

Energiatehnoloogia instituut

**TALLINNA VANALINNA KÜTTESÜSTEEMI
ÜLEMINEK KAUGKÜTTESÜSTEEMILE**

**CONVERTING THE HEATING SYSTEM OF THE HISTORIC
CENTER OF TALLINN (OLD TOWN) TO A DISTRICT
HEATING SYSTEM**

MAGISTRITÖÖ

Üliõpilane: Natalja Kovtunova
/nimi/

Üliõpilaskood 203946MASM

Juhendaja: Anna Volkova, vanemteadur
/nimi, amet/

Tallinn 2022

(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.

"27." mai 2022

Autor: Natalja Kovtunova

/ allkirjastatud digitaalselt /

Töö vastab magistritööle esitatud nõuetele

"27." mai 2022

Juhendaja: Anna Volkova

/ allkirjastatud digitaalselt /

Kaitsmisele lubatud

"03" juuni 2022.

Kaitsmiskomisjoni esimees

/ allkirjastatud digitaalselt /

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks¹

Mina Natalja Kovtunova (*autori nimi*) (sünnikuupäev: 07.11.1982)

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose Tallinna vanalinna küttesüsteemi üleminek kaugküttesüsteemile

(lõputöö pealkiri)

mille juhendaja on Anna Volkova,

(juhendaja nimi)

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

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

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

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

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

/ allkirjastatud digitaalselt /

LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Üliõpilane: Natalja Kovtunova, 203946MASM (nimi, üliõpilaskood)
Õppekava, peeriala: MASM02/18, Energiatehnoloogia ja soojusenergeetika (kood ja nimetus)
Juhendaja(d): Vanemteadur, Anna Volkova, 6203905 (amet, nimi, telefon)

Lõputöö teema:

(eesti keeles) Tallinna vanalinna küttesüsteemi üleminek kaugküttesüsteemile

(inglise keeles) *Converting the Heating System of the Historic Center of Tallinn (Old Town) to a District Heating System*

Lõputöö põhieesmärgid:

1. Tallinna vanalinna soojusvarustuse süsteemi analüüs
2. Vanalinna kaugküttele ülemineku stsenaariumide analüüs
3. Peamised probleemid seoses vanalinna kaugküttele üleminekul

Lõputöö etapid ja ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Tähtaeg
1.	Lõputöö teema kinnitamine	05.01.22
2.	Andmete kogumine vanalinna soojusvarustuse kohta	05.03.22
3.	Andmeanalüüs ja stsenaariumide väljatöötamine	02.04.22
4.	Lõputöö esinemine	27.05.22

Töö keel: eesti keel **Lõputöö esitamise tähtaeg:** "27" mai 2022.a

Üliõpilane: Natalja Kovtunova. "27" mai 2022.a

/ allkirjastatud digitaalselt /

Juhendaja: Anna Volkova "27" mai 2022.a

/ allkirjastatud digitaalselt /

SISUKORD

EESSÕNA	7
SISSEJUHATUS	8
1. TEOREETILINE OSA.....	10
1.1 Kliimapoliitika.....	10
1.1.1 Euroopa Liidu kliimapoliitika	10
1.1.2 Eesti kliimapoliitika.....	11
1.1.3 Roheline pealinn.....	13
1.2 Geopoliitika ja maagaas.....	13
1.2.1 Euroopa Liit ja maagaas.....	13
1.2.2 Eesti ja maagaas.....	15
1.3 Kaugküte	16
1.3.1 Kaugkütte olulisus.....	16
1.3.2 Kaugküte Eestis	17
1.3.3 Kaugküte Tallinnas	17
1.4 UNESCO maailmapärandi objektid.....	19
1.4.1 Tallinna vanalinn	19
1.4.2 UNESCO maailmapärandi objektid	20
1.4.3 Energiatõhususe parandamine	20
2. METOODIKA.....	23
2.1 Andmete kogunemine	23
2.1.1 Ehitusregister	23
2.1.2 Maa-ameti geoportal.....	25
2.2 Andmete analüüs.....	26
2.2.1 Keskmise aastane tarbimistegur	26
2.2.2 Soojusallikas	28
2.2.3 Energiatõhuse näitaja (AFUE)	29
2.2.4 Aastase tarbimine	30
2.2.5 Primaarenergia tegur (PEF)	30
2.2.6 Primaarenergia aastane tarbimine	31
2.2.7 CO ₂ eriheitetegur	31
2.2.8 Aastane CO ₂ heide.....	31
2.2.9 Energia hind	32
2.2.10 Uute kaugküttetorude paigaldamisega seotud probleemid.....	32
2.2.11 Stsenaariumid.....	32
3. TULEMUSED	34

3.1 Stsenaarium A.....	34
3.1.1 Soojusvajadus	35
3.1.2 Primaarenergia tarbimine	35
3.1.3 CO ₂ heitkogus.....	37
3.1.4 Tarbijale suunatud küttekulud.....	38
3.2 Stsenaarium B.....	39
3.2.1 Soojusvajadus	39
3.2.2 Primaarenergia tarbimine	40
3.2.3 CO ₂ heitkogus	41
3.2.4 Tarbijale suunatud küttekulud.....	42
3.3 Stsenaarium C.....	44
3.3.1 Soojusvajadus	44
3.3.2 Primaarenergia tarbimine	44
3.3.3 CO ₂ heitkogus.....	44
3.3.4 Tarbijale suunatud küttekulud.....	44
3.4 Stsenaariumite võrdlus.....	44
3.4.1 Soojusvajadus	44
3.4.2 Primaarenergia tarbimine	45
3.4.3 CO ₂ heitkogus.....	46
3.4.4 Tarbijale suunatud küttekulud.....	47
3.5 Kaugküttega seotud väljakutsed ja takistused ajaloolistes linnaosades	47
3.5.1 Maailma kultuuripärandi objekt	47
3.5.2 Raskused ja takistused projekti elluviimisel	48
4. JÄRELDUSED	53
KOKKUVÕTE	54
Summary	55
KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU	56

EESSÕNA

Lõputöö teema valisid lõputöö autor ja juhendaja ühiselt, lähtudes lõputöö autori igapäevastest tööülesannetest ja huvidest esmase intervjuu käigus.

Palju tööd tehti andmete kogumise ja analüüsiga. Autor sai häid kogemusi, mida saab rakendada ka igapäevatöös.

Autor soovib tänada oma juhendajat Anna Volkovat toetuse ja asjatundliku nõuande eest, Valentina Konksi ja Priit Võhandut abi eest Ehitusregistri tööutamisel, Siim Ploomi abi eest visualiseerimisel. Ja kõigile inimestele, kes on ühel või teisel moel osalenud selle teose kirjutamises. Tänan teid valmisoleku eest jagada teavet ja teadmisi.

Eriline tänu Tallinna linnale toetuse ja Raestipendiumi eest

Märksõnad: kaugküte, vanalinn, ülminek, magistritöö

.

