kasutades ühte magistraali, mis võib vähendada ehituskulusid ja soojuskadusid. Uute tarbijate liitumisel tuleb torude läbimõõdu ja asukoha valikul arvestada ka perspektiivi, kuna torude eluiga on vähemalt 20–30 aastat ning nende ümberehitamine täiendavate klientide liitumisel ei ole majanduslikult põhjendatud [7].

AS Utilitas Tallinna Soojus on koostanud ja regulaarselt täiendanud Tallinna kaugküttevõrgu arengukava koostöös Tallinna Tehnikaülikooli spetsialistidega. Arengukava keskendub pikaajalisele võrguinvesteeringute planeerimisele ning eesmärgiks on tagada võrkude pidev arendamine, rekonstrueerimine ja uute taastuvenergia tehnoloogiate integreerimine, et tagada võrgu tõhusus ja jätkusuutlikkus [8].

3.5.2 Normaliseeritud soojusenergia tootmismaht

Normaliseeritud soojusenergia tootmismaht tähendab tegeliku soojusenergia tarbimise korrigeerimist ilmastikutingimustele, eelkõige välisõhutemperatuurile vastavalt pikaajalisele keskmisele. See võimaldab hinnata energiatarbimist võrreldavatel tingimustel, kõrvaldades ilmastiku muutlikkuse mõju erinevate aastate vahel. Tavaliselt kasutatakse selleks kraadpäevade meetodit, mis võimaldab võrrelda energiatarbimist sõltumata sellest, kas konkreetne aasta oli tavapärasest soojem või külmem [40].

Kraadpäevad on näitaja, mis iseloomustab hoone sisetemperatuuri ja välisõhu temperatuuri vahelist suhet, mõõdetuna kraadpäevades ($^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$). Üks kraadpäev vastab 1°C temperatuurierinevusele vajaliku siseõhu temperatuuri (tasakaalutemperatuuri) ja ööpäeva keskmise välisõhu temperatuuri vahel ühe päeva jooksul. Kui näiteks ööpäeva keskmine välisõhu temperatuur on 2°C ja tasakaalutemperatuur 17°C , siis selle päeva kraadpäevade arv on $15^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$ ($17^{\circ}\text{C} - 2^{\circ}\text{C} = 15^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$). Kraadpäevi kasutatakse hoonete küttevajaduse hindamiseks ja erinevate aastate energiatarbimise võrdlemiseks, kuna need võimaldavad arvestada välisõhu temperatuuri mõju küttele [40].

3.6 Ehitusprojekti koostamine, ehitusloa menetlus ning projekteerimistingimused

Ehitusprojekt on dokumentide kogum, mis koosneb ehitise projekteeritud lahendusi kirjeldavatest tekstilistest dokumentidest (nt seletuskirjad, tabelid) ja graafilistest dokumentidest (nt tehnilised joonised, illustratsioonid, skeemid). Ehitusprojekti koostamisel tuleb järgida ehitisele esitatavaid nõudeid, sealhulgas õigusaktidest tulenevaid üldisi nõudeid, ehitise funktsionaalseid vajadusi ning muid tehnilisi ja

keskkonnanõudeid. Vajadusel teostatakse ehitusuuring oluliste ehitustehniliste andmete väljaselgitamiseks, sealhulgas olemasolevate konstruktsioonide ja pinnase omaduste hindamiseks [41].

Ehitusprojekt saab koosneda erinevatest staadiumitest, milleks on eelprojekt, põhiprojekt ja tööprojekt. Eelprojekt määratleb ehitise üldised parameetrid ja lahendused, põhiprojekt täpsustab ehitise tehnilised lahendused ning tööprojekt sisaldab ehitamiseks vajalikke detailseid tehnilisi lahendusi. Ehitusloa taotlemisel esitab ehitusloa taotleja ehitusprojekti enda valitud staadiumis, kaugküttetorustike projektide puhul piisab üldjuhul eelprojekti või põhiprojekti staadiumist [41].

Kaugküttetorustiku rajamine on Ehitusseadustiku Lisa 1 kohaselt on ehitusloakohustuslik. Ehitusloa annab õiguse ehitada ehitist, mis vastab ehitusloa andmise aluseks olevatele materjalidele ehk ehitusprojektile. Ehitusloa menetlejaks ning väljastajaks on kohaliku omavalitsuse üksus. Taotlus ning sellega seonduvad dokumendid esitatakse menetlevale asutusele elektrooniliselt ehitisregistri kaudu [35].

Ehitisealune pind ning seda ümbritsev maa-ala kuulub ehitise kaitsevööndisse, mille ulatuses on kinnisasja omanikul kohustus taluda võõrast ehitist. Selle piires on kinnisasja kasutamine ja sellel tegutsemine piiratud ohutuse ning ehitise toimivuse tagamiseks [35]. Maa-alustele soojustorustikele kehtib torustiku isolatsiooni välispinnast kaitsevöönd ulatusega 1) alla 200 mm läbimõõduga torustiku korral 2 meetrit; 2) 200 mm ja suurema läbimõõduga torustiku korral 3 meetrit [42].

Ehitusloa menetluse kestvus on 30 päeva, mille jooksul pädev asutus kaasab huvitatud isikud ja asutused, kellele on antakse kooskõlastamiseks või arvamuse avaldamiseks 10 päeva. Kui kaasatud asutus või isik ei ole 10 päeva jooksul ehitusloa kooskõlastamisest keeldunud või arvamust avaldanud ega ole taotlenud tähtaja pikendamist, loetakse ehitusloa eelnõu kooskõlastaja poolt vaikimisi kooskõlastatuks [35].

Projekteerimistingimuste väljastamise üheks eesmärgiks on kindlustada, et nende andmine ei oleks vastuolus õigusaktide, isikute õiguste või avaliku huviga – vastasel juhul saab nende väljastamisest keelduda või tagastada vastuolude likiveerimiseks. Projekteerimistingimustega määratakse olulise rajatise erinevad aspektid, sh ehitise asukoht. Olukorras, kus projekteerimistingimuste kehtestamine võib kaasa tuua kinnisasja avalikes huvides omandamise, kaasatakse menetleva asutuse poolt kinnisasja omanik arvamuse avaldamiseks. Projekteerimistingimuste menetluse tähtaeg on 30 päeva [35].

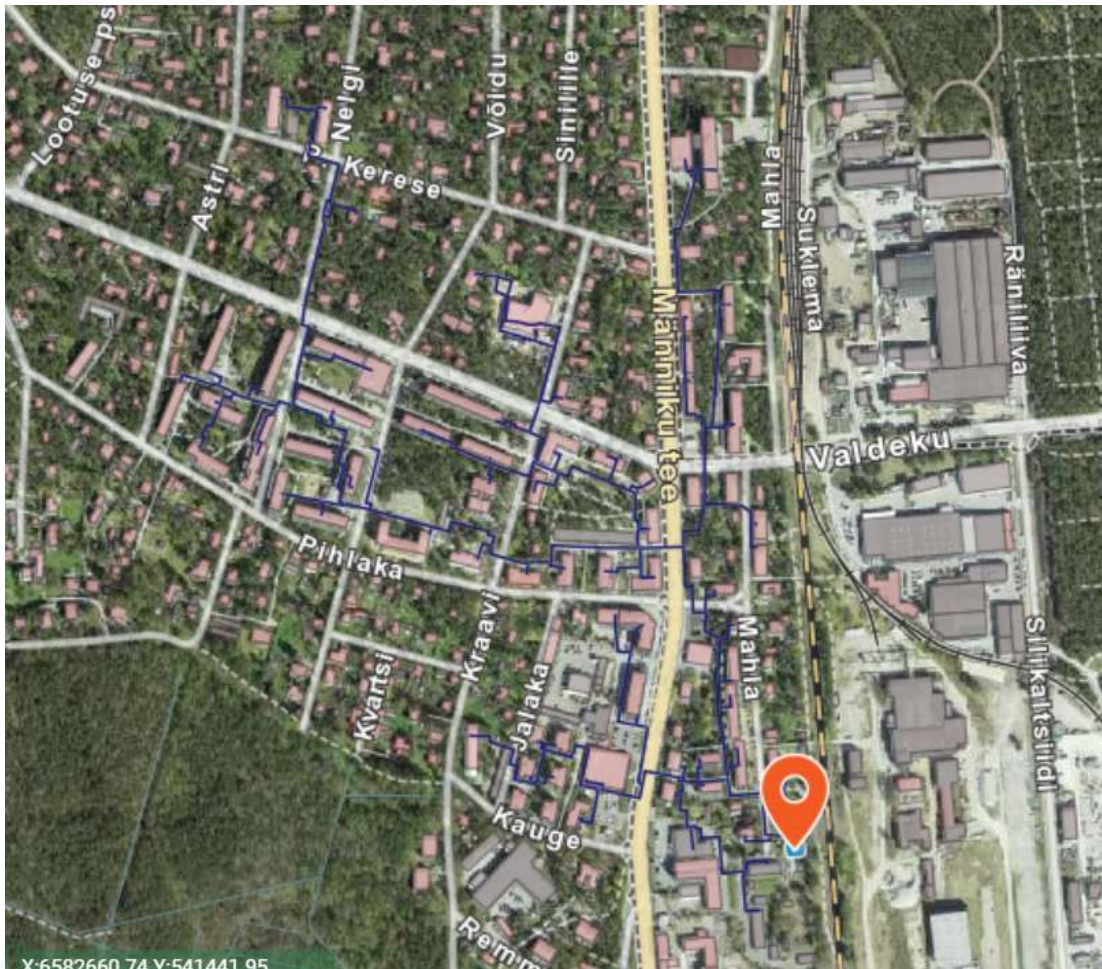
4. MAHLA KAUGKÜTTETORUSTIK

Käesolevas peatükis antakse ülevaade Mahla piirkonna olemasolevast kaugküttevõrgust ja selle liitmisest Tallinna kaugküttevõrguga. Alustuseks kirjeldatakse Mahla piirkonna senist soojusvarustust ja kaugküttevõrgu tehnilisi näitajaid, olemasolevat olukorda projekteeritavas ühenduspunktis ning läbitavaid tänavaid planeeritud trasseeringu realiseerimiseks. Edasi vaadeldakse esialgset lähteülesannet, mille alusel Mahla kaugküttetorustiku projekteerimist alustati, planeeritud trasseeringut ning tehnilisi parameetreid.

Käsitletakse ka projekteerimise käigus tekkinud lähteülesandest erinevaid muudatusi ning nende põhjuseid. Kirjeldatakse põhjalikult erinevaid kaalutud alternatiivseid trasseeringuid ja nende plusse ning miinuseid, tuues esile nii tehnilised, majanduslikud kui ka regulatiivsed piirangud. Lõpetuseks, tuuakse välja peamised projekteerimise käigus ilmnunud väljakutseid, mis mõjutasid projekti ajakava ning nõudsid mitmetasandilist kooskõlastust erinevate osapooltega.

4.1 Ülevaade olemasolevast olukorrast

Olemasolev Mahla kaugküttevõrk kulgeb peamiselt Mahla tänava ja Männiku tee piirkonnas ning hõlmab ka kõrvalasuvaid tänavaid nagu Valdeku, Jalaka, Kraavi, Võidu, Nelgi, Kauge, Pihlaka, Kivimäe ja Kerese tänavad. Võrk on hargnenud, ühendades erineva kasutusotstarbega hooneid, sealhulgas korterelamud, ärihooned ja munitsipaalhooned [43]. Joonisel 4.1 on näidatud väljavõtte Maa- ja Ruumiameti kitsenduste kaardist, kus sinise joonega on kujutatud olemasolev soojustorustik. Piirkonna varustus toimub Mahla 87 aadressil asuvast gaasikatlamajast, mis on joonisel märgitud oraži asukohakujutisega.



Joonis 4.1 Olemasolev olukord Mahla kaugküttevõrgu piirkonnas [43]

Mahla piirkonnas on aastane normaliseeritud soojusenergia tootmiskaht ligikaudu 22 000 MWh. Sellest kogutoodangust jõuab võrgus olevate tarbijateni ca 19 700 MWh, mis tähendab, et võrgu soojuskadu moodustab umbes 2300 MWh aastas. Olemasoleva Mahla kaugküttevõrgu trasside kogupikkus on 5770 meetrit. Piirkonnas kasutatavaks kütuseks on maagaas. Olemasoleva gaasikatla kasutegur on 93% [44].

Elektroni tänaval (Rahumäe tee T2 kinnistul) asub ühenduspunkt, mille kaudu on planeeritud Mahla katlamaja piirkonna kaugküttetorustiku ühendamine Tallinna suure kaugküttevõrguga. Seoses Rahumäe tee rekonstrueerimisprojektiga (OÜ Keskkonnaprojekt töö nr 2774) lahendati ka kaugküttetorustikuvõrgu rekonstrueerimine ning olemasoleva võrgu ringistamine, millega loodi ühenduspunkt Elektroni tänavale. See on käesolevas magistritöös uuritava Mahla kaugküttetorustiku projekti piir. Olemasolevad kaugküttevõrgud piirkonnas ning ühenduspunkt (oranžiga ringina) on näidatud joonisel 4.2.



Joonis 4.2 Olemasolev olukord Mahla kaugküttevõrgu piirkonnas [43]

Trasseering kulgeb Männiku tee kaudu Pärnu mnt-le, kus Laine tänava kaudu jõutakse raudteega ristumiseni ning sealt Järve tn 35a kaudu Tervise ning Elektroni tänavatele. Planeeritud on ka uute klientide ühendamine Liivalao tänaval, mille jaoks on ette nähtud haru Männiku teelt Leesika tänavale ja sealt Liivalao tänava uute tarbijateni. Männiku teel paikneb 2021. realiseeritud, ligi 4 meetri sügavune kergliiklustee jalakäijate tunnel, millega toimub planeeritud trasseeringus ristumine. Traseering hõlmab ristumisi raudteega Tallinn-Lelle-Pärnu ning Järve raudteejaama katastritel. Kirjeldatud trasseering on kujutatud LISA 2.

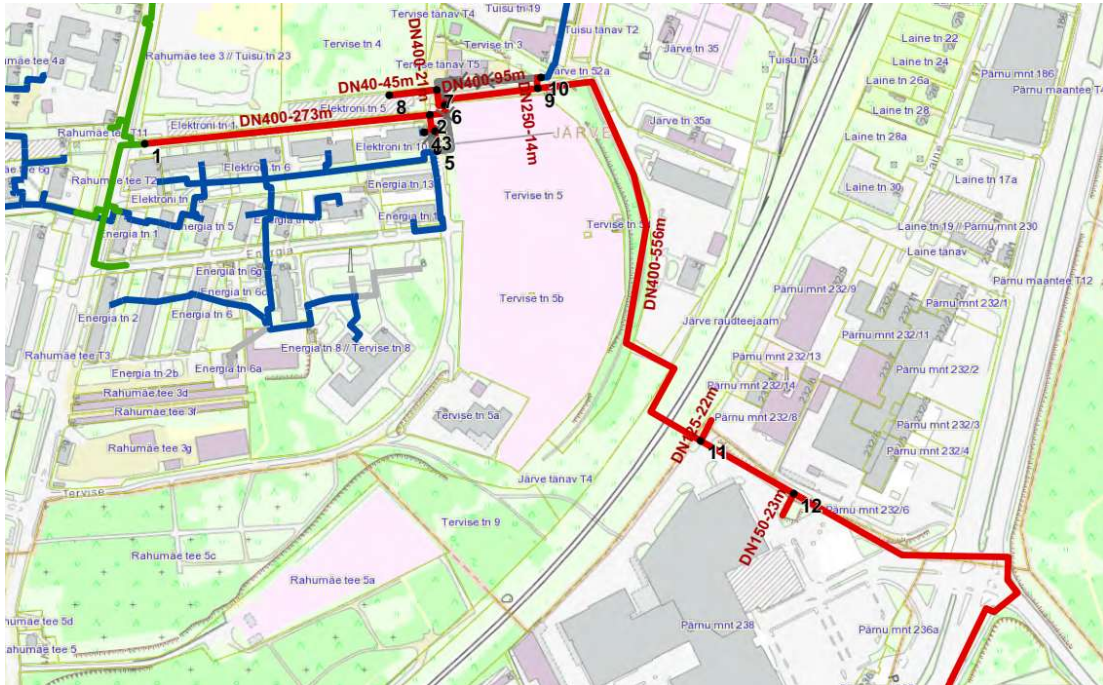
4.1.1 Projekteerimise käik

Mahla katlamaja kaugküttevõrguga liitmise projekteerimise aluseks olev lähteülesanne on koostatud AS Utilitas Tallinna Soojuse poolt, mis hõlmab uue soojustorustiku projekteerimist tööprojekti staadiumis. Projekti eesmärgiks on Mahla 87 aadressil asuva katlamaja ühendamine Tallinna kaugküttevõrguga Rahumäe tee T2 piirkonnas. Projekteeritav kaugküttetorusik on ette nähtud eelisoleeritud torustikust, tööea alampiiriga 30 aastat [45][39].