SISSEJUHATUS

Märtsis 2022 avaldas IPCC II töörühm oma aruande "Kliimamuutused 2022: mõju, kohanemine ja haavatavus" [1]. Raportis hoiatatakse kliimamuutuste mõju eest, mida need ühiskonnale üha enam avaldavad, alates põuast ja veepuudusest kuni inimeste tervise ja majanduskahjudeni kliimast mõjutatud sektorites. Teine kriitiline mõju on suurenenud konfliktide oht. Autorid märgivad, et kliimamuutuste ja konfliktide vahel ei ole otsest ja automaatset seost. Siiski on olemas hulk kontekstilisi tegureid - eelkõige sotsiaal-majanduslikud tingimused, valitsemistavad ja poliitilised tegurid -, mis mõjutavad üksteist ja mängivad võtmerolli kliimamuutuste muutmisel konfliktiriskideks [2].

Pariisi kokkuleppe eesmärgi saavutamiseks peavad peaaegu kõik maailma riigid eemaldama süsinikdioksiidi ja muud kasvuhoonegaasid oma energiasüsteemidest ja majandusest tervikuna. See mõjutab tulevast ressursinõudlust, mis kujutab endast mõnede riikide jaoks märkimisväärset riski ja teiste jaoks võimalust. Naftat eksportivad riigid peavad näiteks tegelema kasutamata varadega, samas kui mineraale eksportivad riigid võivad saada kasu rohelisest üleminekust [3].

Aasta varem kehtestas Euroopa Liit esimest korda ajaloos ühtse kliimaalase seaduse. Euroopa kliimaseaduse eesmärk on saavutada 2050. aastaks heitkoguste nullpunkti jõudmine. Seadus sisaldab ka eesmärki vähendada süsinikdioksiidi heitkoguseid 2030. aastaks 55% võrra 1990. aasta tasemest [4].

Kasvuhoonegaaside heitkoguste vähendamine nõuab taastuvate energiaallikate osakaalu suurendamist ja energiatõhususe parandamist.

Eesti majandus on üks kõige energiamahukamaid Euroopa Liidus: meie süsinikdioksiidi heitkogused (ühe elaniku kohta) on peaaegu kaks korda suuremad kui ELis keskmiselt (2017. aasta andmed) [5].

2021. aasta novembris kiitis Eesti valitsus heaks ELi kliimaettepanekud, mille eesmärk on vähendada CO₂ heitkoguseid 2030. aastaks 55% võrra.

Lisaks sellele on Eesti seadnud 2030. aastaks veelgi ambitsioonikama riikliku eesmärgi: vähendada kasvuhoonegaaside heitkoguseid 70% (võrreldes 1990. aastaga).

Tallinna linna kliimakava näeb ette, et 2030. aastaks vähendatakse CO₂ heitkoguseid 40% võrra võrreldes 2007. aastaga ning et 2050. aastaks on linn kliimanetraalne. Nende eesmärkide saavutamise vahendiks on rohepöörde rakendamine.

Käesolevas töös analüüsitakse Tallinna vanalinna ajaloolise kesklinna soojusvarustust. Olemasolevat küttesüsteemi on hinnatud primaarenergia tarbimise, CO₂-heitmete ja kütte kulude poolest tarbija kohta.

Uuringus tuvastati peamised probleemid, mis on seotud vanalinnas kaugküttele üleminekuga, näiteks kõrgemad kvalifikatsiooninõuded kõigile projektis osalejatele,

täiendavad väliuuringud, pikemad ehitustööd, mis on seotud tööde eripäraga muinsuskaitsealal.

Välja on töötatud meetoodika, et määrata kindlaks kaugküttele täieliku ülemineku mõju ajaloolises kvartalis. Praegust olukorda on võrreldud kahe teise stsenaariumiga: osaline ja täielik üleminek kaugküttele vanalinnas.

Teos on jagatud neljaks osaks. Esimeses, teoreetilises osas kirjeldatakse töö tausta. Teises osas kirjeldatakse vanalinna küttesüsteemi analüüsimiseks kasutatud meetodikat. Kolmandas osas analüüsitakse stsenaariume ja neljandas osas esitatakse töö järeldused.

1. TEOREETILINE OSA

1.1 Kliimapoliitika

1.1.1 Euroopa Liidu kliimapoliitika

2021. aasta aprillis kehtestas Euroopa Liit esmakordselt ühtse kliimaalase seaduse, mis jõustus 2021. aasta juunis [4]. Euroopa kliimaseaduse eesmärk on saavutada 2050. aastaks heitkoguste nullpunkti jõudmine. Seadus sisaldab ka eesmärki vähendada süsinikdioksiidi heitkoguseid 2030. aastaks 55% võrra 1990. aasta tasemest. Seega on 2030. aastaks seatud eesmärk 255 miljonit tonni CO₂.

Kasvuhoonegaaside heitkoguste vähendamine nõuab taastuvate energiaallikate osakaalu suurendamist ja energiatõhususe parandamist. ELi komisjon teeb ka ettepaneku suurendada taastuvate energiaallikate osakaalu kohustuslikku eesmärki ELi energialiikide hulgas 40%-ni. Ettepanekutega edendatakse täiendavate eesmärkide kaudu taastuvkütuste, näiteks vesiniku kasutuselevõttu tööstuses ja transpordis.

Lisaks on energiatarbimise vähendamine vajalik nii heitkoguste kui ka tarbijate ja tööstuse energiakulude vähendamiseks. Komisjon teeb ettepaneku tõsta energiatõhususe eesmärke ELi tasandil ja muuta need kohustuslikuks, et saavutada 2030. aastaks energia lõpp- ja primaarenergia tarbimise üldine vähenemine 36-39%.

Seitsme aasta jooksul eraldatakse 72,2 miljardit eurot hoonete renoveerimiseks, ligipääsuks null- ja vähese heitega liikuvusele ning sissetulekutoetuseks.

Elamute ja avalike hoonete ajakohastamine, energiatõhususe parandamine ja taastuvenergia osakaalu suurendamine aitab säästa energiat.

Komisjon teeb ettepaneku:

- nõuda liikmesriikidelt, et nad uuendaksid igal aastal vähemalt 3% kõigi avalike hoonete kogupõrandapinnast.
- seada eesmärgiks 49% taastuvenergia osakaal hoonetes 2030. aastaks.
- kohustada liikmesriike suurendama taastuvate energiaallikate kasutamist kütmiseks ja jahutamiseks igal aastal kuni 2030. aastani +1,1 protsendipunkti võrra.