Projekteerimisel tuli arvestada koostamisel olevate detailplaneeringute ning töös olevate projektidega. Koostamisel olevate tööde hulka kuulusid K-Projekt AS poolt koostatavad Tervise 5 kinnistu ja lähiala detailplaneering (DP041840) ning Tervise tn

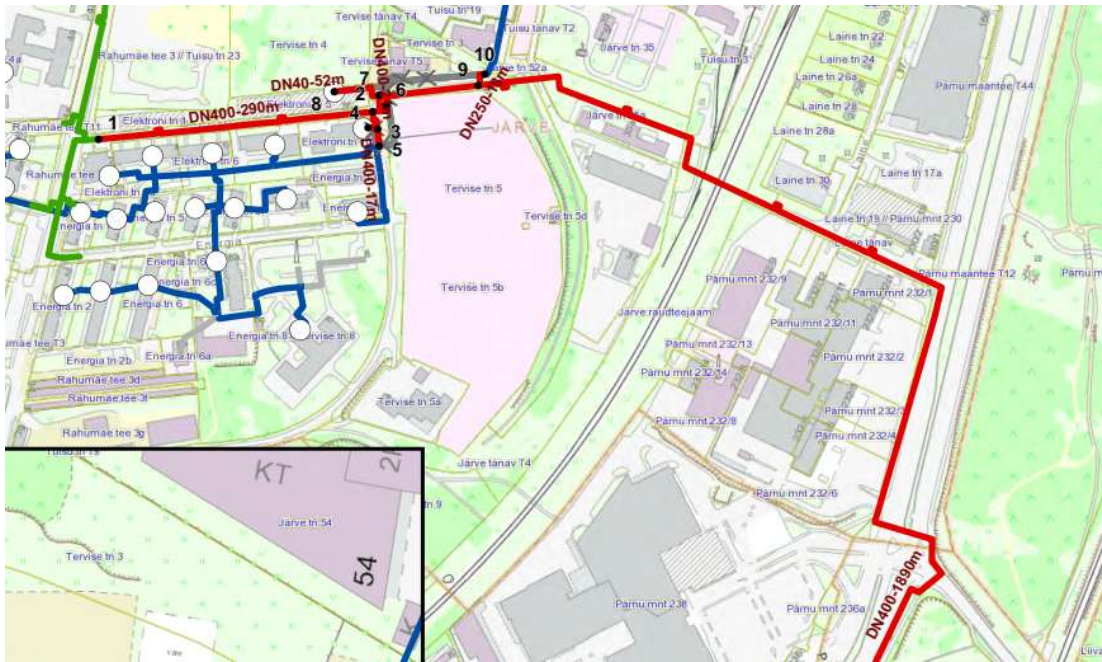
2//Tuisu tn 21 ja Tervise tn 4 kinnistute detailplaneering (DP045000). Projekteerimise ajal oli koostamisel ka maakaabli projekt Leonhard Weiss OÜ (töö nr IP4770) [46].

Esialgse lähteülesande alusel tuli projekteerida magistraaltorusik läbimõõduga DN400, põhimõttelisel skeemil (vt LISA 1) esitatud trasseering pidi kulgema Pärnu maantee 238 (Järve Kaubanduskeskus) kinnistu kaudu üle raudtee, suundudes edasi Tervise ja Elektroni tänavatele [45]. Kirjeldatud trasseering alates Pärnu maantee ristmikust kuni ühenduspunktini on kujutatud joonisel 4.3.



Joonis 4.3 Väljavõte esialgsest lähteülesande põhimõtteskeemist Pärnu mnt-Elektroni tn lõigule [45]

Siiski ilmnis projekteerimisprotsessi käigus mitmeid takistusi, millest esimeseks kujunes Järve Kaubanduskeskuse (Pärnu mnt 238) kinnistu omaniku keeldumine kaugküttetrassi lubamisest oma territooriumile. Selle tulemusel tuli projekteerijatel asuda otsima alternatiivset koridori. Pärast mitmeid läbirääkimisi ja trassivõimaluste hindamist, muudeti lähteülesannet ning valiti välja uus koridor (vt ptk 4.1.4) Laine-Järve-Elektroni, mis on esitatud joonisel 4.4.



Joonis 4.4 Väljavõtte lähteülesande muudetud põhimõtteskeemist Pärnu mnt-Elektroni tn lõigule [39]

Teiseks suureks muudatuseks oli magistraaltrassi läbimõõdu muudatus. Võrreldes alge lähteülesandega otsustas võrguvaldaja oluliselt vähendada torustiku läbimõõtu – ühenduspunktist kuni Pärnu mnt-ni jäi magistraaltrassi läbimõõt DN400, sealt Männiku tee alguseni vähendati läbimõõtu DN300ni ja Männiku tee algusest Mahla katlamajani vähendati läbimõõtu veelgi- DN250. Muudatuse eesmärgiks oli torustiku kulude optimeerimine ning võrgu tehniliste parameetrite parem vastavusse viimine tegeliku soojustarbe ja süsteemi vajadustega. Oluliseks muutuseks suures Tallinna kaugküttevõrgus on alapeatükis 2.2 kirjeldatud Paljassaare soojuspumbajaama valmimisega kaasnev võimsuse kasv, mis muutis hüdrauliliste arvutuste alusel saadud esialgseid planeeritud läbimõõte lähteülesandele. Lõplik lähteülesande põhimõtteline skeem on esitatud LISA 3.

Seoses võrguehituse investeeringute planeerimisega oli projektigraafikus püsimine (sh ehitusloa väljastamine) ehitushanke õigeaegseks läbiviimiseks kriitilise tähtsusega. Leesika tänava harutorustiku trass, mille puhul olemasolevate tehnovõrkude tõttu ei olnud võimalik trassi rajada ilma täiendava planeerimise ja eraldi ehitusloa menetluseta. Selle tõttu jagati antud lõik eraldi etapiks ja magistritöös tehtavad arvutused arvestavad ainult põhitrassi kogupikkusega 3872 meetrit.

4.1.2 Alternatiivsed trasseeringud

Võrguvaldaja poolt esitatav lähteülesande skeem on põhimõtteline – tihti muutub projekteerimise käigus kogutud info alusel ka trasseering võrreldes esialgu planeerituga. Mahla piirkonna ühendamist Tallinna kaugküttevõrguga saab vaadelda kui võrgu planeerimise projekti – suurem osa projekteeritud torustikust on uues asukohas ning realiseerimisel muutub võrgu strateegiline käitamine.

Projekteerimise käigus kaaluti koostöös projekteerijate ning võrguvaldajaga trasseeringuvõimalusi, mis olid seotud erinevate eesmärkidega. Peamised kaalutlused uute koridoride leidmiseks olid järgmised: alapeatükis 4.1.2 kirjeldatud kinnistuomaniku vastuseis (alternatiivid kujutatud joonistel 5-7) ning Männiku teel kaeve teostamisega seotud suurte ehituskulude vältimine (alternatiivid kujutatud joonistel 8-9). Joonisel on skemaatiliselt kujutatud punasega kirjeldatud koridorid, sinisega Maa- ja Ruumiameti kitsenduste kaardi info alusel olemasolevate kaugküttetorustike paiknemine.

Ainuke võimalik trasseering Pärnu mnt suunalt raudtee ületamisel Elektroni tänavale, kus eesmärgiks oli erakinnistute vältimine, oli Järve-Tuisu-Tervise tänavate kaudu. Antud lahenduse kasutegur lisaks erakinnistute vältimisele oleks olnud ka asjaolu, et Elektroni ja Tervise tn piirkonnad oleks saanud ringistatud Pärnu mnt kui ka Retke tee poolt - oleks tõusnud piirkonna varustuskindlus. Takistused antud lahenduse realiseerimiseks oli asjaolu, et võrreldes valituks osutunud variandiga on trasseering 2000 m pikem ning kulges piki tiheda liiklusasustusega Pärnu mnt-d, seega oleks antud lahenduse realiseerimise maksumus majanduslikult ebaotstarbekas. Järve-Tuisu-Tervise tänavate kaudu kaalutud lahendus on kujutatud joonisel 4.5.



Joonis 4.5 Järve-Tuisu-Tervise [43]

Kaalutud lahendus, mis hõlmas erakinnistu läbimist oli Risti-Uueristi-Tervise-Elektroni tänavate kaudu. Lahenduse alusel oleks tulnud läbida kaugküttetoruga Uueristi tn 8 asuvat garaažiühistule kuuluvat garaažiboksi. Garaažiühistu tingimuseks oli, et boksi kasutusotstarve säiliks, millest tulenevalt oleks kaugküttetorustik tulnud projekteerida garaaži vundamendi alla, ligi 4 meetri sügavusele. Sellise lahenduse realiseerimine oleks olnud tehniliselt väga keerukas.

Geodeetilise plaani alusel oli probleemiks magistraaltrassi mahutamise Risti tänavale, selliselt, mis arvestaks seal kulgevate võrkude standardijärgse kujaga – ka kogu tänava ümber planeerimisel tehnovõrkude osas oleks tänavaruum jäänud liiga kitsaks, et tagada vajalikud vahekaugused. Lisaks olemasolevatele tehnovõrkudele osutus takistuseks antud trasseeringu realiseerimiseks ka Risti tänava ääres kulgevad puud. Dendroloogilise hinnangu alusel kitsendas puude kaitsevöönd ehituseks kasutatavat ala veelgi- kirjeldatud selgituste alusel otsustati kaaluda teistsugust lahendust. Kirjeldatud lahenduse skeem on näidatud joonisel 4.6.



Joonis 4.6 Risti-Uueristi-Tervise-Elektroni [43]

Alapeatükis 4.1.2 kirjeldatud kinnistuomaniku vastuseisuga seotud, valituks osutunud alternatiivseks trasseeringuks sai Laine-Järve-Elektroni tänavate kaudu kulgev trasseering. Lahendust hakati kaaluma, sest raudteeni viiv Laine tänav on munitsipaalomandis, mis tähendab, et tuli saavutada kokkulepe vaid ühe erakinnistuga. Järve tn 35a ning Järve tn 37 kinnistutel paiknevad suuremad tootmishooned, millest tulenevalt oli antud koridor ka kõige potentsiaalikam kokkulepete leidmiseks – suurema koormusega tootmishoonete näol on ka tõenäolisem, et kinnistu omanikule võiks pakkuda huvi liitumine kaugküttega. Läbirääkimiste tulemusel võrguvaldaja ja kinnistu omaniku vahel sõlmiti isikliku kasutusõiguse ala kaugküttetorustiku magistraaltrassile Järve tn 35a kinnistul. Kirjeldatud lahenduse skeem on näidatud joonisel 4.7.



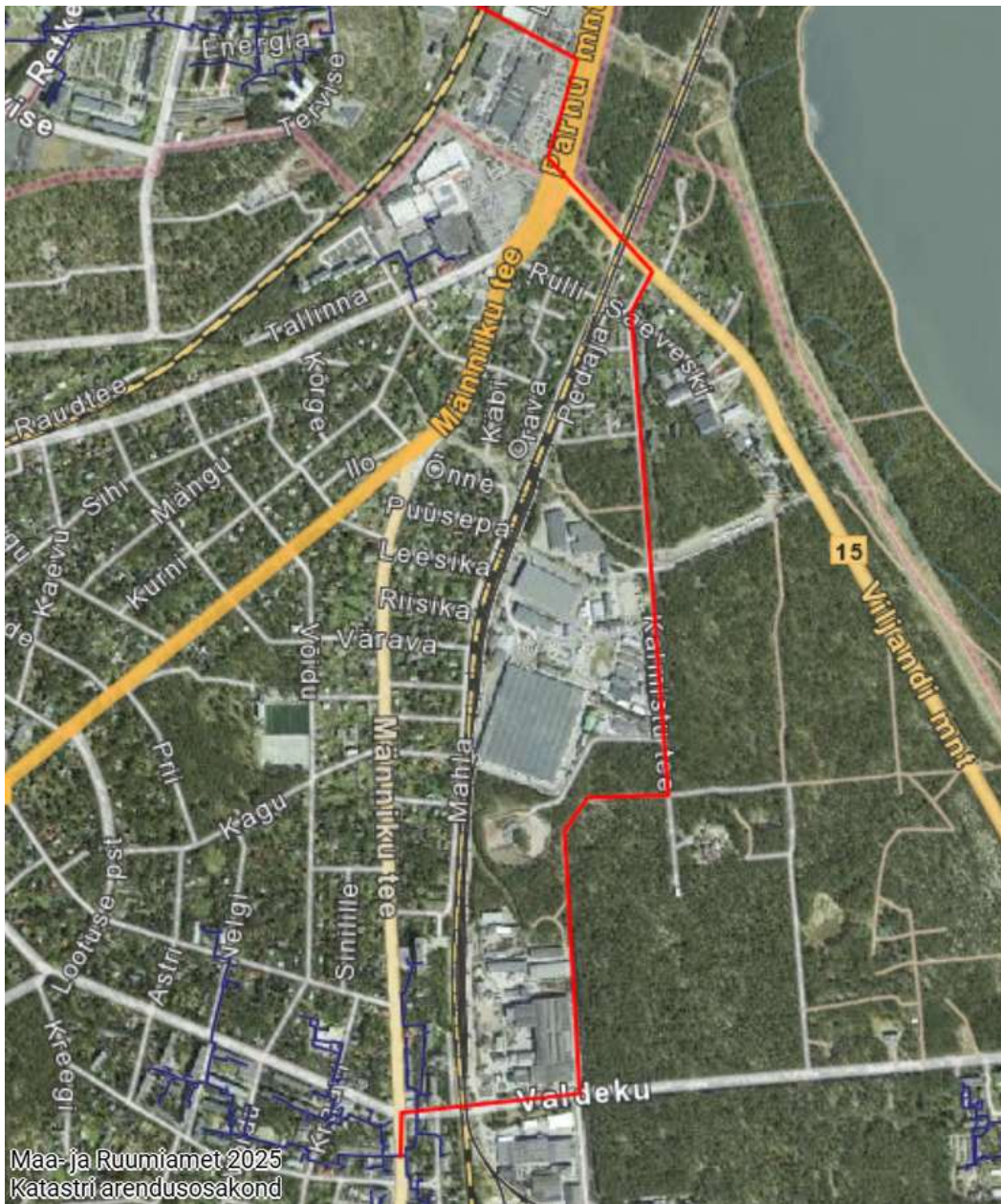
Joonis 4.7 Laine-Järve-Elektroni [43]

Võrguvaldaja poolt väljastatud lähteülesande alusel planeeriti ühendus Mahla katlamaja ning Tallinna kaugküttevõrgu vahel piki Männiku teed. Tegu on liiklustiheda teega-projekteerimise käigus tuli arutelu alla ka alternatiivide võimalikkus magistraaltrassi viimiseks piki Männiku teega kulgevaid paralleelseid, väiksema liiklustihedusega tänavaid. Lisaks asjaolule, et tee sulgemine ehituse ajaks valmistab ebamugavust piirkonna elanikele, kaasneb sellega ka KOVile makstav tasu tee sulgemise eest, mis omakorda tõstab ehitusmaksumust [10].

Üheks alternatiivseks koridoriks oleks Valdeku-Kalmistu-Viljandi mnt-Pärnu mnt kaudu kulgev lahendus. Skeemi kohaselt tuleks läbida Liiva kalmistuga paralleelset Räniliiva tänavat, mis on juba Maa- ja Ruumiameti kitsenduste kaardi info alusel koormatud elektri- ning gaasivõrkudega. Tehnovõrkude kitsenduste mõjualade vahele ei ole seal piisavalt ruumi kaugküttetorustikule vajaliku kuja saavutamiseks. Lisaks läbib planeeritud trasseering Liiva kalmistu kinnismälestuse ala, milles ehitustegevus on reguleeritud Muinsuskaitse seadusega.

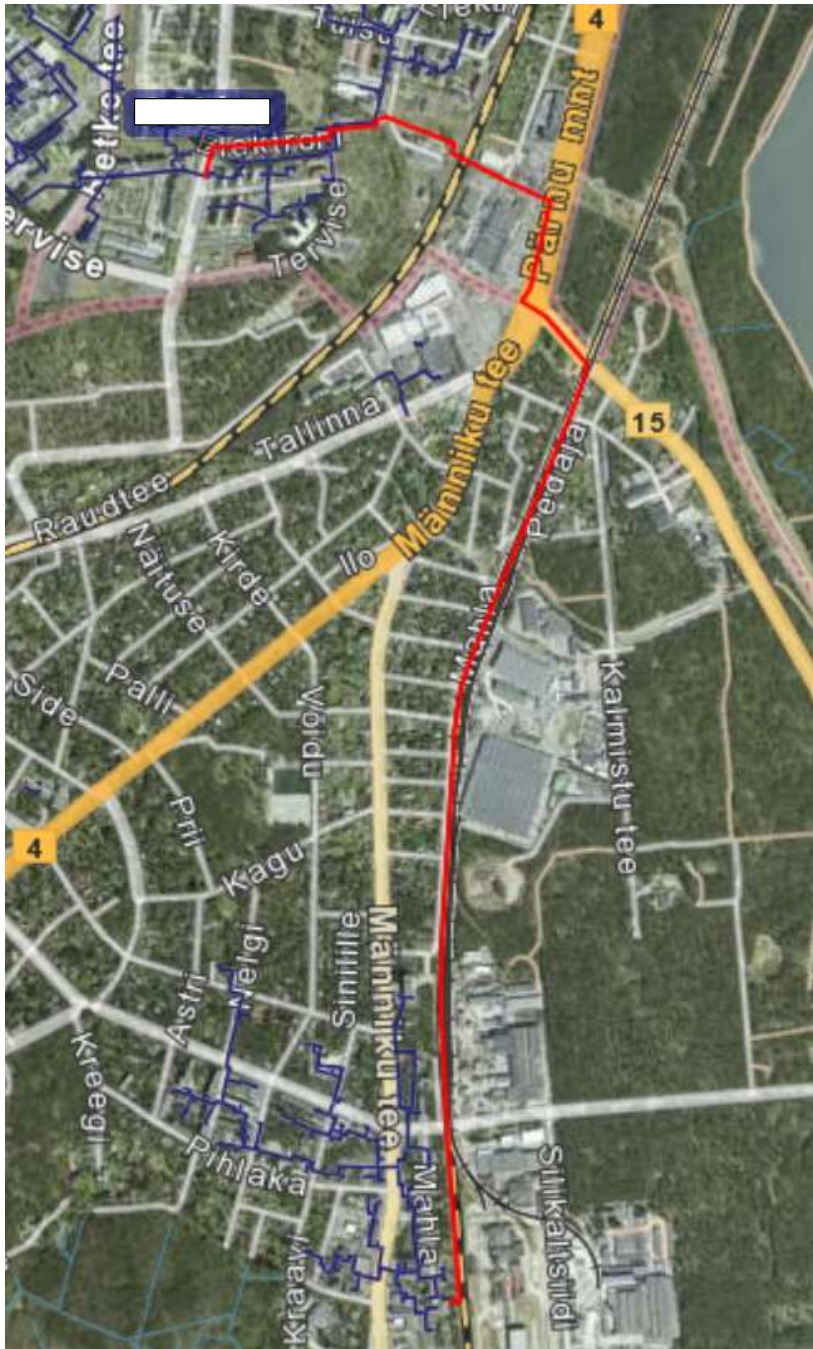
Muinsuskaitsega seotud kitsenduse alal tuleb uue ehitise rajamiseks taotleda Muinsuskaitse eritingimused, kusjuures amet võib keelduda eritingimuste väljastamisest [47]. Kitsad tingimused olemaolevate tehnovõrude nõol jätkuvad ka Viljandi mnt-ni viival Kalmistu teel, mille vahetus läheduses paiknevad ka pargi alal paiknevad vääriselupaigad ning looduskaitsealused liigid. Looduskaitsega seotud piirkonnas on ehitustegevus keelatud ilma kaitstava loodusobjekti valitseja nõusolekuta, ehk sellise trasseeringu puhul tuleb taotleda Keskkonnaameti arvamus antud ala

läbimiseks [48]. Lõpliku hinnangu alternatiivse trasseeringu realiseerimise võimalikkusele saab anda eelmainitud ametite ning olemasolevate tehnovõrkude valdajatega kooskõlastamisel, mis eeldab uuringute tellimist ning tehniliste jooniste koostamist. Varasema kogemuse baasil annab autor hinnangu, et mainitud tähelepanekute alusel on sellise lahenduse realiseerimine väga keerukas; olenevalt ametite arvamusest võib osutada suisa keelatuks. Kirjeldatud lahenduse skeem on näidatud joonisel 4.8.



Joonis 4.8 Männiku tee alternatiiv - Valdeku-Kalmistu-Viljandi mnt-Pärnu mnt [43]

Männiku teega paralleelselt kulgeb Tallinn-Lelle-Pärnu raudteemaa. Kuigi tegu on riigimaaga, siis kinnistu Hoonestusõigus kuulub Edelaraudtee AS-le, [49]mis tähendab, et projekteerimisel tuleb lähtuda viimase poolt esitatud tehnilistest tingimustest. Vastavalt tehnilistele tingimustele on raudteemaale rööbastega paralleelne kaugküttetorustiku pikikulgemine keelatud. Kirjeldatud lahenduse skeem on näidatud joonisel 4.9.



Joonis 4.9 Männiku tee alternatiiv – Tallinn-Lelle-Pärnu raudteemaa [43]

4.2 Väljakutsed projekteerimisel

Üheks peamiseks projekteerimist mõjutanud väljakutseks oli sobiva trassikoridori leidmine. Ühendus Mahla katlamajast Elektroni tänavale eeldab vähemalt ühe erakinnistu läbimist. Mahla piirkonna planeeritav ühendus Tallinna kaugküttevõrguga peab ületama raudteemaa, mille ümbruses paiknevad valdavalt eramajadega kinnistud. Kuna sellised hooned on tavaliselt varustatud lokaalse küttelehendusega ning nende soojuskoormus on väike, ei ole kaugküttega liitumine majanduslikult otstarbekas. Selle tulemusena puudub kinnistuomanikel huvi lubada kaugküttetorustiku rajamist oma kinnistule, ja raskendab trasseeringute leidmist piirkonnas.

Põhimõttelise trasseeringu määramisel kujunes esialgu kõige sobivamaks lahenduseks torustiku rajamine Pärnu maantee 238 kinnistul paikneva Järve Kaubanduskeskuse kinnistu kaudu. Tegemist on suure tarbijaga, kelle kaugküttega liitumine oleks olnud tehniliselt ja majanduslikult otstarbekas. Projekteerimise alustamisel esitati kavandatud trassilahendusele projekteerimistingimuste taotlus, mille menetlemisel laekus kohaliku omavalitsuse kaudu kinnistuomaniku arvamus.

Kinnistu omanik väljendas vastuseisu kaugküttetorustiku paigutamisele oma kinnistule ning keeldus kooskõlastusest. Selle tulemusel tagastati projekteerimistingimuste eelnõu projekteerijale – viimasel tuli asuda otsima alternatiivset trassikoridori. Läbirääkimiste tulemusel leitud uue trasseeringu alusel esitatud projekteerimistingimuste taotlus jäi aga rahuldamata, kuna Keskkonna- ja Kommunaalameti sisendi alusel ei olnud tegemist avalikku olulist huvi esindava objektiga ning seetõttu puudus alus tingimuste väljastamiseks.

Teiseks väljakutseks oli alapeatükis 3.5 kirjeldatud projekteerimisel kehtivate tehnovõrkude vaheliste vahekauguste (kujade) saavutamine, mis on oluline aspekt võrguvaldajatega kooskõlastamiseks ning ehitusloa väljastamiseks. Alternatiivsete trasseeringute kaalumisel, mis hõlmasid kõrvaliste tänavate läbimist, osutus keerukaks, sest kitsastel tänavatel, kus juba paiknevad olemasolevad tehnovõrgud ei pruugi planeeritav kaugküttetorustik projekteerimisele kehtivate nõuete alusel mahtuda.

Täiendavaks väljakutseks osutus trassi planeerimine Männiku tee, mida iseloomustab suur liikluskoormus. Nagu on käsitletud peatükis 3.4.1, kujundab suure liiklustihedusega tänavate all teostatavate tööde keerukus otseselt projekti ehitusmaksumust. Tööde läbiviimine sellises keskkonnas nõuab sageli liikluse ümberkorraldamist, mis on ajamahukas ja kulukas. Selle tõttu eelistati projekteerimisel trassi paigutamist tee serva, mis võimaldaks tööde teostamisel sulgeda ainult üks

sõidusuund ning säilitada osaliselt liiklusvoog. Selline lahendus vähendaks nii tööde mõju ümbruskonnale kui ka seotud kulusid.

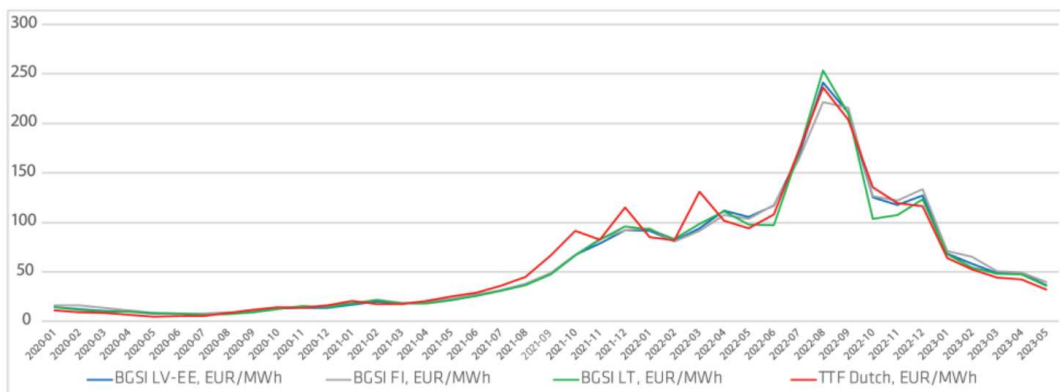
Männiku teel paikneb ka 2021. aastal rajatud ligikaudu nelja meetri sügavune jalakäijate tunnel, mille olemasolu tingis täiendava tehnilise keerukuse. Kuna tunnel paikneb liiklustihedal alal ja selle konstruktsioon ei võimaldanud torustiku avatud meetodil paigaldamist, tuli planeerida selle ületamine kinnise meetodiga – puurides. Puurimistöode tehniline lahendamine nõudis täiendavaid nõupidamisi puurimisettevõtetega, et hinnata valitud meetodi teostatavust ja riske. Kinnise meetodi rakendamine tõstab märgatavalt ehitusmaksumust võrreldes tavapäraste kaevetöödega, mistõttu tuli seda aspekti arvesse võtta nii tehnilises projekteerimises kui ka investeeringuplaanides.

5. MASTAABIEFEKTI MÕJU HINDAMINE MAHLA KAUGKÜTTETORUSTIKU PROJEKTI NÄITEL

Käesolevas peatükis uuritakse Mahla piirkonna kaugküttetorustiku ühendamist Tallinna võrgupiirkonna kaugküttevõrguga, ning tehakse arvutuslikke järeldusi, kas projekti realiseerimine võimaldab saavutada energiasäästu ja CO₂ heitmete vähenemist võrreldes olemasoleva, lokaalse gaasikatlamaja lahendusega. Käesolevas peatükis hinnatakse liitumise mõju kolme erineva stsenaariumi lõikes:

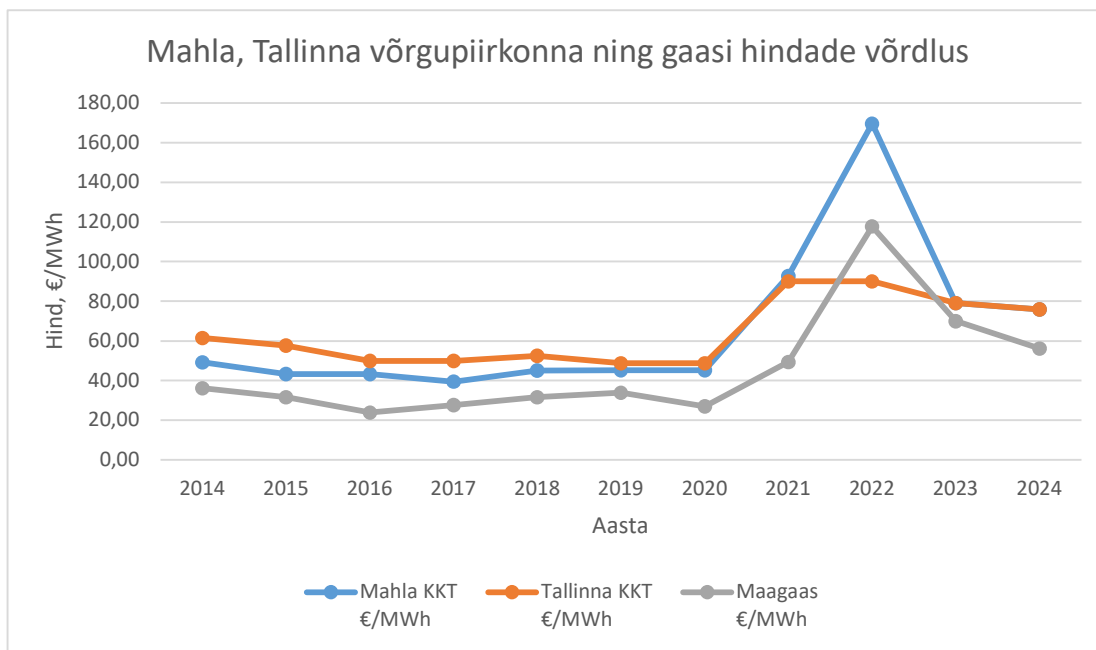
1. Stsenaarium 1 – Lokaalne maagaasikatel (olemasolev olukord, Mahla): piirkond jätkab soojustootmist lokaalses, maagaasil põhinevas katlamajas;
2. Stsenaarium 2 – Ühendamine Tallinna võrgupiirkonna kaugküttevõrguga (Mahla + Tallinn 2025): kaugküte põhineb soojuse tootmiseks kasutatavast taastuvat päritolu kütustel, kus tipukoormused kaetakse maagaasiga;
3. Stsenaarium 3 – Tulevikuproгноos Tallinna võrgupiirkonnaga ühendusel (Tallinna 2035): kaugküttesüsteem töötab 100% taastuvat päritolu kütustel.

Olemasolevas Mahla võrgupiirkonnas põhineb soojuse tootmine gaasikütusel. Üheks suureks eesmärgiks antud projekti realiseerimisel on varustuskindluse ning energiahinna stabiliseerimine piirkonnas. 2021. aastal alanud „gaasikriisi“ valguses, kus Venemaa gaasitarnetes esines vähenemist ning ebakindlust, samas kus elektriturul tõusis nõudlus eelmainitud kütusele; lisaks Venemaale seatud poliitilised sanktsioonid 2022. aastal seoes sõjategevusega Ukrainas, tõusis keskmine gaasibörsi hind Euroopa turul ligi 10 korda kõrgemaks eelneva perioodiga võrreldes [50]. Gaasibörsi hinna muutused perioodil 2020-2023 on näidatud joonisel 5.1.



Joonis 5.1 Keskised gaasibörsi hinnad perioodil 2020-2023 [50]

Keskmise gaasibörsi hinnatõusul oli ka mõju Mahla piirkonnas müüdavale soojusele. Autori esitatud teabenõude alusel Konkurentsiametile kaugkütte piirhindadele Mahla piirkonnas, Tallinna võrgupiirkonnas ning Statistikaameti poolt koostatud maagaasi lõpptarbimise hinna statistika kohaselt on koostatud graafik, mis kujutab Mahla piirkonna, Tallinna võrgupiirkonna ja maagaasi hinna lõpptarbijale võrdluseid perioodil 2014-2024 [18][51][52]. Graafik on kujutatud joonisel 5.2.



Joonis 5.2 Mahla piirkonna, Tallinna võrgupiirkonna ja maagaasi hinna võrdlus perioodil 2014-2024 [18][51][52]

Graafikust ilmneb, et ajavahemikul 2014–2020 püsisid Mahla ja Tallinna kaugkütte hinnad suhteliselt stabiilsena, vastavalt vahemikus 40–60 €/MWh, sealjuures keskmised soojusmüügi hinnad Mahla piirkonnas olid isegi madalamad kui ühtses Tallinna kaugküttevõrgus. Samal perioodil oli gaasi hind keskmiselt madalam kui kaugküttevõrkude hind. Maagaasi madalam hind sel perioodil on ka põhjendus Mahla piirkonna madalamatele hindadele võrreldes Tallinna kaugküttevõrguga, kus soojuse tootmine baseerub gaasil, st soojuse tootmise hind on otseses sõltuvuses maagaasi müügihinnaga.

Oluline muutus on näha graafikul alates 2021. aastast, kus on näha tõusu kõikide analüüsitava energi liikide hindades. Eriti järsk tõus esines Mahla piirkonna hindades, ulatudes 2022. aastal umbes 170 €/MWh. Samal perioodil tõusis maagaasi hind ca 130 €/MWh-ni, sealjuures jäi Tallinna kaugkütte võrgupiirkonna hind kõige madalamale tasemele - 90 €/MWh. Kuigi Tallinna võrgupiirkonnas kasutatakse peamiselt taastuvaid allikaid, siis tipukoormuste katmiseks kasutatakse täna veel maagaasi, seega gaasikriisi

mõju kajastus ka Tallinna ühtsew kaugküttevõrgus. See näitab, et Mahla piirkonna kaugküttesüsteem on oluliselt haavatavam turušokkide ees.

Seoes Adven Eesti AS võrkude ning katlamajade omandamisega AS Utilitas Tallinna Soojuse poolt, hakkasid varem eraldi soojuse piirhindasid kooskõlastatavate katlamajade piirkondades kehtima ühtse Tallinna võrgupiirkonna hinnad, ehk maagaasi kallinemisest mõjutatud tarbijad Mahla maksid soojuse eest 2022. aastaga võrreldes (ca 170 €/MWh) järgneval aastal ligi kaks korda madalamat hinda (ca 80 €/MWh) [18]. Samal perioodil toimus ka maagaasi hindade stabiliseerumine, seega 2021. ja 2022. välja joonistunud suur hinnaerinevus Tallinna võrgupiirkonna ning Mahla piirkonna vahel oleks 2023. aastaks igal juhul stabiliseerunud. Siiski saame järeldada, et kuna Tallinna võrgupiirkonnas soojuse tootmiseks kasutatav kütus on peamiselt taastuv, kohalikku päritolu (maagaasi kasutatakse vaid tipukoormuste katmiseks), on see varustuskindluse ning energiajulgeoleku vaates kindlasti stabiilsem ning eelistatum valik.

5.1 Lihtsustused arvutuste läbiviimiseks

Tallinna kaugküttevõrk ja selle opereerimine on otseses seoses välisõhu temperatuuriga, tarbimisega ning soojuskadudega, millest kaks viimast on otseses seoses esimesega. Järelduste tegemiseks kasutatakse arvutustes normaalaastale lähedaseid andmeid. Normaliseerimise aluseks võetakse tasakaalutemperatuur 17 °C.

Magistritöös kasutatud välisõhu temperatuurid pärinevad baasaasta kliimafailist, mis tugineb üle-eestilistel kliimaandmetel ajavahemikus 1970-2000 [53]. Kliimafaili temperatuuride alusel leitud kraadpäevade ning 17 °C kraadi juures kehtivate normaalaasta kraadpäevade erinevus on alla 1%, seega käesolevas töös tehakse eeldus, et koostatud koormusgraafikud esindavad tingimusi, mis on tüüpilised normaalaastale, st keskmisele aastale soojuskoormuse mõttes.

Tallinna kaugküttevõrk pidevas arengus – lähiaastatel valmib Paljassaare soojuspumbajaam, mis muudab võrgu koormusjaotust ning hüdraulikat. Igal aastal rekonstrueeritakse olemasolevaid kaugküttevõrke (mis vähendab soojuskadusid) ning liidetakse uusi tarbijaid. Antud magistritöö eesmärgiks on koostada lihtsustatud arvutused, mis hindaks tänast seis (2025.) ning annaks ka prognoosi 2030. aastaks. Stsenariumite arvutuste aluseks võetud andmed on esitatud käesoleva peatüki tabelites 5.1-5.3.