IPCC viimases aruandes anti kliimakriisile sünge hinnang, mis on "pöördumatu" [5]. Praegusel hetkel on töörühma sõnul globaalne temperatuuri tõus 1,5 °C vältimatu. Ja isegi globaalse soojenemise piiramine 1,5 °C-ni nõuab koheseid ja ambitsioonikaid kliimameetmeid. IPCC stsenaariumid näitavad, et kasvuhoonegaaside heitkogused peaksid hiljemalt 2025. aastal saavutama oma tipp-taseme ja vähenema 2030. aastaks 43% võrra. Selle stsenaariumi saavutamiseks tuleb ka metaani heitkoguseid vähendada kolmandiku võrra.

IPCC andmetel suureneb energianõudlus ja energiasektori heitkogused jätkuvalt. Aastatel 2015-2019 suurenes ülemaailmne energia lõpptarbimine 6,6%, energiasüsteemi CO₂-heide 4,6% ja energiavarustuse kasvuhoonegaaside koguheide 2,7%. Metaani heitkogused, peamiselt naftast, gaasist ja kivisööst pärinevad lenduvad heitkogused, moodustasid 2019. aastal 18% kasvuhoonegaaside heitkogustest. Söeküttega põhineva elektrienergia tootmisvõimsus kasvas aastatel 2015-2019 7,6%, kuna uute rajatiste ehitamine mõnes riigis kompenseeris vähendamisi teistes riikides. Nafta ja naftatoodete kogutarbimine suurenes 5% ja maagaasi tarbimine 15%. Energiamahukuse vähenemist peaaegu kõigis piirkondades tasakaalustab energiatarbimise suurenemine.

Sama aruande kohaselt oli 2019. aastal hoonetest tulenev kasvuhoonegaaside (KHG) heitkogus maailmas 12 GtCO₂ekvivalenti, mis vastab 21% kogu maailma KHG heitkogustest sel aastal, millest 57% olid kaudsed heitkogused, mis tulenesid elektri ja soojuse tootmisest väljaspool hooned, 24% olid otsesed heitkogused, mis tekkisid hoonetes, ning 18% olid tsemendi ja terase kasutamisest tulenevad heitkogused. Rohkem kui 95% hoonetest tulenevatest heitkogustest moodustasid CO₂-heitmed. Seega suureneb hoonete CO₂-heitmete osakaal ülemaailmselt 31%-ni. 2019. aastal ulatus hoonete ülemaailmne energia lõppnõudlus 128,8 EJ, samas kui ülemaailmne elektrinõudlus oli veidi üle 43 EJ. Esimene moodustab 31% ülemaailmsest energia lõppnõudlusest, teine aga 18% ülemaailmsest elektrinõudlusest. Eluhooned tarbivad 70% hoonete ülemaailmsest energia lõppnõudlusest. Aastatel 1990-2019 suurenesid hoonete CO₂-heitmed maailmas 50%, ülemaailmne energia lõppnõudlus kasvas 38% ja ülemaailmne energia lõppnõudlus 161%.

Need tulemused rõhutavad, kui oluline on võtta viivitamatult meetmeid riiklikul tasandil, et võtta kasutusele uued tehnoloogiad, uuendused ja investeeringud nii uute süsteemide arendamiseks kui ka olemasolevate süsteemide taastamiseks energia- ja ehitussektoris. Need sektorid vajavad terviklikke lahendusi.

1.1.2 Eesti kliimapoliitika

Eesti majandus on üks kõige energiamahukamaid Euroopa Liidus: meie süsinikdioksiidi heitkogused (ühe elaniku kohta) on peaaegu kaks korda suuremad kui ELis keskmiselt (2017. aasta andmed).

Eesti kasvuhoonegaaside koguheitest 89% on seotud energia tootmise ja tarbimisega. Sellest 69% moodustab põlevkiviõli (2017. aasta andmed).

80% Eestis kasutatavast energiast pärineb fossiilsetest allikatest. Ainult 18% pärineb taastuvatest energiaallikatest.

Seoses põlevkivitööstusega on Eesti suurim ohtlike jäätmete tekitaja ühe elaniku kohta ELis - põlevkivi kaevandamisel tekib 70% Eesti tavapäraestest jäätmetest. Põlevkivi põletamine ja töötlemine moodustab 90% riigi ohtlikest jäätmetest, millest peaaegu kõik satuvad prügilatesse.

Ainult 59% eestlastest peab kliimamuutust "väga tõsiseks" probleemiks, mis on madalam kui ELi keskmine (79%) [6].

2021. aasta novembris kiitis Eesti valitsus heaks ELi kliimaettepanekud, mille eesmärk on vähendada CO2 heitkoguseid 2030. aastaks 55% võrra.

"Kliimaeesmärkide saavutamine nõuab raskeid otsuseid, kuid me peame astuma need sammud, et päästa planeeti ja keskkonda," ütles peaminister Kaija Kallas. "Investeeringud rohelisse pöörde on ka võimalus stabiliseerida energiahindu pikemas perspektiivis, vähendada energiasõltuvust, muuta majandus ja majandus jätkusuutlikumaks ning keskkond puhtamaks. Kliimaga seotud eesmärkide saavutamisel peame eelkõige tagama, et meie inimesed oleksid kaitstud ja et need muutused ei kahjustaks neid. See peab olema inimeste roheline pööre," ütles Kallas [7]. Lisaks sellele on Eesti seadnud 2030. aastaks veelgi ambitsioonikama riikliku eesmärgi: vähendada kasvuhoonegaaside heitkoguseid 70% (võrreldes 1990. aastaga). Alates 2019. aastast on Eesti heitkogused vähenenud juba 62%, peamiselt tänu suurtele struktuurimuudatustele 1990ndate alguses. Siiski on Eesti Euroopas CO2 heitkoguste poolest ühe elaniku kohta neljandal kohal - peamiselt tänu energiasektorile (89% kõigist Eesti heitkogustest), kus omakorda domineerib põlevkiviõli (75% elektritoodangust). Energiatarbimine hoonetes on viimastel aastatel suurenenud, nagu ka energiatarbimine transpordis alates 2004. aastast. Seega peab Eesti tõhustama oma jõupingutusi kliimapoliitika valdkonnas.

Eesti on otsustanud lõpetada põlevkivielektri tootmise hiljemalt 2035. aastaks ja lõpetada põlevkivi kasutamise energeetikasektoris 2040. aastaks. Riigi omanduses olev elektriettevõtte Eesti Energia on deklareerinud veelgi ambitsioonikamat kavatsust saada 2045. aastaks süsinikuneutraalseks: põlevkivist elektri tootmine tuleb lõpetada 2025. aastaks ja põlevkivigaasi kasutamine 2030. aastaks. Pärast 2030. aastat peab toodetud elekter tulema tuuleparkidest ja päikesepaneelidest.

Nagu kõik teised liikmesriigid, on ka Eesti välja töötanud riikliku energia- ja kliimakava, mis näitab, kuidas ta kavatses saavutada ELi kliimaeesmärgid aastaks 2030. Detsembris 2020 otsustas Eesti valitsus konkreetsed valdkonnad, et toetada rohelist pööret ja tehnoloogilist üleminekut kogu majanduses. Nii arengudokumenti "Eesti kliimapoliitika suunised 2050" kui ka valdkondlikke arengukavasid ajakohastatakse praegu, et viia need vastavusse ELi kliimaeesmärkidega 2030. ja 2050. aastaks [6].