Tänase seis eelduseks võetakse, et Tallinna võrgupiirkonna soojuse tootmise baaskoormuse katavad 5 tootmisjaama, mille käitamisele rakendub prioriteetsus. St kui võrgu tarbimine on madal (nt küttevälisel perioodil, kus koormuse tekitajaks on

soojuskaod ning soe tarbevesi) siis kaetakse tarbimine Iru prükipõletusjaamaga; koormuse kasvades (nt kütteperioodi algusega) kaetakse vajalik koormus vastavalt jaamade prioriteetsuse järjekorras Vão II jaam, Mustamäe koostootmisjaam, Vão I jaam ning tipukoormuste katmiseks gaasikatlamajade summaarne koormus. Jaamade prioriteetsus ning maksimaalne võimalik koormus 2025. aasta stenaariumiks (stenaarium 3) on esitatud tabelis 5.1.

Tabel 5.1 Tallinna võrgupiirkonna soojusjaamade prioriteetsus, koormused ning kasutatavad kütused (stenaarium 2)

Jaam	Jaama prioriteetsus	Maksimaalne koormus, MW (soojuslik)	Primaarenergia allikas
Iru prükipõletusjaam	1	50	jäätmed
Vão II SEJ	2	76	biomass
Mustamäe KTJ	3	45	biomass
Vão I SEJ	4	68	biomass
Gaasikatlamajad	5	550	maagaas

2030. aastaks on AS Utilitas Tallinna Soojuse eesmärkide kohaselt planeeritud loobuda maagaasi kasutusest soojuse tootmisel [8], mis tähendab, et muutub ka eelnevalt kirjeldatud tootmise prioriteetsuse jaotus. Autor teeb eelduse, et jaamade prioriteetsusel jäävad 2030. aasta prognoosis soojusjaamade asetused samaks, kuid gaasikatlamajade toodetud soojuse asendab Paljassaassaare soojuspumbajaama tootmine. Jaamade prioriteetsus ning maksimaalne võimalik koormus 2030. aasta stenaariumiks (stenaarium 3) on kujutatud tabelis 5.1.

Tabel 5.2 Tallinna võrgupiirkonna soojusjaamade prioriteetsus, koormused ning kasutatavad kütused (stenaarium 3)

Jaam	Jaama prioriteetsus	Maksimaalne koormus, MW (soojuslik)	Primaarenergia allikas
Iru prükipõletusjaam	1	50	jäätmed
Vão II SEJ	2	76	biomass
Mustamäe KTJ	4	45	biomass
Vão I SEJ	5	68	biomass
Paljassaare SPJ	3	110	elekter

Tallinna võrgupiirkonna soojuse toodangul arvestatakse 2025. ja 2030. stenaariumites sama tootmismahuga, stenaariumite erinevus tarbimiskoguste kohta tuleneb muutunud soojuskadude oskaaludest. Arvutustes võetakse eelduseks, et Tallinna 2025. aasta kaugküttevõrgu suhteline soojuskadu on 14%[54]; 2030. aastaks, kus planeeritud

rekonstrueerimistempo [10] alusel on rekonstrueeritud keskmiselt 80% olemasolevaid torusikke, teeb autor eelduse, et kaugküttevõrgu suhteline soojuskadu on langenud 12%-le. Arvutustes tehakse eeldus, et sooja tarbevee koormus kõikide stenaariumite korral on 25% kogu soojuse toodangust [44]. Arvutusmudelites summeeritakse tabelis 5.3 esitatud soojuse toodangu kogustele Mahla kaugküttevõrgu toodangu maht (22 000 MWh/aastas). Sisendsuurused arvutusmudelisse on esitatud tabelis 5.3.

Tabel 5.3 Sisendandmed arvutusmudelisse

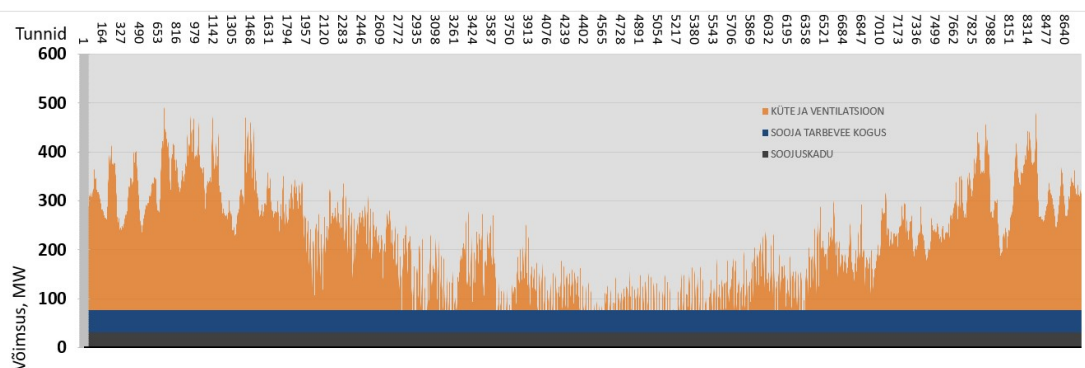
Parameeter	Ühik	Mahla kaugküttevõrk	Tallinna võrgupiirkond 2025	Tallinna võrgupiirkond 2030
Soojuse toodang	MWh/aastas	22 000[44]	1 906 000[54]	1 906 000[54]
Soojuse tarbimine	MWh/aastas	19 700[44]	1 639 160	1 677 280
Millest soe tarbevesi	%	25	25	25
Millest soe tarbevesi	MWh/aastas	4 925	409 790	419 320
Soojuskadu	MWh/aastas	2 300	266 840	228 720
Võrgu soojuskadu	%	11	14[54]	12

5.2 Arvutuste läbiviimise mudel

Arvutuste läbi viimiseks koostati mudel Microsoft Exceli programmis, võttes aluseks peatükis 5.1 esitatud lihtsustatud sisendeid. Eesti kliimaandmete alusel koostati mudel 2012. aasta välisõhu temperatuuridele, mis normaliseeriti vastavalt määratud normaalaasta kraadpäevade arvuga [55]. Mudeli eesmärgiks oli arvutada soojuse toodangule vastav vajalik soojuse väljastus igale aastal olnud tunnil Tallinna ühtses kaugküttevõrgus, võttes arvesse keskmist välisõhutemperatuuri antud tunnil ning selle absoluutvahe määratud tasakaalutemperatuuriga (17°C).

Tarbeveele ning soojuskadudele minev koormus esitati tabelis lihtsustatult- jagatisena, sisendis antud kogu võrku väljastatud soojuse, ja sooja tarbevee osakaalule (25%) ning soojuskadude osakaalule (14%, 12%) vastava koormuse ning aastas olnud tundidele. Selles tulenevalt on need kaks suurust igas tabeli reas konstantsed suurused. Küttele

kuluva koormuse leidmiseks lahutati kogu võrku antud soojuse toodangust tarbevee ning soojuskadude koormused ning korrutati need arvatud tasakaalutemperatuuri vahega. Näitlikustav joonis sooja tarbevee, soojuskadude ning küttekoormuse osakaalude kohta ning nende arvutuslike koormusemuutuste osas on näidatud joonisel 5.3.



Joonis 5.3 Sooja tarbevee-, soojuskadude- ning küttekoormuste osakaalud ning muutused arvutusmodelis Tallinna ühtses kaugküttevõrgus

Graafikust ilmneb, et tarbevee kogus ja võrgu soojuskadu on aastaringsest suhteliselt püsivad, moodustades pideva baaskoormuse, liginedes 100 MW-le. Seevastu kütte ja ventilatsiooni koormus on tugevalt sesoonne ja varieerub sõltuvalt välistemperatuurist – tippkoormus ligi 500 MW ja langeb suvisel ajal praktiliselt nulli. Mudeli arvutuste selgitused on esitatud valemites 5.1-5.5 ning arvutuste näitlikustamiseks on esitatud kliimaandmete tabeli andmetele arvatud esimese viie tunni tulemused. Väljavõtte arvutusmodelist on esitatud tabelis 5.4.

Tabel 5.4 Väljavõtte arvutusmodelist

Kuupäev ja kellaeg	Kuu	Välisõhu-temperatuur	$\Delta_{tasakaal}$	$Q_{tarbevesi}$	$Q_{küte}$	$Q_{soojuskadud}$	Q_{kogu}
01.01.2012 00:00	1	-1,5	18,5	46,65	224	30	301,29
01.01.2012 01:00	1	-1,5	18,5	46,65	224	30	301,29
01.01.2012 02:00	1	-1	18	46,65	218	30	295,23
01.01.2012 03:00	1	-0,5	17,5	46,65	212	30	289,17
01.01.2012 04:00	1	-0,1	17,1	46,65	207	30	284,32
01.01.2012 05:00	1	0,3	16,7	46,65	202	30	279,47

$$\Delta_{\text{tasakaal}} = |\text{välisõhu temperatuur} - \text{tasakaalutemperatuur}| \quad (5.1)$$

$$Q_{\text{soojuskadu}} = \frac{Q_{\text{kogu}} \times y}{n} \quad (5.2)$$

$$Q_{\text{tarbevesi}} = \frac{Q_{\text{kogu}} - Q_{\text{soojuskadu}}}{n} \quad (5.3)$$

$$Q_{\text{küte}} = \frac{(Q_{\text{kogu}} - Q_{\text{soojuskadu}} - Q_{\text{tarbevesi}})}{\frac{\text{kraadtunnid}}{24}} \times \Delta_{\text{tasakaalutemperatuur},i} \quad (5.4)$$

$$\text{Kraadtunnid} = \sum_n \Delta_{\text{tasakaalutemperatuur}} \quad (5.5)$$

kus

$\Delta_{\text{tasakaalutemperatuur}}$ – välisõhu ja tasakaalutemperatuuride absoluutvahe, °C;

$\Delta_{\text{tasakaalutemperatuur},i}$ – välisõhu ja tasakaalutemperatuuride absoluutvahe vaadeldaval tunnil, °C;

$Q_{\text{soojuskadu}}$ – võrgu soojuskadu, MWh;

$Q_{\text{tarbevesi}}$ – sooja tarbevee koormus, MWh;

$Q_{\text{küte}}$ – kütte koormus, MWh;

Q_{kogu} – kogu võrku väljastatud soojus, MWh;

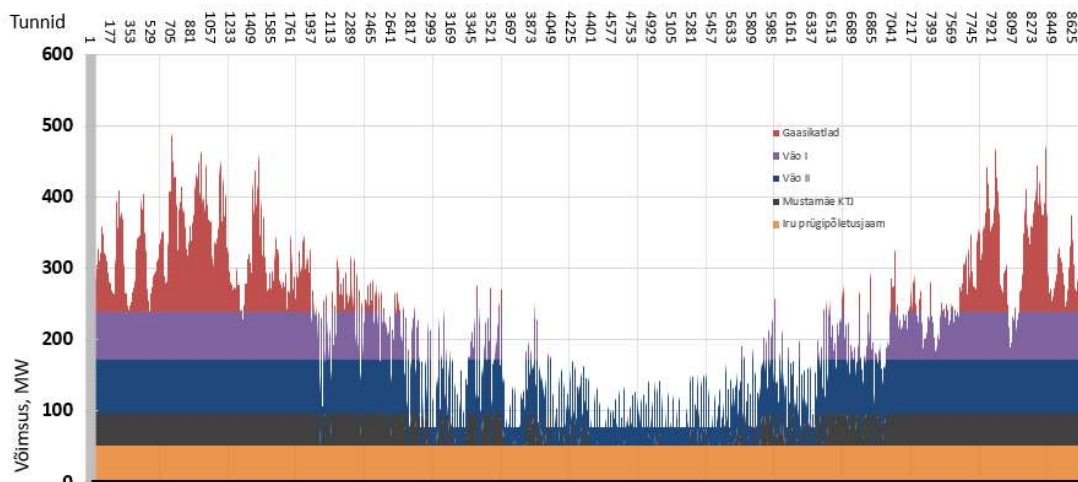
Kraadtunnid – tasakaalutemperatuuri ja välisõhu temperatuuri vahet iseloomustav näitaja °C × h;

y – soojuskadude osakaal, %;

n – vaadeldud andmeridade arv.

Mudelisse koostatud sisendandmete alusel koostati normaliseeritud soojustarbimise koormusgraafikud aasta tundidele ning jaamade prioriteetsusele jaotuvalt. Koormusgraafikul on y-teljel näidatud vajalik genereeritav võimsus aasta tunnil ning x-teljel normaalaasta tunnid. Joonise legendis esitatud värvid kirjeldavad tootmisjaamade osakaalusid genereeritavas soojuskoormuses. Graafikutelt joonistuvad selgelt välja kütteperioodid, kus baaskoormuse katavad peamiselt Iru prükipõletusjaam, Mustamäe

KTJ ning Vão II SEJ, tipukoormuste katmiseks kasutatakse tänases Tallinna võrgupiirkonnas veel gaasikatlaid. Selgitusena ptk 5.1 kirjeldatud jaamade prioriteetsuse jaotuse jaoks tehtud lihtsustustele koostatud soojustarbimise koormusgraafik Tallinna ühtsele võrgupiirkonnale on esitatud joonisel 5.4.

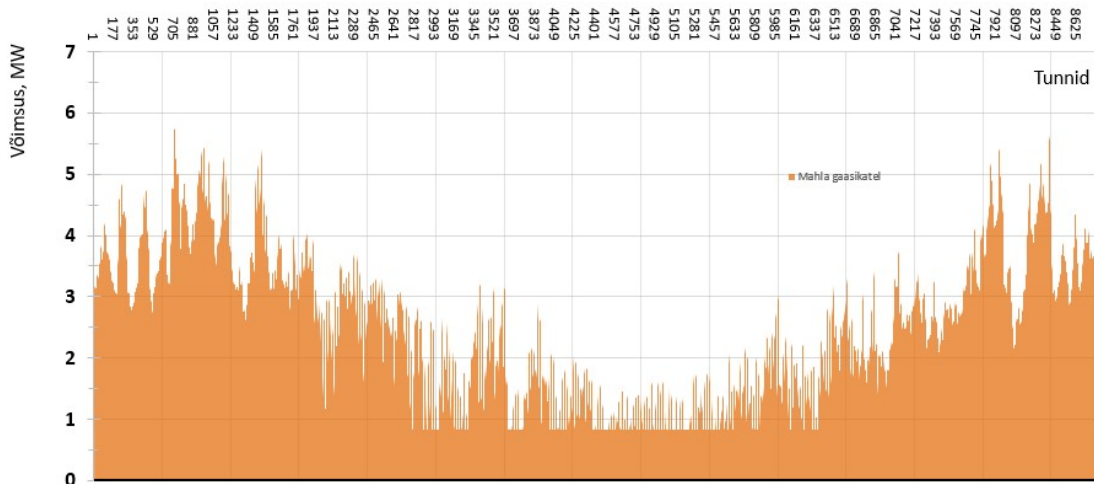


Joonis 5.4 Tallinna võrgupiirkonna normaliseeritud soojuskoormuse graafik 2025 [44]

5.3 Mastaabiefekti mõju energiasäästule

Mastaabiefekt väljendub antud projektis eelkõige läbi selle, et ühendades Mahla piirkond Tallinna kaugküttevõrguga, väheneb vajadus maagaaskütuse järele tänu tsentraalse tootmise efektiivsusele ja taastuvate energiaallikate kasutamisele. Energiasäästu hindamiseks võrreldakse kolme stsenaariumi maagaasi kulu.

Esimese uuritava stenaariumi kohaselt, kus Mahla piirkona soojuse tootmine jääks olemasoleva gaasikütuse peale, oleks aastane normaliseeritud tootmismahd 22 000 MWh aastas, millest nii baas- kui ka tipukoormused kaetakse maagaasiga. Mahla piirkonna kaugküttevõrgu koormusgraafik on näidatud joonisel 5.5.



Joonis 5.5 Mahla piirkonna normaliseeritud soojuskoormuse graafik 2025 [44]

Teise stenaariumi kohaselt, kus Mahla piirkond liidetakse Tallinna võrgupiirkonnaga, kasvaks viimase soojukoormus Mahla piirkonna sojusetarbe võrra, millest tulenevalt muutuks ka koormuste jaotused tootmisjaamades, sh tõuseks ka Tallinna võrgupiirkonna maagaasi osakaal sojuse tootmisest. Mahla piirkonna liitmisest tuleneva maagaasi koguse leidmiseks teise stenaariumi jaoks koostati kaks eraldi arvutust – üks tänaste Tallinna ühtse võrgupiirkonna sisenditega (Tallinn 2025) ning teine (Tallinn + Mahla 2025), kuhu lisati Mahla piirkonna sojuse toodang (22 000 MWh). Mõlemale variandile leiti mudeli alusel arvutuslik maagaasi kogus, millede vahe on leitud suurus Mahla piirkonna jaoks- vastavalt 6457 MWh maagaasi aastas.

Teise stenaariumite arvutused näitavad, et kuigi Mahla tarbimiskoormuse lisandumise tõttu kasvab maagaasi osakaal sojuse tootmismahudes, langes Mahla piirkonna Tallinna ühtse kaugküttevõrguga liitmisega tekkiv arvutuslik maagaasi kogus märgatavalt (6457 MWh/aastas), võrreldes esimese stenaariumiga, kus maagaasi arvutuslik kulu normaliseeritud tootmise juures oleks olnud 22 000 MWh aastas.

Kolmanda stenaariumi arvutuste aluseks võeti asjaolu, et AS Utilitas Tallinna Sojuse majandusaasta aruannetes esitatud eesmärkide kohaselt saavutatakse 2030. aastaks 100% taastuenergia baasil korraldatud tootmine, mis tähendab ka fossiilset päritolu maagaasisist loobumist [9]. Sellest tulenevalt on kolmanda stenaariumi (Tallinn 2030) arvutuslik maagaasi kogus 0 MWh aastas ning maagaasi alusel arvutatud energiasääst 100%. Kolmele stenaariumile koostatud arvutused on esitatud tabelis 5.5.