1.1.3 Roheline pealinn

Tallinn kui pealinn peab olema eeskujuks teistele riigi linnadele. 2019. aasta oktoobris võeti vastu Tallinna linna strateegia 2020-2030, mille eesmärk on saavutada 2050. aastaks süsinikdioksiidi neutraalsus. ("Tallinna säästva energiamajanduse ja kliima tegevuskava aastateks 2020–2030 ning visioon aastani 2050" (edaspidi Tallinna SEKT 2030))

SEKT 2030 kava eesmärk on vähendada Tallinna linna kasvuhoonegaaside heitkoguseid 40% võrreldes 2007. aasta baasaastaga, st Tallinna linna aastane kasvuhoonegaaside koguheide peab 2030. aastaks olema alla 2360 kt CO₂-ekvivalendi. Eesmärkide saavutamise peamised valdkonnad on transport ja hooned, kus on märkimisväärne potentsiaal heitkoguste vähendamiseks [8].

Ehitussektoril, eelkõige hoonete renoveerimisel ja kaugküttele üleminekul, on märkimisväärne potentsiaal kasvuhoonegaaside heitkoguste vähendamiseks. Pikaajalise hoonete uuendamise strateegia (06.2020) aruande kohaselt on Eesti energia lõpptarbimine viimase viieteistkümne aasta jooksul (2003-2018) olnud vahemikus 31-35 TWh. Kodumajapidamiste osakaal energia lõpptarbimises on suurim, moodustades 40%.

Hoonete täielik renoveerimine võib vähendada lõpptarbimist ~7 TWh võrra aastas. Soojuse tarbimist saab vähendada 70% (~6,4 TWh/aastas) ja elektritarbimist 20% (~0,5 TWh/aastas). Olemasolevate hoonete CO₂-heite vähendamise potentsiaal on ~90% (~4 miljonit tonni CO₂ aastas) [9].

Tallinn sai 2021. aasta septembris roheline pealinna 2023 tiitli. Tallinna Linnavolikogu võttis taotluse esitamise ja lõpliku otsuse tegemise vahelisel ajal vastu kaks olulist strateegilist dokumenti. Tallinn 2035 strateegia kiideti heaks 2020. aasta lõpus ja kliimaneutraalne Tallinn 2030 (kliimakava) kiideti heaks 03. juunil 2021. aastal [10]. Tallinna strateegias on üheks eesmärgiks seatud linna keskkonnahoidlikumaks muutmine ning rohepöörde läbiviimise [11].

Ressursitõhusad ja süsinikdioksiidi neutraalsed lahendused tuleks seada prioriteediks juba planeerimise etapis. . Energiatõhususe nõuded hoonetele suurenevad. Tootmises eelistatakse puhta energia kasutamist [12].

1.2 Geopoliitika ja maagaas

1.2.1 Euroopa Liit ja maagaas

Umbes veerand kogu ELis kasutatavast energiast on maagaas ja paljud ELi riigid impordivad peaaegu kogu oma energiavarustuse. Mõned ELi riigid sõltuvad ka suures osas oma gaasitarnete osas ühest allikast või ühest transporditeest [13].

2021. aastal domineeris ELi energiaimpordis 71% ulatuses toornafta, millele järgnes 17% ulatuses gaasiline maagaas.

Venemaa oli nii 2020. kui ka 2021. aastal ELi suurim maagaasitarnija, millele järgnesid Norra ja Alžeeria. Kõigi teiste ELi maagaasi eksportivate riikide ülemaailmne osakaal oli 2020. aastal 24,7% ja 2021. aastal 27,5% kaubanduse väärtuse poolest.

2021. aastal importisid kümme liikmesriiki (Bulgaaria, Tšehhi Vabariik, Eesti, Läti, Ungari, Austria, Rumeenia, Sloveenia, Slovakkia ja Soome) üle 75 % oma maagaasist Venemaalt [14].

Häired üksikutel transporditeedel võivad ohustada gaasi katkematut tarnimist mõnda Euroopa riiki. Gaasitarnehäired võivad tuleneda tehnilistest või inimlikest tõrgetest, loodusõnnetustest, küberrünnakutest ja muudest tekkivatest riskidest, samuti geopoliitilistest vaidlustest.

Näiteks 2009. aastal mõjutas Venemaa ja Ukraina vaheline gaasivaidlus gaasitarned mõnda ELi riiki. 2017. aastal sundis plahvatus Euroopa suures gaasikeskuses Baumgartenis Austrias naaberriike kuulutama välja varajase hoiatuse või energiahädaolukorra.

Siis, 2021. aasta sügisel, tekitas energiahindade järsk tõus küsimusi ELi gaasitarnete usaldusväärsuse kohta, sest hinnad, tavapärasest madalamad gaasihoidlate täitmise määrad ja gaasivarustuse kättesaadavuse püsivus gaasivõrgus on omavahel seotud [13].

Gaasitarnete olukord muutus keerulisemaks 2022. aasta veebruaris pärast Venemaa ja Ukraina vahelise sõjalise konflikti puhkemist. EL võttis vastu viis sanktsioonipaketti (viimane pakett jõustus 09.04.2022) vastuseks Venemaa sõjalisele rünnakule Ukrainale [15]. Need meetmed mõjutasid ka energiasektorit:

- Venemaalt pärit kivisöe impordikeeld
- Keeld eksportida Venemaale naftatöötlemissektori kaupu ja tehnoloogiaid
- Venemaa energiasektorisse tehtavate uute investeeringute keeld.

4. mail esines Ursula von der Leyen Euroopa Parlamendis ja tutvustas Euroopa Komisjoni kuuendat sanktsioonide paketti Venemaa vastu, tehes ettepaneku keelata nafta import Venemaalt. Tehakse ettepanek keelata täielikult kogu Venemaa nafta import, nii avamere- kui ka torujuhtme kaudu, samuti toornafta ja rafineeritud nafta. Venemaa toornafta import peatatakse kuue kuu jooksul ja naftatoodete tarnimine aasta lõpuks [16].

Euroopa Komisjoni majandusvolinik Paolo Gentiloni teatas (18.05.2022), et EL-i Venemaa-vastaste sanktsioonide kuues pakett on ajutiselt blokeeritud.

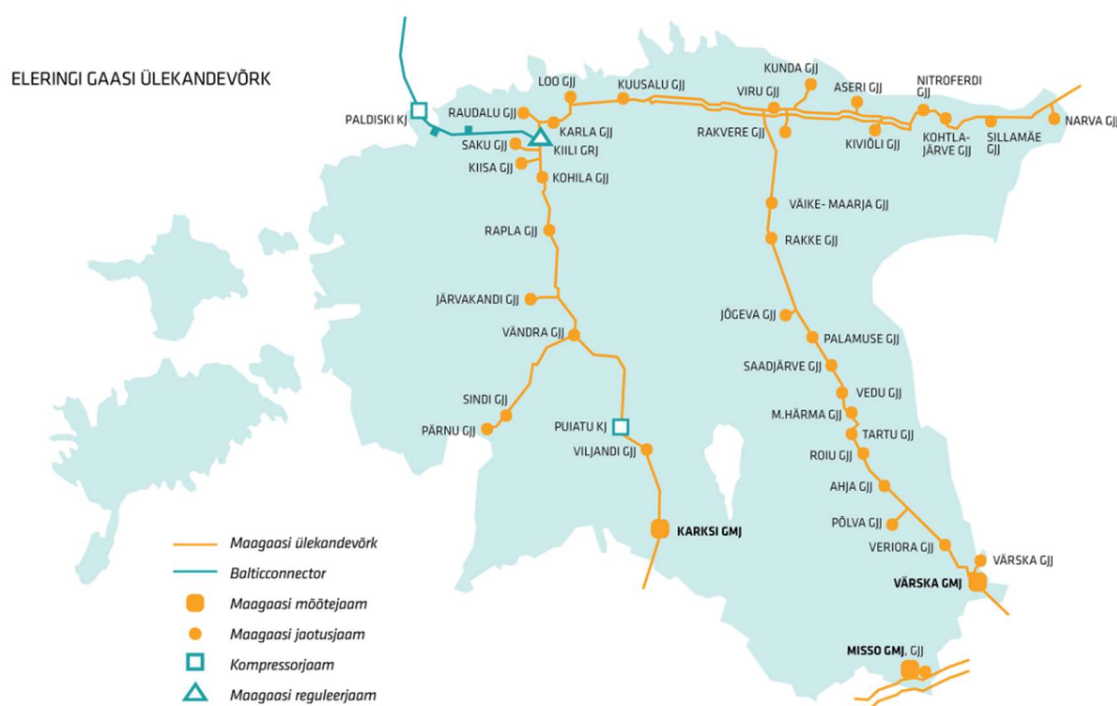
Praegu ei ole ELi liikmesriikidel võimalik Venemaa gaasi täielikult ära lõigata, kuid mõned riigid on leidnud, et tarned on siiski võimalik katkestada. Näiteks on gaasitarned Lähti, Leetu ja Eestisse peatatud alates 2022. aasta aprilli algusest. Samuti peatas

Gazprom aprilli lõpus täielikult gaasitarned Bulgaariasse. Mais lisandusid nimekirja Poola ja Soome.

1.2.2 Eesti ja maagaas

Eesti gaasi ülekandevõrk

Eestis on gaasi ülekandevõrk alates 2015. aastast Elering AS kontrolli all. Maagaasi ülekandevõrk koosneb käesolevaga 977,4 km gaasitorustikust, 4 gaasimõõtejaamast, 37 gaasijaotusjaamast ning 1 gaasireguleerijaamast. Paldiski gaasimõõtejaam võimaldab Eesti poolal Balticconnectorit läbiva gaasi kogust kahesuunaliselt mõõta [17]. Joonisel 1.1 on esitatud Eesti gaasi ülekandevõrk.



Joonis 1.1 Gaasi ülekandevõrk

Alates 2019.aastast pole Narva ühendus kasutatav Gazpromi poolt teostatava renoveerimise tõttu. Enne aprilli 2022 kogu ülekandevõrgu kaudu transporditav gaas tuli kas Lätist Inčukalnsi maagaasihoidlast, Leedust Klaipeda LNG terminalist või Soomest läbi Balticconnectorit ühenduse. Lisaks oli Eesti ülekandevõrk transiitkoridoriks gaasi liikumisel Venemaa ja Läti vahel [17].

Üldine gaasituru olukord Balti riikides on muutunud keerulisemaks pärast sõjategevuse puhkemist Ukrainas.

07.04.2022 a. Eesti Vabariigi Valitsus tegi põhimõttelise otsuse, et Eesti loobub veel sel aastal Venemaa gaasi impordist. Otsuse elluviimiseks rajatakse sügiseks Paldiskisse

võimalus vastu võtta veeldatud maagaasi ja hangitakse 1 TWh ulatuses riikliku gaasivaru [18].

Alternatiiv Venemaa maagaasile on LPG-terminalidest saadav gaas. Leedu Klaipeda LPG-terminal ei suuda rahuldada kõigi Balti riikide vajadusi. Seetõttu on Eesti ja Soome otsustanud ühiselt rentida ujuva veeldatud maagaasi (LNG) terminali, et tagada kahe riigi usaldusväärne gaasivarustus.

Maagaasi tarbimine Eestis

Maagaasi peamiseks kasutusala on soojusenergia tootmine (kaugküte 32% ning äritarbijate küte 9% tarbitavast gaasist) ja tööstuslikud protsessid (18% väetisetööstus ja 22% muud tööstuslikud protsessid) [19].

Ülaltoodud olukord nõuab gaasitarbimise vähendamisel ümbervaatamist. Ja kui tootmisgaasi katelde ümberehitamine põlevkiviõlile on võimalik. Loomulikult ei tohi unustada CO₂-jalajälge ja põlevkiviõli kasutamisel oleks vaja täiendavaid meetodeid CO₂-heitmete vähendamiseks. Kõige kaitsetumad selles olukorras on eratarbijad. Kliendid, kes kasutavad gaasi kütmiseks. Selliste tarbijate turvalisus tuleb tagada riigi tasandil.

Eratarbijate soojusvarustuse jaoks on kaks alternatiivi: soojuspump või kaugküttega liitumine. Võttes arvesse kaugküttevõrgu head katvust, eriti suurtes linnades, ja kiiret arengut, tuleks kaaluda üleminekut gaasiküttelt kaugküttele. See vähendab eratarbijate sõltuvust gaasist, avaldab positiivset mõju keskkonnale ja energiahindade valguses on see tarbijale odavam kütmissvõimalus.

1.3 Kaugküte

1.3.1 Kaugküte olulisus

Kaugküttesüsteeme on kasutatud alates 1870. aastate lõpust, peamiselt tihedalt asustatud piirkondades, kus on suur ja pidev nõudlus soojuse järele. Paljud hooned ja tööstusrajatised sõltuvad kaugküttest, alates Pekingi, Souli, Milano ja Stockholmi suurtest linnavõrkudest kuni väiksemate võrkudeni, nagu ülikoolide ja meditsiinikampuse.

Maailma kaugküttetoodang oli 2020. aastal 16 EJ soojust, mis on 30% suurem kui 2000. aastal. Hiina, Venemaa ja Euroopa moodustavad üle 90% ülemaailmsest kaugküttetoodangust ja mõjutavad seega otsustavalt kaugkütte keskmist süsinikuintensivsust [20].