Tabel 5.5. Arvutuslik maagaasi sääst stenaariumite korral

Stenaarium		1	2		3
Näitaja	Ühik	Mahla	Tallinn 2025	Tallinn + Mahla 2025	Tallinn 2030
Normaliseeritud soojuse toodang	MWh/aastas	22 000	1 906 000	1 928 000	1 928 000
Taastuvkütuse osakaal tootmises	%	0	85	85	100
Maagaasi osakaal tootmises	%	100	15	15	0
Maagaasi maht soojuse tootmisest	MWh/aastas	22 000	288 492	294 949	0
Stenaariumile arvatud maagaasi kulu	MWh/aastas	22 000	6 457		0

5.3.1 Energiasääst kaalumisteguriga

Määruse Energiatõhususe miinimumnõuetes on välja toodud, et tõhus kaugküttesüsteem on selline, mis kasutab vähemalt 50 protsenti taastuenergiat, 50 protsenti heitsoojust, 75 protsenti koostoodetud soojust või 50 protsenti sellise energia ja soojuse kombinatsiooni. Kuigi kõik AS Utilitas Tallinna Soojuse võrgud on saanud Tõhusa Kaugkütte märgise [56], siis tegelikkuses saab tänases Mahla piirkonnas väita, et tegu ei ole tõhusa kaugküttepiirkonnaga, sest määruses esitatud tingimused ei ole maagaasi kasutusega täidetud.

Energiasäästu arvutuse alusel, võttes arvesse kaalumistegurit normaliseeritud tootmisvõimsuse juures saab väita, et ühendades Mahla piirkonna kaugküte Tallinna võrgupiirkonnaga, saavutatakse 28%-ne energiasääst hoonete energiamärgise arvutustes.

Tabel 5.6 Kaalumisteguri alusel saavutatav energiasääst

Stenaarium	Kaalumistegur	Normaliseeritud tootmine, MWh/aastas	Kaalumisteguri arvutus
1. Mahla piirkonna kaugküte: gaasikatlamaja	0,9	22 000	19 800
2-3. Mahla piirkonna kaugküte: ühendamine Tallinna võrgupiirkonnaga	0,65	22 000	14 300
Kaalumisteguri alusel saavutatav energiasääst			28%

5.4 Mastaabiefekti mõju CO₂ eriheitetegurile

Tarbitava soojuse CO₂ eriheitetegur arvutati iga stenaariumi kohta lähtuvalt kasutatud kütuste osakaalust, kütuste eriheiteteguritest ja tootmise kasuteguritest. Arvutuste läbiviimiseks kasutati kütuste CO₂ eriheitetegureid, mis väljendavad toodetud soojuse kohta tekkivat heidet (kgCO₂/MWh). Stenaariumite sisendparameetrite alusel määrati iga kütuseliigi absoluutne heitmekogus, liideti kõikide kütuste heitmekogused, et leida summaarne heitmekogus stenaariumi kohta (t/aastas). Seejärel jagati kogu heitmekogus vastava stenaariumi tarbitud soojushulgaga (MWh/aastas), saades tarbitava soojuse CO₂ eriheiteteguri ühikuga tCO₂/MWh_{tarbimine}.

Arvutustes võeti eelduseks, et 2. Ja 3. stenaariumi koostootmisjaamades kasutatav kütus on taastuv biomass, mille kütuse eriheiteteguri väärtus on 0 kgCO₂/MWh. Taani Energiaagentuuri kaugküttetehnoloogiate andmete alusel pakutakse biomassi kasutatavate keskmiste suurustega jaamade soojuslikuks kasuteguriks väärtusi vahemikus 89-116% [57], autor on arvutuste läbiviimiseks teinud eelduse, et Tallinnas biomassil töötavate jaamade soojuslik kasutegur on keskmise väärtusega 105%. Maagaasikatla kasuteguri väärtuseks on arvutustes arvestatud 93% [44].

Olmejäätmete CO₂ eriheiteteguriks on kasvuhonegaaside riikliku inventuuri aruandes määratud 213 kgCO₂/MWh, mis sisaldab nii fossiilset kui ka taastuvat osa. Autor teeb arvutuste läbiviimisel eelduse, et taastuvate materjalide (nt bioloogiline jäätmeosa) osakaal olmejäätmetes on hinnanguliselt 42%, seega töös lähtuti ainult fossiilse osa eriheitetegurist, milleks on arvutatud 118,2 kgCO₂/MWh [32].

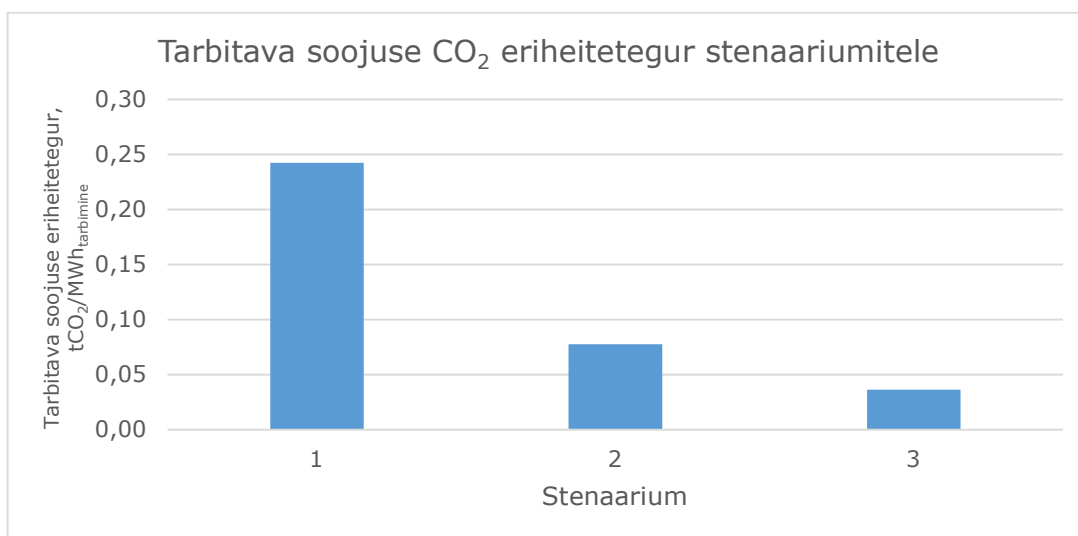
Tallinn 2030 stenaarium arvestab Paljasaare soojuspumbaama realiseerimist Tallinna ühtse võrgupiirkonna soojuse tootmises. Suurte soojuspumpade kasutamine kaugküttes on oluline, kuna need võimaldavad madalatemperatuuriliste ja taastuvate soojusallikate (nt merevesi, põhjavesi, heitsoojus) abil toota soojust kõrgema kasuteguriga. Kirjanduse põhjal on näidatud, et sellised süsteemid saavutavad tavapäraselt COP väärtuse vahemikus 3,0–4,0 sõltuvalt allikatemperatuurist ja süsteemi töörežiimist [7]. Antud arvutustes on võetud võetud aluseks vahemiku keskmine väärtus COP 3,5.

Tabel 5.7 Kaugkütte eriheitetegurite arvutused eri stenaariumitele

Näitaja	Ühik	Kütus	Stenaarium		
			1	2	3
			Mahla	Tallinn + Mahla 2025	Tallinn 2030
Toodang	MWh/aastas	-	22 000 [44]	1 928 000 [54]	1 928 000 [54]
Tarbimine	MWh/aastas	-	19 701	1 658 080	1 696 640
Kasutatav kütus osakaaluga	%	Maagaas	100	15	-
		Prügi	-	23	23
		Elekter	-	-	3
		Biomass	-	62	74
Tootmise kasutegur	%	Maagaas	93 [44]	93 [44]	-
		Prügi	-	85 [57]	85 [57]
		Elekter	-	-	350
		Biomass	-	105 [57]	105 [57]
Kütuse tarbimine toodetud energia kohta	MWh/aastas	Maagaas	23 656	310 968	-
		Prügi	-	521 694	521 694
		Elekter	-	-	16 526
		Biomass	-	1 138 438	1 358 781
Kütuste eriheitetegurid, q_{CO_2}	kgCO ₂ /MWh	Maagaas	201,8 [32]	201,8 [32]	-
		Prügi	-	118,2 [32]	118,2 [32]
		Elekter	-	-	450,0[58]
		Biomass	-	0[32]	0[32]
Heitme kogus	t/aastas	Maagaas	4 774	62 753	-
		Prügi	-	61 664	61 664
		Elekter	-	-	7 437
		Biomass	-	0	0
Heitme kogus kokku	t/aastas	-	4 774	124 418	69 101
Tarbitava soojuse CO ₂ eriheitetegur	tCO ₂ /MWh _{tarbimine}	-	0,24	0,08	0,04

Olemasolevas olukorras, kus Mahla piirkonna soojus toodetakse lokaalses maagaasil töötavas katlamajas, on tarbitava soojuse süsiniku eriheiteteguriks 0,24 tCO₂/MWh_{tarbimine}. See näitab, et fossiilkütusel põhinev lokaalne tootmine on seotud suhteliselt kõrge CO₂ heitmega, mis ei vasta Tallinna linna kliimanetraalsuse eesmärkidele.

Ühendades Mahla piirkond Tallinna võrgupiirkonnaga (2025. aasta olukorras), kus baaskoormusi katab peamiselt biomassil ja heitsoojusel põhinev soojus ning tipukoormusi maagaas, väheneb tarbitava soojuse süsiniku eriheitetegur 0,08 tCO₂/MWh_{tarbimine}-ni. Võrreldes olemasoleva olukorraga tähendab see ligikaudu kolm korda väiksemat CO₂ emissiooni tarbitud energiaühiku kohta. See muutus on oluline samm piirkonna süsiniku jalajälje vähendamisel ja Tallinna kaugkütte taastuenergia osakaalu kasvatamisel. Tulevikustsenaariumis, kus Tallinna kaugküttevõrk saavutab 2030. aastaks 100% taastuenergiat põhineva tootmise, langeb tarbitava soojuse süsiniku eriheitetegur veelgi – 0,04 tCO₂/MWh-ni. See tase tähendab, et võrreldes Mahla olemasoleva lokaalse lahendusega on süsinikuheide vähendatud kuuekordselt. Võrreldavate stenaariumite CO₂ eriheitetegurid on näidatud joonisel 5.6.



Joonis 5.6 Tarbitava soojuse CO₂ eriheitetegurid võrreldavatele stenaariumitele

5.5 Mastaabiefekti potentsiaali majanduslik hinnang

Toodetava soojuse omahind on oluline näitaja, mis kajastab soojusenergia tootmise ja jaotamisega seotud kulusid. See on aluseks kaugküttesoojuse piirhinna määramisel ning mõjutab otseselt tarbijatele esitatavat hinda. Kaugküttesoojuse hind kujuneb muutuv- ja püsikulude ning põhjendatud tulunormi koosmõjul. Muutuvkulud hõlmavad kütuse ostukulusid, sisseostetud soojuse kulusid, elektrienergia, vee- ja kanalisatsiooni ning kemikaalide ostukulusid. Püsikulud sisaldavad tegevuskulusid, nagu tööjõu-, hooldus- ja remondikulud, samuti põhivara kulumit ehk kapitalikulu. Lisaks arvestatakse põhjendatud tulukust ehk ärikasumit [59]. Muutuvkulude all mõistetakse kulusid, mis muutuvad soojuse tootmismahu muutusega [60]. Kaugküttepiirkondade hinnad võivad

varieeruda sõltuvalt mitmetest teguritest, sealhulgas kasutatavast kütuseliigist, tehnilisest efektiivsusest ja müüginahust [59].

WACC ehk kaalutud keskmine kapitali hind on näitaja, mis väljendab ettevõtte kapitali kogukulu, arvestades nii omakapitali kui ka võlakapitali hinda ning nende osakaalu kogukapitalis. Kaugküttevaldkonnas rakendab Konkurentsiamet WACC-i kui regulatiivse tulukuse määra arvestuse alusnäitajat, et tagada, et monopoolses seisundis kaugkütte ettevõtted ei saaks ülemäärast kasumit, kuid samal ajal oleks nende investeeringud piisavalt tasuvad ja jätkusuutlikud. Käesolevas magistritöös arvestatakse arvutustes Konkurentsiameti poolt kehtestatud 19.07.2023 määratud WACC väärtusega 6,26% [61].

Käesoleva magistritöö majandusliku tasuvuse uurimiseks võrreldi Mahla piirkonna kaugküttesoojuse tootmise omahinda Tallinna ühtse võrgupiirkonna muutuvkulude hinnale summeeritud investeeringukulude maksumusega. Kuna majandusliku hinnangu täpsustamiseks ei olnud võimalik kasutada päris tarbimis- ega kulustruktuuri andmeid, tuginevad koostatud arvutused hinnangulistele keskmistele väärtustele ning lihtsustatud eeldustele. Reaalsete tootmis- ja finantsandmete olemasolul oleks võimalik teostada detailsem ja usaldusväärsem majandusanalüüs, arvestades täpselt kasutatavaid komponente, koormusprofiile ning amortisatsiooniskeeme.

AS Utilitas Tallinna 2023. aasta konsolideeritud majandusaasta aruande põhjal olid ettevõtte muutuvkulud (kaubad, toore, materjal ja teenused) 131 757 miljonit eurot, mis moodustavad konsolideeritud müügitulust summaga 219 345 miljonit eurot, ligikaudu 60% [8]. Antud magistritöös kasutati lihtsustusena eelmainitud väärtust Konkurentsi ameti poolt kooskõlastatud piirhinnast Tallinna ühtse võrgupiirkonna soojuse muutuvkulu hinna leidmiseks ning Mahla piirkonna kaugküttesoojuse tootmise omahinna leidmiseks.

Mahla piirkonna soojuse tootmise omahind arvutati muutuvkulude baasil, millele summeriti püsikulud osakaaluga 40%. Arvestatud muutuvkulu komponent on maagaasi kulu ning selle kütusekasutusega seotud kulud (sh. maagaasi aktsiis, maagaasi edastamise tasud, CO₂ kvoodi hind). Vaadeldi perioodil 2022-2024 kehtinud keskmiseid maagaasi hindasid äritarbijale, sest maagaasi hind on sel ajal olnud väga volatiilne- 2022 ning 2024 aasta keskmised hinnad erinevad üle kahe korra. CO₂ kvoodi keskmise aastamaksumuse kalkulatsiooniks kasutati Tabel 5.7 arvutatud aastast CO₂ kogust Mahla piirkonnas. Seoses Adven Eesti AS katlamajade omandamisega AS Utilitas Tallinna Soojuse poolt, kehtib Mahla kaugküttevõrgus alates 01.10.2022 Tallinna ühtse võrgupiirkonna hind. Tabelis 5.8 on esitatud arvutatud Mahla piirkonna kaugküttesoojuse omahind aastatele 2022-2024.

Tabel 5.8 Mahla piirkonna kaugküttesoojuse tootmise omahind

Aasta		2022	2023	2024
Maagaasi hind	€/MWh	117,74[52]	70,06[52]	56,18[52]
Maagaasi erikaal normaaltingimustel	kg/m ³	0,72[62]	0,72[62]	0,72[62]
Maagaasi keskmine alumine kütteväärtus	kWh/m ³	10,22[63]	10,36[63]	10,45[63]
Maagaasi aktsiis	€/m ³	0,05[64]	0,05[64]	0,05[64]
Võrguteenuse tasu	€/MWh	0,36[65]	0,36[65]	0,36[65]
CO ₂ kvoodi keskmine aastamaksumus	€/tCO ₂	81,30[66]	85,3[66]	64[67]
Tarbitava soojuse CO ₂ kogus	tCO ₂ /aastas	4774	4774	4774
Strateegilise gaasivaru makse	€/MWh	0,73[68]	0,73[68]	0,73[68]
Soojuse toodang	MWh/aastas	22 000	22 000	22 000
Soojuse müük	MWh/aastas	19 700	19 700	19 700
Kaugkütte muutuvkulud aastas (60%)	€/aastas	3 105 262	2 074 057	1 666 136
Kaugkütte püsikulud aastas (40%)	€/aastas	1 242 105	829 623	666 455
Kulud kokku	€/aastas	4 347 366	2 903 680	2 332 591
Mahla piirkonna kooskõlastatud piirhind	€/MWh _{tarbimine}	169,65	79,04	75,87
Kaugkütte omahind	€/MWh _{tarbimine}	220,68	147,39	118,41

Alapeatükis 3.4.1 esitati kaugküttetorustiku ehitusmaksumuse hinnanguks väärtus 1250 €/jm kohta, siiski ei aresta nimetatud maksumus rajatava torustiku läbimõõtu, torutüüpi ega ehitusobjekti asukoha eripärasid, mis võivad mõjutada tegelikku ehitushinda märkimisväärselt. Üheks oluliseks projektimaksumust kujundavaks teguriks on ehituse asukoht. Ehitustööd tiheda liiklusega tänavatel nõuavad tänavate sulgemise tasu maksmist ning kaasnevad ulatuslikud kulud katendite taastamisele, mis tõstavad investeringu kogukulu [10].

Uuritava objekti puhul, Mahla piirkonnas, kulgeb projekteeritav kaugküttetorustik valdavalt magistraaltänavatel, sealhulgas Männiku teel ja Pärnu maanteel. Lisaks on

projektis ette nähtud puurimistöõde teostamine kahes asukohas, mis lisab projekti täiendavaid kulukomponente. Seetõttu leiab käesoleva töö autor, et Mahla torustiku puhul tuleb arvestada võimalusega, et reaalsed investeerimiskulud ületavad tüüpilise keskmise maksumuse. Investeeringu võimaliku varieeruvuse hindamiseks on koostatud tundlikkuse analüüs, mis võimaldab hinnata projekti majandusliku tasuvuse tundlikkust investeerimiskulu muutuste suhtes. Arvutustes käsitleti investeeringu maksumuse hindamiseks järgmiseid suuruseid:

1. ehitusmaksumus 1250 €/jm
2. ehitusmaksumus 20% võrra suurem ehk 1500 €/jm
3. ehitusmaksumus 40% võrra suurem ehk 1750 €/jm.