Euroopa Liidu ja Rahvusvahelise Energiaagentuuri erinevate aruannete kohaselt moodustab kaugküte umbes 11-12% Euroopa Liidu soojatarbimisest. Euroopa Liidus toodetakse kaugküttega aastas umbes 580 TWh soojust. Suurem osa kaugküttejaamades toodetud soojusest kasutatakse tööstuslikel eesmärkidel ja ainult väike osa elamute kütmiseks [21].

Kaugküte on oluline osa küttesektori dekarboniseerimisest, sest see võimaldab paindlike ja puhaste energiaallikate integreerimist energialiikidesse. Kaasaegsed, vähese töövõimega kaugküttevõrgud võivad integreerida 100% taastuvaid energiaallikaid energiatõhusate hoonete varustamiseks, eriti piirkondades, kus detsentraliseeritud lahendused ei võimalda olemasolevate puhaste energiaallikate otsest integreerimist või tõhusat kasutamist, näiteks ruumipuuduse või infrastruktuuri puudumise tõttu.

Kaugküttele on ka võimalus vähendada linnade õhusaastet puhtamate põletustehnoloogiate ja rangema kontrolli abil ning kasutada energiaallikad, mis muidu läheksid raisku. Kaugküte pakub võimalust tõhusamaks elektritootmiseks koostootmise kaudu; see võimaldab erinevate energiaallikate kombineerimist [21].

Hiljutiste sündmuste valguses mõtlevad paljud ELi riigid kaugkütte osakaalu suurendamisele. Näiteks Taani peaminister Mette Frederiksen on märkinud, et Taani eesmärk on lähiaastatel lülitada kõik 400 000 gaasikatlaga majapidamist kaugküttele või soojuspumbale. Rohkem kui 250 000-le võiks pakkuda kaugkütet 5-8 aasta jooksul.

1.3.2 Kaugküte Eestis

Eesti soojusvajadus kokku 13 253,22 GWh/aastas [22].

Eesti 226 omavalitsusest on üle poole (umbes 60%) ühendatud kaugküttega. Ülejäänud elanikkond kasutab kohalikke küttesüsteeme [23].

Eestis on veidi üle 230 kaugküttevõrgu, millest enam kui 130 kasutab kütusena osaliselt või täielikult hakkpuitu või muud puidupõhist kütust (hakkepuitu, puupelletit) ning 11 katelde kasutab kütusena turvast. Maagaasi või põlevkiviõli katlaid kasutatakse tippkoormuse katmiseks külmal aastaajal [21].

1.3.3 Kaugküte Tallinnas

Harjumaa soojusvajadus kokku 5965 GWh/aastas [22].

Tallinna kaugküttepiirkond

Tallinnas on kaugküttesüsteemil hea leviala. Tallinna kaugküttepiirkond hõlmab valdavalt tiheasustusega alasid, kus on juba olemas kaugküttevõrk või kus on mõistlik seda arendada. Joonisel 1.2 on näidatud kaugküttesüsteemi piirkond [24].



Joonis 1.2 Tallinna kaugküttepiirkond (väljavõtte kaugküttepiirkonna kaaridist)

Tallinnas on kaugküttesüsteemiga ühendatud umbes 4000 tarbijat. Tallinna lääneosas (Kristiine, Mustamäe, Õismäe) on üle 1600 tarbija, kelle aastane tarbimine on 676 GWh, samas kui kesklinnas on veidi alla 1300 tarbija, kelle aastane tarbimine on 400 GWh. Lasnamäe ja Maardu linnaosades on veidi üle 1000 tarbija, kuid nende aastane tarbimine on suurem kui kesklinnas (477 GWh). Suurem osa tarbijatest - 73% on korterelamud.

Tallinna koostootmisjaamad

Peamised (suurimad) kaugkütteallikad Tallinnas on koostootmisjaam Tallinn SEJ 1 (Väo I), Iru prükipõletusjaam, Tallinn SEJ 2 (Väo II), Mustamäe koostootmisjaam. Tallinn SEJ 1, Tallinna SEJ 2 ja Mustamäe koostootmisjaamad kasutavad kütusena puiduhaket ja vajadusel turvast. Suuremate katlamajade hulgas on võrku ühendatud Kristiine katlamaja ja Ülemiste katlamaja. Viimast kasutatakse reservkatlana SEJ 1, SEJ 2 või Tallinna Iru katlamajade seisakute korral. Nii Kristiine kui ka Ülemiste katlad kasutavad kütusena maagaasi. Tallinna integreeritud kaugküttevõrgule on omistatud tõhusa kaugkütte märgis [21].

Peamised Tallinna kaugküttevõrguvaldajad

Tallinnas on kaks suurt kaugküttevõrgu omanikku: AS Utilitas Tallinn ja Adven Eesti AS, arvestamata Eesti Eneria Aktsiaseltsi, kellele kuulub Iru prükipõletusjaam.

AS Utilitas Tallinn varustab soojusega 2/3 pealinnast ning Maardu linna (kokku ca 4200 hooned)[25].

Adven Eesti AS toodab ja edastab toasoojust 19 piirkonnas üle Eesti. Sealhulgas kolm Tallinna linnaosa: Pirita Kesklinn, Nõmme ja Põhja-Tallinn [26].

1.4 UNESCO maailmapärandi objektid

1.4.1 Tallinna vanalinn

Vanalinn on Eesti pealinna Tallinna Kesklinna linnaosa. Selle pindala on umbes 1,1 km² ja elanike arv 2021. aasta seisuga 4939. Demograafiliste hinnangute kohaselt kasvab see arv jätkuvalt. Tallinn kanti maailmapärandi nimekirja 1997. aastal (60 ha) ja 2008. aastal laiendati piire 113 hektarini, et hõlmata kogu ajalooline keskus. Joonisel 1.3 on näidatud Tallinna vanalinn [27](Tallinna graafiline kaart ei ole topograafiline kaart - see on terviklik joonistus vanalinnast).



Joonis 1.3 Tallinna vanalinna graafiline kaart (Kaardi autor on Jaan Saar, OÜ Saar Graafika)

Tallinna ajalooline keskus, mis on kantud maailmapärandi nimekirja (113 ha), hõlmab ülemlinna (Toompea), keskaegsete müüride sees asuvat alalinna, samuti kogu vanalinna ümbritsevaid ajaloolisi 17. sajandi kindlustusi ning mitmeid peamiselt 19. sajandi hooneid, tänavapilte ja vaateid, mis tänapäeval moodustavad keskaegset linna ümbritseva haljasala. Suures osas on säilinud 13. sajandil rajatud keskaegne hoonestatud alade, tänavate ja väljakute linnastruktuur. Tänavavõrk on tihedalt täis 14. ja 16. sajandist pärit hooneid. Lisaks arhitektuurilisele järjepidevusele on vanalinn

säilitanud oma algse rolli elava linnana, kus toimusid kodused, kaubanduslikud ja religioossed teenistused, samal ajal kui ülemlinn säilitas oma staatuse riigi halduskeskuseks [28].