Mahla piirkonna liitmisel Tallinna kaugküttevõrguga jäävad püsikulud muutumatuks, kuna need on seotud Tallinna võrgu olemasoleva struktuuriga ja neid ei kanta liidetava piirkonna tarbijate peale üle. Seega muutub Mahla piirkonna vaates oluliseks üksnes ostetava soojuse muutuvkulude komponent. Majanduslikku mõistlikkust hinnatakse läbi soojuse omahinna võrdluse: kui Mahla piirkonna soojuse omahind (koos olemasolevate püsikuludega) on kõrgem kui uue liitumislahenduse puhul tekkiv investeeringu kulu ja Tallinna võrgu muutuvkulude summa, on projekti realiseerimine põhjendatud.

Kõikides analüüsitud ehitusmaksumuse stsenaariumites on võrgu tootmiskaht 22 000 MWh/aastas ja tarbimiskaht 19 700 MWh/aastas. Investeeringu, ehk rajatava torustiku pikkuseks on 3872 meetrit. Esimese stsenaariumi ehitusmaksumuseks kujunes arvutuste alusel 4 840 000 eurot, teises ja kolmanda stsenaariumi jaoks vastavalt 5 808 000 eurot ja 6 776 000 eurot. Kõigis stsenaariumites on tehniline eluiga määratud 30 aastale ning kaalutud keskmine kapitali hind (WACC) 6,26%. Nende väärtuste põhjal arvutati amortisatsioon ja põhjendatud tulukus. Tallinna ühtse võrgupiirkonna muutuvkulude leidmiseks kasutati kõikides stsenaariumites väärtust 77,82 €/MWh (kooskõlastatud lõpptarbijahinnad 09.04.2025 seisuga), millest muutuvkulude komponent moodustab 46,69 €/MWh. Investeeringute ja muutuvkulude summana kujuneb soojuse hind vastavalt 70,26 €/MWh, 74,98 €/MWh ja 79,69 €/MWh, olenevalt valitud investeeringustsenaariumist. Kirjeldatud arvutused stsenaariumitele on esitatud tabelis 5.9.

Tabel 5.9 Mahla piirkonna liitmine Tallinna võrgupiirkonnaga - muutuvkulude prognoos erinevate ehitismaksumuste korral

Näitaja	Ühik	Ehitus- maksumuse stenaarium 1	Ehitus- maksumuse stenaarium 2	Ehitus- maksumuse stenaarium 3
Tootmine	MWh/aastas	22 000[44]	22 000 [44]	22 000 [44]
Tarbimine	MWh/aastas	19 700 [44]	19 700 [44]	19 700 [44]
Ehitus-maksumus	€/jm	1250[10]	1500	1750
Rajatava torustiku pikkus	m	3872[69]	3872[69]	3872 [69]
Investeeringu maksumus	€	4 840 000	5 808 000	6 776 000
Tehniline eluiga	aastat	30[45]	30 [45]	30 [45]
WACC	%	6,26[61]	6,26[61]	6,26[61]
Amortatsioon	€/aastas	161 333	193 600	225 867
Põhjendatud tulukus	€/aastas	302 984	393 879	424 178
Kulud kokku	€/aastas	464 317	603 613	650 044
Torustiku mõju soojuse hinnale	€/MWh _{tarbimine}	23,57	28,28	33,00
Tallinna Võrgupiirkonna kooskõlastatud hind	€/MWh	77,82[70]	77,82[70]	77,82[70]
Tallinna Võrgupiirkonna kooskõlastatud hinna muutuvkulud	€/MWh	46,69	46,69	46,69
Investeeringu ning muutuvkulude summeeritud hind	€/MWh	70,26	74,98	79,69

Tabelis esitatud analüüsi põhjal on projekti tasuvust enim mõjutavad tegurid ehitismaksumus ning rajatava torustiku pikkus, millest kujuneb investeeringu kogumaksumus, ning Tallinna võrgupiirkonna kooskõlastatud hind, mille kaudu määratakse hinna muutuvkulude osakaal. Ehitismaksumus määrab rajatava torustiku kogukulu ja sellest tuleneva aastase kapitalikulu (amortisatsioon ja põhjendatud tulukus), samas kui võrgupiirkonna hind koos muutuvkulude komponendiga määrab ära soojuse edaspidise ostuhinna.

Võttes võrdluse aluseks madalaima Mahla piirkonna kaugkütte arvutuslik omahinna, mille väärtus on 118,41 €/MWh, saab leida ka millise investeeringu maksumuse ja Tallinna võrgupiirkonna kooskõlastatud hinna korral ei oleks projekti realiseerimine arvutuste aluseks võetud andmete puhul mõistlik. Arvutuste põhjal on Mahla piirkonna kaugküttevõrgu liitmine Tallinna kaugküttevõrguga on majanduslikult põhjendatud seni, kuni investeeringu kogumaksumus jääb alla 14,72 miljoni euro või kui Tallinna võrgupiirkonna kooskõlastatud hind ei ületa 158,07 €/MWh arvutuste aluseks võetud ehitismaksumuse juures. Sellised piirväärtused tagavad, et uue torustiku investeeringu ning muutuvkulude summa jääb madalamaks arvutuslikust Mahla piirkonna kaugkütte omahinnast 2024. aastal (118,41 €/MWh).

Arvutatud kolme ehitismaksumuse stsenaariumi alusel selgub, et sõltumata torustiku rajamise investeeringu tasemest jääb projekti „Investeeringu ning muutuvkulude summeeritud hind“ kõigil juhtudel madalamaks võrreldes Mahla piirkonna kaugkütte omahinnaga erinevate gaasihinna stsenaariumite korral. Mahla piirkonna kaugkütte arvutuslik omahind oli 2022. aastal 220,68 €/MWh, 2023. aastal 147,39 €/MWh ning 2024. aastal 118,41 €/MWh, samal ajal kui liitumise korral Tallinna kaugküttevõrguga kujunes projekti summaarne hind vahemikku 70,26–79,69 €/MWh sõltuvalt valitud investeeringustsenaariumist. Seetõttu võib järeldada, et Mahla piirkonna liitmine Tallinna kaugküttevõrguga on majanduslikult põhjendatud, kuna ühendamise tulemusel on võimalik saavutada madalam soojuse hind võrreldes olemasoleva lokaalse lahendusega ka erinevate maagaasi hinnastsenaariumite tingimustes

Tarbimistihedus kaugküttevõrgus on oluline näitaja võrgu efektiivsuse ja investeeringu tasuvuse hindamisel. Mahla piirkonna aastane normaliseeritud soojusenergia tarbimine on ligikaudu 22 000 MWh. Täna olukorras on piirkonna kaugkütetorustiku kogupikkus 5770 meetrit, mille põhjal kujuneks võrgu tarbimistiheduseks ligikaudu 3,81 MWh/m. Pärast piirkonna liitmist lisanduks võrgule 3872 meetrit uut torustikku, millega kogu torustiku pikkus ulatub 9642 meetrini. Kuna uusi tarbijaid ei lisandu ja kogu aastane soojuse tarbimine jääb endiseks, langeb võrgu tarbimistihedus uues olukorras umbes 2,28 MWh/m, mis on siiski üle kahe korra kõrgem võrgupiirkonna efektiivsuspiiri säilitamiseks esitatud soovitud [28].

Tuleb arvestada, et koostatud arvutused ei hõlma täiendavalt tekkivaid soojuskadusid, mis tulenevad Mahla piirkonda rajatavast 3872 meetri pikkusest torustikust ning nende mõju kogu Tallinna ühtse võrgupiirkonna efektiivsusele. Samuti ei võta arvutused arvesse võimalike uute tarbijate liitumisest tulenevaid rahavoogude muutusi, sealhulgas liitumisharude rajamise kulusid ega laekuvaid liitumistasusid. Need täiendavad tegurid

mõjutavad nii projekti kogumajanduslikku tasuvust kui ka kaugküttevõrgu pikaajalist tulupotentsiaali.

Lisaks ehitusmaksumuse ja investeeringu kogumaksumuse otsesele mõjule mõjutab projekti maksumust oluliselt ka see, kas torustiku rajamine toimub koostöös teiste võrguvaldajate või kohaliku omavalitsusega. Koordineeritud tööde korral on võimalik jagada katendite taastamise kulusid mitme osapoole vahel, mis vähendab ühe võrgu rajaja jaoks kulude kogusummat [10]. Näiteks juhul, kui torutööd viiakse läbi samaaegselt vee- ja kanalisatsioonitrasside, elektri- või tänavavalgustuse rekonstrueerimisega, on võimalik säästa märkimisväärselt katendite avamisest ja taastamisest tekkivaid kulusid. Antud majanduslikus hinnangus pole arvestatud ehituskulude jagamisega AS Tallinna Vesi ning AS Utilitas Tallinna Soojuse vahel Elektroni tänaval.

6. KAUGKÜTTEVÕRKUDE ÜHENDAMINE TALLINNAS

Tallinna kaugkütte areng on toimunud mitmes etapis, alates esimestest kaugküttevõrkudest 1950ndatel aastatel kuni tänapäevani välja, mil valdavalt on liigutud ühtse, suures osas taastuvkütustel põhineva kaugküttevõrgu suunas [7]. Väikeste eraldiseisvate võrgupiirkondade ühendamine Tallinna põhivõrguga on osa strateegiast, mille eesmärk on suurendada energiatõhusust, parandada varustuskindlust ja vähendada keskkonnamõju, saavutamaks kliimaneutraalsuse eesmärgid aastaks 2050.

Tallinna teistes väiksemates kaugküttepiirkondades on sarnane potentsiaal olemas, eeldusel, et suudetakse kontrolli all hoida rajatavate trasside pikkused ja saavutada piisav tarbijate arv. Ühendades väiksemad võrgud ühtsesse süsteemi, vähendatakse lisaks energiatõhususe kasvule ka üldiseid käituskulusid, kuna hajutatud ja väikese kasuteguriga lokaalkatlamajade asemel kasutatakse suuremahulisi tõhusaid tootmisjaamu, mis suudavad pakkuda taastuvatest allikatest pärit soojust madalama keskkonnamõjuga.

6.1 Tehnilised piirangud ja lahendused

Võrkude ühendamine Tallinna linnas seab mitmeid tehnilisi väljakutseid, millest kõige olulisemad on seotud trasside rajamise keerukusega ja olemasoleva linnaruumiga. Paljud väiksemad kaugküttepiirkonnad paiknevad tiheda hoonestusega aladel või geograafiliselt keerukates kohtades, näiteks kõrgematel aladel, kus võrkude ühendamine eeldab täiendavaid investeeringuid pumplate rajamiseks.

Linnatänavatel on suurimaks tehnilisteks piiranguks vajadus arvestada olemasolevate tehnovõrkudega, liiklustihedusega magistraaltänavatel ja raudtee ületuste ning kaitsealuste alade läbimise piirangutega ning nendele esitatavate nõuetega. Samuti on sageli probleemiks sobivate trassikoridoride leidmine, eriti eramajade piirkondades, kus kinnistuomanike vastuseis võib projekti realiseerimist raskendada või kallimaks muuta.

Mahla projekti näitel ilmnes, et suurt mõju avaldab olemasoleva Tallinna ühtse võrgupiirkonna võrgus teostavad ning realiseeritavad muudatused ning vajadus leida optimaalne tasakaal prognoositava koormuse jaoks piirkonnas ja investeeringu suuruse vahel. Mahla piirkonna puhul viidi trasside läbimõõtude valik kooskõlla eeldatava tulevase tarbimise ja olemasolevate tootmisvõimsustega Tallinna põhivõrgus, võttes arvesse ka Paljassaare soojuspumbajaama valmimist.

Kokkuvõttes võib öelda, et tehnilised piirangud Tallinna väikeste võrkude ühendamisel on küll olulised, kuid enamik neist on ületatavad sobiva planeerimise, tehnilise lahenduse valiku ja varajase koordineerimise abil. Mahla piirkonna liitmise kogemus kinnitab, et hoolika projekteerimise ja läbirääkimiste korral on võimalik realiseerida ka keerukamaid ühendusprojekte mõistliku kulutaseme ja ajaressursi piires.

6.2 Hinnang mastaabiefekti rakendamise potentsiaalile Tallinna piirkondades

Mahla piirkonna näitel läbi viidud arvutused kinnitavad, et väikese kaugküttepiirkonna ühendamine Tallinna ühtsesse kaugküttevõrku võimaldab saavutada energiasäästu, vähendada CO₂ heidet ning parandada varustuskindlust ja tagada soojuse hinna stabiilsust tarbijatele. Arvutuste põhjal saavutati Mahla piirkonna ühendamisel Tallinna ühtse võrgupiirkonnaga maagaasi tarbimise vähenemine ligikaudu 29% võrreldes lokaalse gaasikatlamaja lahendusega. Samuti vähenes tarbitava soojuse süsiniku eriheitegur kolmekordselt ning saavutati kaalumisteguri alusel hinnatud energiasääst ligikaudu 28%. Lisaks vähenes arvutuslik soojuse tootmise hind võrreldes lokaalse lahenduse tootmise omahinnaga erinevate maagaasi hinnastsenaariumite korral.

Analüüsidest teisi Tallinna väikseid kaugküttepiirkondi, saab esmase vaatluse põhjal oletada, et Västriku 33 ja Kasvu 16 katlamajad on potentsiaalid piirkonnad Tallinna võrguga ühendamiseks. Nendes piirkondades on olemasolev soojuskoormus piisav ja kaugus Tallinna põhivõrgust väike, mis tähendab väiksemaid investeerimiskulusid. Metsavahi tee 19 ning Uus-Maleva 2b piirkonnad on samuti perspektiivikad kandidaadid-kuigi katlamajade ühendamiseks vajalik trassipikkus oleks eelmainitutest pikem, on katlamajade soojuskoormus ka kõrgem, tagades ühendamisega realiseeritava, piisava tarbimistiheduse säilimise.

Põllu põik 4 piirkond erineb analüüsis aluseks võetud katlamajadest, kuna katlamajas on juba osalise kütusena kasutusel biogaas. Selle tõttu on piirkonna süsinikujalajälj väiksem kui tüüpilistes maagaasil töötavates süsteemides ning vajadus kiireks liitmiseks ei ole nii kriitiline.

Täpsemaks mastaabiefekti rakendamise potentsiaali hindamiseks Tallinna väikeste kaugküttevõrkude ühendamise kontekstis on vajalik läbi viia iga piirkonna kohta eraldi detailne analüüs, mis tugineb kohalikele sisendandmetele ning arvestab võrgu tehnilisi, majanduslikke ja keskkonnaalaseid iseärasusi. Ainult piirkonnaspetsiifilise modelleerimise ja stsenaariumipõhise võrdluse abil on võimalik teha põhjendatud

järeldusi ühendamise otstarbekuse, energiasäästu, süsinikuheitmete vähenemise ja investeringute tasuvuse kohta.

6.2.1 Alternatiivid fossiilsetele kütustele

Tallinna väikeste kaugküttepiirkondades fossiilkütustest loobumise vaates saab kaaluda mitmeid tehnoloogilisi alternatiive. Käesoleva magistritöö raames viidi läbi intervjuu AS Utilitas Tallinna Soojuse uuringute juhiga Eduard Latõšoviga, kes tõi välja, et Mahla piirkonna näitel saaks väikeste kaugküttevõrkude liitmisel kaaluda kahte peamist alternatiivset lahendust: soojuspumpade kasutuselevõttu või biokütuste kasutuselevõttu. Viimase stenaariumi realiseerimine eeldab ka uue katlamaja rajamist.

Ühe võimaliku lahendusena tõi Latõšov välja õhk-vesi või vesi-vesi tüüpi soojuspumbad. Soojuspumbad kasutavad madala temperatuuriga looduslikke allikaid (nt välisõhk, põhjavesi või reovesi) ja tõstavad nende temperatuuri kompressori abil kõrgemale tasemele, et tagada hoonete kütmiseks vajalik soojus. Soojuspumba efektiivsust väljendab soojustegur (COP – coefficient of performance), mis tippklassi seadmetel jääb tavaliselt vahemikku 3–4, võimaldades 1 kWh elektrienergia abil toota 3–4 kWh soojusenergiat [7].

Teise alternatiivina tõi Latõšov välja biokütusel (nt hakkpuidul) töötava katlamaja rajamise võimaluse. Biokütusekatlamajas toodetakse soojust biomassi põletamise teel, kus vabanev energia soojendab vett või muud soojuskandjat kaugküttetorustikus. Biomassi eeliseks on selle taastuvus ja suhteliselt madal süsiniku jalajälg. Näiteks puiduhake kui kütus on laialdaselt kättesaadav ja võimaldab arvestatavat sõltumatust fossiilkütuste hinnakõikumistest [7].

Uuritava objekti puhul Mahla piirkonnas võiks Latõšovi sõnul biokütustel töötava katlamaja rajamise lahendus olla majanduslikult konkurentsivõimeline antud töös uuritava, Mahla kaugküttetorustiku ühendamisega Tallinna ühtsesse võrgupiirkonnaga, kuid praktiliseks takistuseks on olemasoleva krundi väiksus – biokütusel töötav katlamaja koos vajalike lisaseadmetega ei mahuks olemasolevale kinnistule ära. Alternatiivina oleks vaja leida uus sobiv maa-ala, näiteks lähedalasuva tehнопargi piirkonnas, kuid see tähendaks täiendavat trasside rajamist ning kokkulepete saavutamist maaomanikega, mis suurendaks investeringu kogukulu ja muudaks projekti keerukamaks.