1.4.2 UNESCO maailmapärandi objektid

Tuleb märkida, et mitmete teiste linnade ajaloolised keskused on UNESCO maailmapärandi objektid. Euroopa Liidus on ajaloolise keskuse staatuse saanud Salzburg, Graz, Viin (Austria), Brügge (Belgia), Poreč (Horvaatia), Praha, Český Krumlov ja Telč (Tšehhi Vabariik), Avignon (Prantsusmaa), Stralsund ja Wismar (Saksamaa), Chora (Kreeka), Firenze, San Gimignano, Siena, Napoli, Pienza, Urbino ja Rooma (Itaalia), Riia (Läti), Vilnius (Leedu), Krakow ja Varssavi (Poola), Evora, Porto, Guimaraes (Portugal), Sigismoara (Rumeenia) ja Cordoba (Hispaania).

UNESCO maailmapärandi nimekirja peetakse 1972. aasta maailma kultuuri- ja looduspärandi kaitse konventsiooni alusel.

Kõikidel ajaloolistel objektidel on kohustus säilitada oma autentsus ja esteetiline terviklikkus. Oluline on kasutada uusi tehnilisi lahendusi, mis suurendavad energiatõhusust ja vähendavad keskkonnamõju, säilitades samas kogu renoveerimise ajaloolist tähtsust.

1.4.3 Energiatõhususe parandamine

Ajalooliste mälestiste energiatõhususe parandamise kohta on avaldatud mitmeid uuringuid. Palju tähelepanu on pööratud ajalooliste hoonete mikrokliima parandamisele, kuna muutused konstruktsioonide hüdrotermilises käitumises põhjustavad selliseid kahjustusi nagu hallitus, vetikad ja puidu mädanemine.

Hoonete energiatõhususe ja mikrokliima parandamiseks võib kasutada soojuskrohvi ja päikesevarjestuse kasutamist, samuti furnituuri väljavahetamist ja muid meetmeid [29].

Üks lahendus võiks olla uute materjalide kasutamine. Näiteks teha ettepanek kasutada uuenduslikke biomaterjale, mis põhinevad männi (*Pinus Sylvestris*) okastel, mida on töödeldud lubjaga, siseisolatsiooniks [30].

Siiski tuleb rõhutada, et ajalooliste hoonete eripära tõttu on energiatarbimist praktiliselt võimatu vähendada nullini. Vaheseinte soojusisolatsioon on piiratud ajalooliste hoonete arhitektuuri- ja säilitamisstandarditega [31].

Taani Kippinge kirik, mis asub Falsteri saarel Läänemere lähedal, tegeles samuti mikrokliima teemaga. Käesolevas uuringus analüüsiti katkendliku kütmise võimalust. Kõige olulisem järeldus oli, et 4-6-tunnine kütteperiood päevas on kõige tõhusam, samas kui lühemad kütteperioodid vähendavad veidi energiakadu [32].

Kuigi erinevate ajalooliste hoonete soojusvarustuse probleeme on hästi uuritud, võib kaugküte olla suurepärane lahendus ajalooliste linnaosade jaoks. Siiski on praegu vähe uuringuid kaugkütte kohta ajaloolistes linnaosades.

Ühes sellises uuringus uuriti Visby piirkonda Rootsis, mis on UNESCO maailmapärandi nimistusse kantud. Artiklis esitatakse meetodika, milles kasutatakse elutsükli kulude arvestust (LCC) ja hoonete kategoriseerimist [33].

Projekti raames viidi läbi küttesüsteemide majanduslik analüüs. Tulemused näitavad, et mitmekorruseliste kivi- ja puithoonete puhul on soojuspumbad ja puuküttekattlad kõige kuluefektiivsemad kütteleahendused. Kaugkütet on samuti analüüsitud kui elujõulist võimalust. Tulemuste kohaselt tuleb selleks, et kaugküte saaks konkureerida soojuspumpade ja puuküttekatteldega, alandada kaugkütte hinda vastavalt 23% ja 16%. Energiahindade jaotus Euroopas on nüüdseks dramaatiliselt muutunud ja kaugküte on muutumas kõige kuluefektiivsemaks võimaluseks nii rahaliselt kui ka CO₂-heitmete osas.

Teises töös uuriti Hollandis asuvate 19. sajandi lõpu hübriidsete linnaosade tüpomorfoloogilisi omadusi ja nende tulevase kliimaneutraalse energiasüsteemi võimalusi. Näitena võeti arvesse Zeeheldenkwartier'i piirkonda Haagis [34].

Zeeheldenkwartier on topoorfoloogilises mõttes vanadest triibulistest põldudest moodustatud ruudustik, mis asub põhimaanteedel vahel. Enamik avalikke hooneid asub siin. Suletud tänavatel on kauplused ja kitsastel elamutänavatel ridaelamud, mille fassaadid on hoonete joonel. Avalikud ruumid on kesklinnas asuvad rondid või avalike hoonetega väljakud, tavaliselt ilma haljasaladeta. Linnakvartalite perimeetrit ümbritsevad privaatsed sisehoovid. Ruumipuuduse tõttu on küttevõrgu paigaldamine keeruline ja ridaelamute müüritised võivad kergesti kahjustada. Enamik uutest linnahoonetest on korterid.

Üldise energiaplaani koostamine on siinkohal väljakutse. Kõige olulisem järelendus on tunnustada selliste linnaosade arhitektuurilisi ja linnaruumilisi omadusi ja eripärasid ning töötada välja konkreetsed õigusaktid ja eeskirjad isolatsiooni, hoolduse ja energiasüsteemide kohta. Teine järelendus strateegia kohta on, et ei tohi toetuda ühele üldisele lahendusele, vaid tuleb rakendada mitut liiki soojust pika aja jooksul. Parim strateegia soojuse ülemineku rakendamiseks on see, et üksikud ridaelamud renoveeritakse terviklikult "kast-kastis", eesmärgiga saavutada EPC B (soojuspump) või C (soojusvõrk) märgis. Elamuühistud saavad rakendada soojusvõrku linnade moderniseerimiseks, mis sobib ka avalike hoonete, näiteks koolide, instituutide ja tervishoiuasutuste jaoks suurte teede ääres. Õhk-vesi soojuspumpasid saab kasutada paremini soojustatud ridaelamutes, kus on juba olemas keskküttesüsteemid. Õhk-õhk-soojuspumpasid saab kasutada väiksemates korterites, kus on jagatud ruumid.