Hinnates alternatiivsete lahenduste majanduslikku tasuvust rõhutas Latõšov, et lõpptarbija soojuse omahind on oluline näitaja – igale alternatiivile tuleks välja arvutada investeerimiskulud, püsikulud ja kujunev lõpphind tarbijale, et võrrelda erinevaid

variante objektiivselt. Kuigi hakkepuidukatlamaja variant võiks oma olemuselt olla hea lahendus, jäävad selle puhul mitmed investeerimisriskid ja ebakindlused – näiteks täpsed krundi maksumused ja taristulahendused – praegu määramata

6.3 Ettepanekud

Mahla kaugküttevõrgu ühendamine Tallinna ühtse võrgupiirkonnaga illustreerib selgelt, et kaugküttevõrkude ühendamine ei ole pelgalt tehniline infrastruktuuriprojekt, vaid kannab laiemat avalikku huvi. Ühendamise kaudu saavutatakse mitmeid Tallinna linna kliimapoliitikas seatud eesmärgi: suurendatakse taastuvenergia osakaalu, vähendatakse sõltuvust maagaasist ning tagatakse tarbijatele soodsam ja stabiilsem küttehind. Lisaks vähenevad CO₂ heitmed ja primaarenergia kulu, mis kinnitab, et tegemist on avalikkuse huvides teostatava investeeringuga nii keskkonnaalases, majanduslikus kui varustuskindluse tähenduses.

Mahla projekti näitel on näha, et avalik huvi ei väljendu täna aga menetlusprotsessides piisavalt selgelt. Kui esialgne trass oli planeeritud Järve Kaubanduskeskuse kinnistule, mille kaugküttesse ühendamine oleks olnud majanduslikult ja tehniliselt põhjendatud, siis projekteerimistingimuste menetluse käigus lükkas kinnistuomanik trassiplaani tagasi. KOV tagastas projekteerimistingimuste taotluse tuginedes omaniku vastuseisule. Uue trassivariandi osas keeldus KOV samuti projekteerimistingimuste väljastamisest, põhjendades seda asjaoluga, et tegemist ei ole avalikku olulist huvi esindava objektiga. Ometi on kaugküttevõrgu ühendamine linna kehtivas kliimakavas otseselt seatud tegevusena ning projektis realiseeritavad CO₂ ja primaarenergia vähenemised kinnitavad avalikku mõju mõõdetavate näitajate kaudu.

Käesoleva töö autori hinnangul viitab see olukord puudujäägile menetluspraktikas – kui tegevus toetab selgelt riiklikke ja kohalikke energiapolitiika eesmärgi, peaks selle käsitlemine „olulise avaliku huviga objektina“ olema vaikimisi eeldatav. Eriti olukordades, kus kaugküttesse ühendamisega kaasnevad investeeringud tehakse erasektori ja/või toetuste abil ning omavalitsus ei pea kulusid kandma, kuid saab kasu regionaalse CO₂-heitme vähenemisest ja energiapuudulikkuse kasvatusest.

Seetõttu on põhjendatud ettepanek, et edaspidi võiksid kohalikud omavalitsused (KOVid) ise võtta senisest aktiivsema rolli suhtluses kinnistuomanikega, eriti kui on tegemist munitsipaalomandi, suure energiatarbega hoonete või olulise liitumiskoridori aladega. Tänapäevane praktika, kus kogu läbirääkimiste ja kokkulepete vastutus lasub projekteerijal, ei ole jätkusuutlik – see võib takistada avalikes huvides olevate investeeringute realiseerimist.

Lisaks esitatud ettepanekule menetluspraktikas võiks kaaluda ka võimalust laiendada käesolevas magistritöös kasutatud analüüsi teistele väiksematele kaugküttevõrkudele Tallinnas. Näiteks võiks samade meetodiliste põhimõtete alusel hinnata teiste Adven Eesti AS-lt üle võetud katlamajade liitmise potentsiaali Tallinna ühtse kaugküttevõrguga. Selline võrdlev analüüs võimaldaks välja tuua piirkondlikke eripärasid, takistusi ja kitsaskohti, aga ka korduvaid mustreid ning ühiseid edutegureid. Võrdlus Mahla piirkonna tulemuste ja muude piirkondade vahel looks aluse järeldele, millised projektid on tehniliselt ja majanduslikult kõige perspektiivikamad ning millised aspektid vajavad suuremat KOV või võrguvaldaja tuge.

KOKKUVÕTE

Käesoleva magistritöö eesmärk oli hinnata väikese lokaalse kaugküttepiirkonna – Mahla katlamaja piirkonna – liitmise mõju Tallinna ühtse kaugküttevõrguga. Töö keskendus sellele, kas sellise ühenduse kaudu võib ilmnedada mastaabiefekt, mis avaldub primaarenergia säästus, süsinikuheite vähenemises ning stabiilsemas soojuse hinnas tarbijale. Viimase hindamiseks võrreldi olemasolevas olukorras tootmise omahinda realiseeritava projekti investeerimiskulude arvutusliku hinnaga. Töös analüüsiti kolme stsenaariumi: olemasolev olukord lokaalse maagaasil töötava katlamajaga, ühendus Tallinna kaugküttevõrguga seisuga 2025 (osaliselt taastuenergia baasil) ning tulevikustsenaarium aastaks 2030, mil Tallinna kaugküte põhineb 100% taastuvatel energiaallikatel.

Primaarenergia säästu all käsitleti antud töös maagaasi kasutuse vähenemist. Kuna olemasolevas Mahla piirkonnas toodetakse soojus täielikult maagaasist, on selle fossiilkütuse asendamine Tallinna kaugkütte taastuenergia baasil toodetud soojusega töö peamine energiasäästu indikaator. Arvutused viidi läbi normaliseeritud aasta tingimustes, võttes arvesse süsteemi kasutegureid ja jaotusvõrgu soojuskadusid. Arvutuste läbiviimiseks koostati mudel Microsoft Exceli programmis, võttes aluseks Tallinna ühtsele kaugküttevõrgule tehtud lihtsustused jaamade töötamise prioriteetsuse osas.

Stsenaariumipõhise arvutuse tulemusel selgus, et maagaasi kulu väheneb Mahla piirkonna liitmisel Tallinna võrguga 6457 MWh aastas, mis tähendab 29% primaarenergia säästu. Tulevikustsenaariumis (2030), kus kogu Tallinna kaugküte baseerub taastuenergial, oleks sääst maagaasi osas 100%, sest kogu soojus toodetaks ilma fossiilsete kütuseid kasutamata. Ka kaalumisteguripõhine hindamine, mis on kasutusel hoonete energiamärgise määramisel, kinnitas energiatõhususe paranemist – kaalumisteguriga korrigeeritud energiatarbimine väheneks liitumisel 28% võrra.

CO₂ heite aspektist kujunes Mahla piirkonna lokaalse tootmise süsiniku eriheitiks 0,24 tCO₂/MWh. Pärast liitumist Tallinna kaugküttevõrguga (2025. aasta seisuga) langeks see näitaja 0,08 tCO₂/MWh-le ning tulevikus 0,04 tCO₂/MWh-le. See tähendab vastavalt kolme- ja kuuekordset süsinikuheite vähenemist tarbitud energiaühiku kohta, aidates märkimisväärselt kaasa Tallinna kliimanetraalsuse eesmärkide saavutamisele.

Majanduslikus osas viidi läbi tasuvusanalüüs kolme investearingu maksumuse stsenaariumi põhjal, kus ehitusmaksumuse hindadeks võeti vastavalt 1250, 1500 ja 1750 €/jm. Arvutused näitasid, et isegi kõige kallima ehitusmaksumuse korral jäi

kaugkütteliitumise kogukulu (investeering koos Tallinna kaugkütte muutuvkuludega) alla Mahla piirkonna lokaalse tootmise omahinnale. Mahla omahind 2024. aasta seisuga oli 118,41 €/MWh, samas kui Tallinna võrgu hind jäi vahemikku 70,26–79,69 €/MWh sõltuvalt investeeringustenaariumist. Sellest võib järeldada, et ühendus Tallinna kaugküttevõrguga on majanduslikult põhjendatud ka konservatiivsete eelduste korral.

Lisaks kvantitatiivsetele tulemustele käsitles töö ka reaalse projekteerimise ja trassikoridori leidmisega seotud takistusi. Praktikas ilmnisid mitmed väljakutsed seoses kinnistuomanike keeldumiste, tehnovõrkude kooskõlastustega ja KOVi passiivse rolliga planeerimisprotsessis. Töö autor osales torustiku projekteerimises ning kogutud kogemused võimaldasid siduda arvutusliku analüüsi rakendusliku vaatega. Töös tõstatati ka vajadus määratleda kaugkütteühendused kohaliku omavalitsuse poolt „avalikku huvi esindavateks projektideks“, et tagada neile eelisjärjekord menetluspraktikas.

Mahla projekti tulemused on rakendatavad ka mitmes teises Tallinna väiksemas kaugküttepiirkonnas. Sarnaste piirkondade (nt Västriku 33, Kasvu 16, Metsavahi tee 19 jt) ühendamisel võiksid ilmnedä võrreldavad energiasäästlikkuse ja keskkonnamõju vähenemise efektid. Täpse mõju hindamiseks on vajalik piirkonnaspetsiifiline analüüs, mis tuginema sarnasele metoodikale nagu käesolevas töös kasutati.

Töö tulemused kinnitavad, et väikeste kaugküttepiirkondade ühendamine Tallinna ühtse kaugküttevõrguga on tehniliselt teostatav, majanduslikult põhjendatud ja keskkonnamõjude vähendamiseks vajalik. See eeldab aga tõhusamat koostööd kohalike omavalitsustega ning süsteemsemat planeerimist, et tagada sarnaste projektide elluviimine sujuvalt ja õigel ajal.

ABSTRACT

The objective of this master's thesis was to assess the impact of integrating a small local district heating area – the Mahla boilerhouse area – into the unified district heating network of Tallinn. The work focused on evaluating whether such integration could generate a scale effect, reflected in reduced primary energy consumption, lower CO₂ emissions, and more stable heating prices for end users. To assess the latter, the production cost in the current situation was compared with the calculated investment-related costs of the integration project. The analysis was based on three scenarios: the current situation with local natural gas-based heat production, connection to Tallinn's district heating network as of 2025 (partly renewable), and a future scenario for the year 2030 where Tallinn's district heating is based entirely on renewable energy sources.

In this thesis, primary energy savings were evaluated through the reduction in natural gas use. Since the existing Mahla system produces heat entirely from natural gas, the replacement of this fossil fuel with heat generated from renewable sources within the Tallinn network served as the main indicator of energy savings. Calculations were performed under normalized annual conditions, taking into account system efficiencies and distribution losses. The model was developed in Microsoft Excel, based on simplified assumptions about production unit priorities in the Tallinn district heating network.

Scenario-based calculations showed that natural gas consumption in the Mahla area would decrease by 6457 MWh per year after connecting to the Tallinn network, resulting in a 29% reduction in primary energy usage. In the future scenario (2030), where the entire heat supply is renewable, the natural gas use would drop to zero, achieving 100% savings in fossil fuel consumption. Furthermore, the analysis using energy weighting factors—applied in Estonia for calculating building energy performance certificates—confirmed improved energy efficiency, showing a 28% reduction in weighted energy use after integration.

Regarding CO₂ emissions, the specific emission factor of the existing Mahla system was calculated at 0,24 tCO₂/MWh. Upon connection to Tallinn's network (as of 2025), the emission factor would fall to 0,08 tCO₂/MWh, and further down to 0,04 tCO₂/MWh in the 2030 scenario. This indicates a three- to sixfold reduction in carbon emissions per unit of energy consumed, contributing significantly to Tallinn's climate neutrality goals.

The economic analysis included three investment cost scenarios, using pipe installation costs of 1250, 1500, and 1750 €/m. The results showed that even in the most expensive

case, the total cost of district heating integration (investment plus variable costs in the Tallinn network) remained lower than the current production cost in Mahla. In 2024, the unit cost of locally produced heat was 118,41 €/MWh, whereas the cost after integration would range between 70,26 and 79,69 €/MWh, depending on the scenario. This demonstrates that integration is economically justified, even under conservative assumptions.

In addition to the quantitative analysis, the thesis discussed real-world planning and permitting challenges encountered during the design phase. Practical obstacles included refusals from property owners, coordination with existing utility networks, and the limited support from local authorities in defining district heating as a “project of public interest.” The author participated directly in the design process of the Mahla pipeline, which enabled the thesis to integrate analytical results with practical insights. The study also highlights the need for municipalities to formally recognize district heating interconnections as public interest projects, ensuring prioritization in permitting procedures.

The findings from the Mahla project can be extended to other small district heating areas in Tallinn. Similar conditions—such as low consumer density, gas-based production, and proximity to the main network—exist in areas like Västriku 33, Kasvu 16, and Metsavahitee 19. However, a detailed, location-specific analysis would be required for each, applying the same methodology used in this study.

The results confirm that connecting small district heating areas to Tallinn’s unified district heating network is technically feasible, economically viable, and environmentally beneficial. However, successful implementation requires stronger cooperation with local authorities and a more systematic planning approach to ensure timely execution of similar integration projects.

KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU

- [1] Tallinna Strateegiakeskus and Rohepöörde kompetentsikeskus, "Kliimanutraalne Tallinn Tallinna säästva energiamajanduse ja kliimamuutustega kohanemise kava 2030."
- [2] "Soojusmajanduse arendamine kohalikes omavalitsustes."
- [3] Arengufond, "Kaugkütte energiasääst.," 2013.
- [4] "Kaugkütteseadus–Riigi Teataja." Accessed: Feb. 21, 2025. [Online]. Available: <https://www.riigiteataja.ee/akt/13349182>
- [5] "Tallinn arvudes," 2022, Accessed: Apr. 29, 2025. [Online]. Available: <https://www.tallinn.ee/et/tallinn-arvudes>
- [6] Kaugküte, Energiatalgud. Accessed: Feb. 21, 2025. [Online]. Available: <https://energiatalgud.ee/Kaugk%C3%BCte?category=679>
- [7] A. Volkova, E. Latõšov, V. Mašatin, I. Krupenski, A. Siirde, and J. Kaugküte, "Jätkusuutlik kaugküte." Tallinn, 2022.
- [8] AS Utilitas Tallinn, "2023. aasta konsolideeritud majandusaasta aruanne," 2023.
- [9] AS Utilitas Tallinn, "2022. aasta konsolideeritud majandusaasta aruanne," 2022.
- [10] O. Randmäe, "Tallinna kaugküttevõrgu arendamine: optimaalsed lahendused ja Kopli poolsaare arengu potentsiaal," TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL, Tallinn, 2025.
- [11] HeatConsult OÜ, "Tallinna võrgukaart. HeatConsult OÜ sisedokumendid.," 2025.
- [12] M. Otsmaa and J. Salme, "Tallinn: Utilitase plaanitav soojuspumbajaam tooks randa vetika- ja haisuprobleemi | Eesti | ERR." Accessed: Mar. 25, 2025. [Online]. Available: <https://www.err.ee/1609501048/tallinn-utilitase-plaanitav-soojuspumbajaam-tooks-randa-vetika-ja-haisuprobleemi>
- [13] "Tallinna linn ja Utilitas loovad ühisettevõtte | Tallinn." Accessed: Feb. 24, 2025. [Online]. Available: <https://www.tallinn.ee/et/uudis/tallinna-linn-ja-utilitas-loovad-uhisettevotte>
- [14] "Konkurentsiamet andis Utilitasele loa Tallinna Soojuse ülevõtmiseks | Majandus | ERR." Accessed: Feb. 24, 2025. [Online]. Available: <https://www.err.ee/1609044461/konkurentsiamet-andis-utilitasele-loa-tallinna-soojuse-ulevotmiseks>
- [15] "Adven ja Utilitas sõlmisid eelkokkuleppe kaugkütte võrgupiirkondade ühendamiseks Tallinnas - Utilitas." Accessed: Feb. 24, 2025. [Online]. Available: <https://utilitas.ee/adven-ja-utilitas-solmisid-eelkokkuleppe-kaugkutte-vorgupiirkondade-uhendamiseks-tallinnas/>
- [16] "Adveni võrgupiirkondade kaugküttekliendid liitusid Utilitase võrgupiirkonnaga | Konkurentsiamet." Accessed: Feb. 24, 2025. [Online]. Available:

- <https://www.konkurentsiamet.ee/uudised/adveni-vorgupiirkondade-kaugkuttekliendid-liitusid-utilitase-vorgupiikonnaga>
- [17] Adven Eesti AS, "Hooldatavate katlamajade parameetrid," Tallinn, 2025.
- [18] "Teabenõue konkurentsiametile. Kooskõlastatud kaugkütte piirhinnad Mahla piirkonnas perioodil 2014-2024." [Online]. Available: www.konkurentsiamet.ee
- [19] "Soojus | Konkurentsiamet." Accessed: Mar. 17, 2025. [Online]. Available: <https://www.konkurentsiamet.ee/elekter-gaas-soojus-ja-vesi/soojus/soojuse-valdkonna-tutvustus>
- [20] "Tallinna arengudokumentid | Tallinn." Accessed: Feb. 23, 2025. [Online]. Available: <https://www.tallinn.ee/et/strateegia/arengudokumentid>
- [21] "Tallinna kaugküttepiirkonna piirid, kaugküttevõrguga liitumise ja sellest eraldumise tingimused ja kord, kaugkütte üldised kvaliteedinõuded ja võrguettevõtja arenduskohustus–Riigi Teataja." Accessed: Mar. 17, 2025. [Online]. Available: <https://www.riigiteataja.ee/akt/424052017005>
- [22] "Euroopa Liidu ühtekuuluvus- ja siseturvalisuspoliitika fondid | Riigi Tugiteenuste keskus." Accessed: Feb. 25, 2025. [Online]. Available: <https://rtk.ee/toetused-ja-taotlemine/toetusfondid-ja-programmid/uhtekuuluvus-ja-siseturvalisuspoliitika-fondid#fondid>
- [23] "Ettevõtluse ja Innovatsiooni Sihtasutus | EIS." Accessed: Feb. 25, 2025. [Online]. Available: <https://kredex.ee/et/kes-me-oleme/ettevotluse-ja-innovatsiooni-sihtasutus>
- [24] "Korterelamute energiatõhususe toetuse tingimused–Riigi Teataja." Accessed: Feb. 25, 2025. [Online]. Available: <https://www.riigiteataja.ee/akt/124092024008?leiaKehtiv=>
- [25] "„Korterelamute energiatõhususe toetuse tingimused“ eelnõu seletuskiri," 2023.
- [26] C. Rute and E. Arengufond, "Energiaühistute Mentorprogrammi kokkuvõte," 2015.
- [27] S. instituut Tallinna Tehnikaülikool, "Efektiivse kaugküttesüsteemi referentshinna arvutusmudeli auditeerimine," 2014.
- [28] A. Vabamägi, "Väikeasula kaugkütte võrgupiirkonna tehnilis-majanduslike auditite „Kaugkütte võrgupiirkonna jätkusuutlikkuse, efektiivsuspiiri ja energiasäästupotentsiaali määramine“ kokkuvõte," 2013.
- [29] "Energiamajanduse korralduse seadus–Riigi Teataja." Accessed: Mar. 09, 2025. [Online]. Available: <https://www.riigiteataja.ee/akt/110102024007?leiaKehtiv>
- [30] "Hoone energiatõhususe miinimumnõuded. Riigi Teataja." Accessed: Mar. 12, 2025. [Online]. Available: <https://www.riigiteataja.ee/akt/113122018014?leiaKehtiv>

- [31] A. Kislenskova, "Hoonete energiatõhususe miinimumnõuete muudatuse mõju maagaasi konkurentsivõimele," Tallinna Tehnikaülikool, Tallinn, 2019.
- [32] uurimistöo TalTech, "Eesti kaugküttesektori CO2 heitmed," 2021. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S187661021403121X>
- [33] KPMG Baltics OÜ, "Heitsoojuse ja heitjahutuse kasutamise võimalused kütte- ja/või jahutus sektoris ning Eesti töhusa kaugkütte ja -jahutuse potentsiaali hindamine".
- [34] AS Utilitas Tallinn/AS Utilitas Eesti, *Soojustorustiku projekteerimise üldised tehnilised tingimused*. 2024. Accessed: Mar. 29, 2025. [Online]. Available: https://www.utilitas.ee/wp-content/uploads/2024/02/Soojustorustiku-projekteerimise-uldised-tehnilised-tingimused.pdf?utm_source=chatgpt.com
- [35] "Ehitusseadustik–Riigi Teataja." Accessed: Mar. 16, 2025. [Online]. Available: <https://www.riigiteataja.ee/akt/103032017002>
- [36] "EVS 843:2016 - EVS standard evs.ee | et." Accessed: May 05, 2025. [Online]. Available: <https://www.evs.ee/et/evs-843-2016>
- [37] "Haljastuse inventeerimise kord–Riigi Teataja." Accessed: May 05, 2025. [Online]. Available: <https://www.riigiteataja.ee/akt/417062020004>
- [38] "Ettevõtte, kus geoloogia pole horisontaalsel puurimistool takistuseks." Accessed: May 05, 2025. [Online]. Available: <https://www.ehitusuudised.ee/sisuturundus/2021/10/21/ettevotte-kus-geoloogia-pole-horisontaalsel-puurimistool-takistuseks>
- [39] Utilitas Tallinn AS, *Soojustorustiku projekteerimise ülesanne NR VKO/N-15/10-11-2023*. 2023, p. 300.
- [40] "Välisõhu temperatuuri mõju energiatarbimisele | Energiatalgud." Accessed: Mar. 29, 2025. [Online]. Available: https://energiatalgud.ee/V%C3%A4lis%C3%B5hu_temperatuuri_m%C3%B5ju_energiatarbimisele
- [41] "Nõuded ehitusprojektile–Riigi Teataja." Accessed: Mar. 16, 2025. [Online]. Available: <https://www.riigiteataja.ee/akt/118072015007>
- [42] "Ehitise kaitsevööndi ulatus, kaitsevööndis tegutsemise kord ja kaitsevööndi tähistusele esitatavad nõuded–Riigi Teataja." Accessed: Mar. 24, 2025. [Online]. Available: <https://www.riigiteataja.ee/akt/128062015004>
- [43] Maa-Amet, "Kitsenduste infosüsteem." Accessed: Mar. 29, 2025. [Online]. Available: <https://xgis.maaamet.ee/xgis2/page/app/kitsendused>
- [44] AS Utilitas Tallinn., "Tarbimisandmed. Mahla ja Tallinna võrgupiirkond.," 2025.
- [45] Utilitas Tallinn AS, *Soojustorustiku projekteerimise ülesanne NR VKO/N-15/06-04-2023*. 2023.

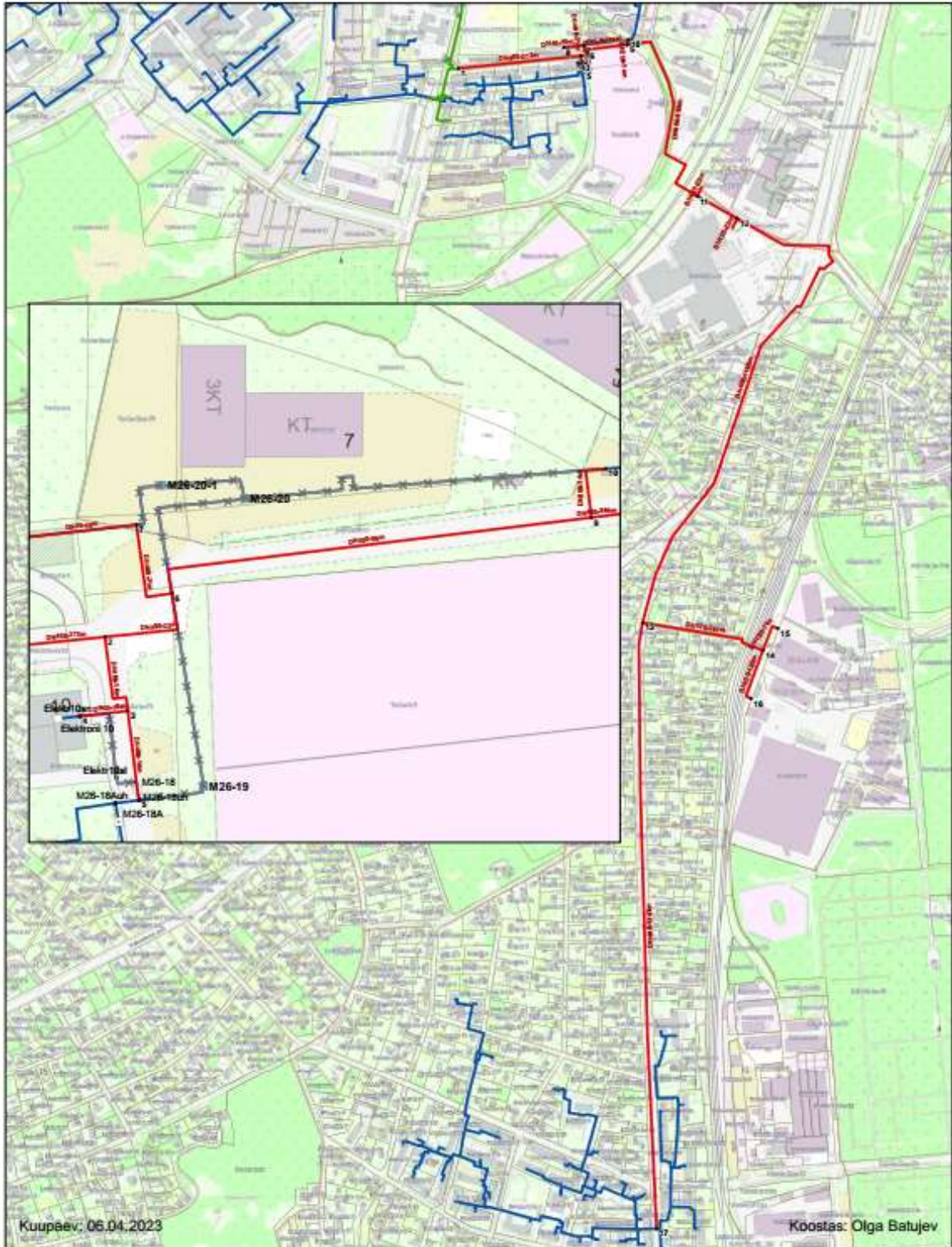
- [46] "Tallinna planeeringute register." Accessed: May 06, 2025. [Online]. Available: <https://tpr.tallinn.ee/MapOfPlannings/Linnaosa/100275>
- [47] "Muinsuskaitse seadus–Riigi Teataja." Accessed: Mar. 23, 2025. [Online]. Available: <https://www.riigiteataja.ee/akt/110122020022?leiaKehtiv#para8>
- [48] "Looduskaitse seadus–Riigi Teataja." Accessed: Mar. 23, 2025. [Online]. Available: <https://www.riigiteataja.ee/akt/LKS>
- [49] "Kinnistusraamat." Accessed: May 16, 2025. [Online]. Available: <https://kinnistusraamat.rik.ee/PealeheOtsinguTulemus.aspx?l=4&term=78404:403:0091&kehtetuOmanik=false&oigustatudIsik=false&praeguneaeg=1747404882395&iestate=1074430&OC=&rnr=5&showing=&eventType=1#Scroll&details=true>
- [50] "Gaasi hinna mõjurid | Elering." Accessed: Apr. 05, 2025. [Online]. Available: https://elering.ee/gaasituru-kasiraamat/6-kauplemine-eesti-gaasiturul-ja-andmevahetuse-korraldus/53-gaasi-hind/gaasi-0?utm_source=chatgpt.com
- [51] "Teabenõue konkuretsiametile. Kooskõlastatud kaugkütte piirhinnad Tallinna võrgupiirkonnas 2014-2024."
- [52] "KE31: MAAGAASI LÕPPTARBIMISE HIND ÄRITARBIJALE | Näitaja, Tarbimiskogus ning Vaatlusperiood. Statistika andmebaas." Accessed: Apr. 03, 2025. [Online]. Available: https://andmed.stat.ee/et/stat/majandus__energeetika__energia-terehususe-naitajad/KE31/table/tableViewLayout2
- [53] "Hoone energiatõhususe tööriistad | Kliimaministeerium." Accessed: May 06, 2025. [Online]. Available: <https://kliimaministeerium.ee/elukeskkond-ringmajandus/energiatohusus-ja-keskkonnasaast/hoone-energiatohusus-ooriistad#eta-arvutuste-baasaa>
- [54] J. Ziemele, A. Volkova, E. Latõšov, L. Murauskaitè, and V. Džiuvè, "Comparative assessment of heat recovery from treated wastewater in the district heating systems of the three capitals of the Baltic countries," *Energy*, vol. 280, Oct. 2023, doi: 10.1016/j.energy.2023.128132.
- [55] "Energiatõhusus - Tööriistad energiatõhususe mõõtmiseks | EIS." Accessed: Apr. 08, 2025. [Online]. Available: <https://kredex.ee/et/energiatohusus-uuringud-ja-andmed/kraadpaevad>
- [56] "Tõhusad kaugküttesüsteemid – EJKÜ." Accessed: May 09, 2025. [Online]. Available: <https://epha.ee/tohusad-kaugkuttetesusteemid/>
- [57] "Technology Data for Generation of Electricity and District Heating." Accessed: Apr. 23, 2025. [Online]. Available: <https://ens.dk/en/analyses-and-statistics/technology-data-generation-electricity-and-district-heating>

- [58] "Energiamajanduse arengukava aastani 2030," 2017, Accessed: Apr. 22, 2025. [Online]. Available: <http://www.energiatalgud.ee/index.php?title=Kategoria:M%C3%B5isted>
- [59] "Kaugküttesoojuse hind | Energiatalgud." Accessed: Apr. 25, 2025. [Online]. Available: https://energiatalgud.ee/Kaugk%C3%BCttesoojuse_hind
- [60] Konkurentsiamet, "Soojuse piirhinna kooskõlastamise põhimõtted," 2013.
- [61] Konkurentsiamet, "Kaalutud keskmise kapitali hinna juhend (kinnitatud 19.07.2023)," 2023.
- [62] Tallinn, "Küttegaas kortermajas – praktilisi nõuandeid gaasitorustike ja gaasiseadmete omanikele ja kasutajatele," 2011.
- [63] Elering Live, "Eesti gaasisüsteemi sisenenud gaasi kaalutud keskmine ülemine kütteväärtus." Accessed: Apr. 26, 2025. [Online]. Available: <https://dashboard.elering.ee/et/gas-system/gcv?interval=hours&period=years&start=2023-12-31T22:00:00.000Z&end=2024-12-31T21:59:59.999Z&show=graph>
- [64] "Kütus ja elektrienergia | Maksu- ja Tolliamet." Accessed: Apr. 26, 2025. [Online]. Available: <https://www.emta.ee/ariklient/maksud-ja-tasumine/aktsiisid/kutus-ja-elektrienergia#aktsiisimaarad-gaasilised-kutused>
- [65] "Konkurentsiametiga kooskõlastatud maagaasi jaotamise võrguteenuste hinnad," 2025.
- [66] Eesti Energia, "Aastaruanne," 2023.
- [67] Eesti Energia, "Aastaruanne," 2024.
- [68] "Maagaasi varumakse | Eesti Varude Keskus." Accessed: Apr. 26, 2025. [Online]. Available: <https://varudekeskus.ee/eesti-varude-keskus/evk-partnerile/maagaasivaru/maagaasi-varumakse>
- [69] Heat Consult OÜ, "Seletuskiri. Mahla 87 katlamaja kaugküttetorustik.," Tallinn, 2025.
- [70] Konkurentsiamet, "Kooskõlastatud soojuse lõptarbija hinnad," Apr. 2025.

LISA 1

LISA 1. Soojustorustike põhimõtteline skeem

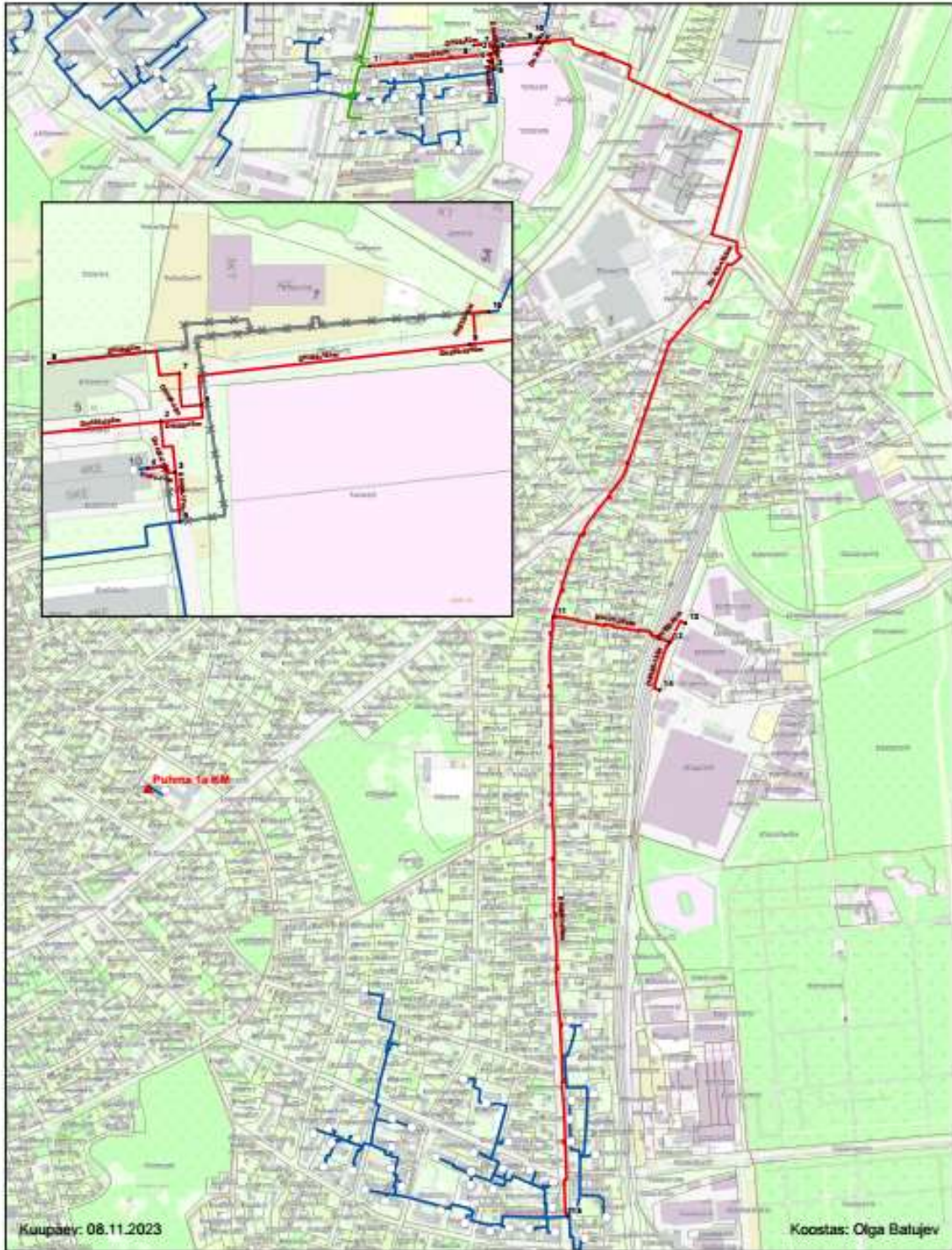
1:10 500



LISA 2

LISA 1. Soojus- ja/või kaugjahutustorustike põhimõtteline skeem

1:10 600



- | | |
|---|---|
|  Olemasolev soojustorustik |  Likvideeritav soojustorustik |
|  Projekteeritav soojustorustik |  Varem projekteeritud soojustorustik |

LISA 3

LISA 1. Soojus- ja/või kaugjahutustorustike põhimõtteline skeem

1:11 000



- Olemasolev soojustorustik
- Varem projekteeritud soojustorustik
- Projekteeritav soojustorustik