Teine uuring sisaldab vanalinna kaugküttega seotud konkreetsete probleemide analüüsi. Üks tuvastatud probleemidest on see, et kaugküttega liitumine on mõnes linnaosas raskem kui teistes linnaosades. Kaugküttevõrgu paigaldamine müüridesse on kolm korda kulukam kui võrgu paigaldamine väljaspool müürid, kuna pärast tänava üles kaevamist torude paigaldamiseks on vaja teha füüsilist tööd sillutiskivide paigaldamiseks [32].

Krakowi tuleks nimetada ühe eduka projektina ajaloolise linnaosa üleminekul kaugküttele, kus katlad on asendatud kaugküttega ja kohalikke heitkoguseid on vähendatud [35].

Teises uuringus vaadeldi soojusvarustuse võimalusi Brugge'is asuva Schipjes'i mõisa näitel. Modelica abil võrreldi erinevaid soojuse tootmise ja jaotamise süsteemide kombinatsioone, et leida kõige energiatõhusamad tehnilised lahendused kaugküttesüsteemile. Arvutused ja modelleerimine tõestavad, et hoone välispiirete optimeerimise abil on võimalik vähendada primaarenergia tarbimist rohkem kui 35%, säilitades samal ajal kultuuripärandi väärtuse [36].

Eespool nimetatud uuringutes ei ole käsitletud probleeme ja takistusi, mis on seotud kaugküttele kasutuselevõtu või laiendamisega vanalinnas. Selle uuringu tulemusena on välja toodud vanalinna kaugküttega seotud peamised probleemid ja välja töötatud meetodika, et määrata kindlaks kaugküttele täieliku ülemineku mõju ajaloolises kvartalis. Selle mõju arvutamiseks kasutatakse meetodikat Tallinna vanalinnas.

2. METOODIKA

2.1 Andmete kogunemine

Kõigepealt on kaugküttele täieliku ülemineku mõju kindlaksmääramiseks vaja analüüsida ajaloolise linnaosa soojusvajadust. Esialgseks uuringuks piisab üldistatud soojuskoormuse andmetest, mis põhinevad avalikult kättesaadavatel andmetel avatud allikatest: Ehitusregister, Maa-amet. Andmed hoone suletud netopinna ja soojusallika tüübi kohta on võetud Ehitusregistrist. Soojusallikate andmeid kontrolliti omakorda Maa-ameti andmebaasi (kitsendused) alusel ja täpsustati võrguomanikuga.

2.1.1 Ehitusregister

Ehitusregister (EHR) on riiklik andmekogu, mille kaudu saab esitada ja menetleda ehitamisega seotud dokumente nagu ehitusluba, ehitusteatis, kasutusluba, energiamärgis, jne ning vaadata ja hallata ehitiste (hooned ja rajatised) kohta käivat informatsiooni. Ehitusregistris on andmed nii olemasolevate kui kavandatavate ehitiste kohta [37].

Vanalinna pindala on 113 ha ja sellise teabe käsitsi töötlemine on väga energiamahukas protsess ning ehitiste koondvade tööriist, mis võiks tööd lihtsustada, sorteerides hooned linnaosa järgi, oli kirjutamise ajal uuendamisel. Õnneks olid Ehitusregistri töötajad abivalmid ja andsid vanalinna kohta teavet Exceli tabelina, mis säästis palju aega ja vaeva.

Käesoleva töö raames kasutati järgmisi andmeid:

- Hoone otstarve
- Suletud netopind /kõetav pind
- Soojusvarustuse liik
- Soojusallikas
- Energiaallikas
- Võrgu- või mahuti gaasi olemasolu

Hoone otstarve

Millise hoonega on tegemist? Kas on kortermaja, äri-, büroohoone, kirik või muuseum?

Suletud netopind/ kõetav pind

Andmebaasist puudusid sageli kõetava pinna andmed, mistõttu otsustati võrdsustada suletud netopind ja kõetav pind. Joonisel 2.1 on esitatud näide ühe maja Ehitusregistri andmetest.

Ehitise üldised tehnilised andmed

Ehitisealune pind (m ²)	1 899	ⓘ
Maapealse osa alune pind (m ²)		ⓘ
Maapealsete korruste arv	8	ⓘ
Maa-aluste korruste arv		ⓘ
Absoluutne kõrgus (m)		ⓘ
Kõrgus (m)		ⓘ
Pikkus (m)		ⓘ
Laius (m)		ⓘ
Sügavus (m)		ⓘ
Suletud netopind (m ²)	8 509,6	ⓘ
Köetav pind (m ²)		ⓘ
Maht (m ³)	40 346	ⓘ
Maapealse osa maht (m ³)		ⓘ
Üldkasutatav pind (m ²)		ⓘ
Tehnopind (m ²)		ⓘ

Joonis 2.1 Ehitiste suletud netopinna /köetav pinna andmed (väljavõtte Ehitusregistrist)

Soojusvarustuse liik

Kas tegemist on kaugküttega või kohtküttega? Aga väga tihti on määratud mõlemad soojusvarustuse liigid, nii nagu on näha joonisel 2.2

Soojusvarustuse liik

kaugküte kohtküte

Soojusallikas

elektriotsküte

Energiaallikas

elekter

Joonis 2.2 Ehitise soojusvarustuse liik (väljavõtte Ehitusregistrist)

Nagu on näha jooniselt 2.2, on soojusvarustuse, soojusallikate ja energiaallikate liikide vahel väga segane olukord, kuid täpsemalt on seda kirjeldatud punktis 2.2.2.

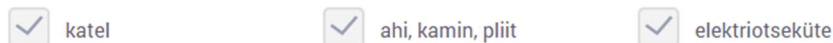
Soojusallikas

Ehitisregistri andmebaasiga töötades puutusin kokku 3 tüüpi soojusallikatega:

- Elektriotsküte
- Ahi, kamin pliit
- Katel

Mõnel juhul määratakse kõik soojusallikatüübid korraga, nagu on näha joonisel 2.3.

Soojusallikas



Joonis 2.3 Ehitise soojusallikas (väljavõte Ehitusregistrist)

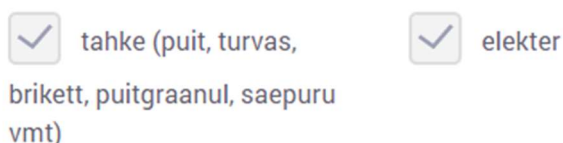
Energiaallikas

Ehitisregistri andmebaasiga töötades puutusin kokku 4 tüüpi energiaallikatega:

- Elekter
- Küttegaas
- Tahke (puit, turvas, brikett, puitgraanul, saepuru vmt)
- Vedelkütus

Mõnel juhul määratakse mitu soojusallikatüübid korraga, nagu on näha joonisel 2.4.

Energiaallikas



Joonis 2.4 Ehitise energiaallikas (väljavõte Ehitusregistrist)

Tuleb märkida, et energiaallikate all märgitud kütuseliik viitab ainult lokaalsele küttele. Kaugkütte puhul ei kajasta see teave kaugkütte saamiseks kasutatud tegelikku kütust.

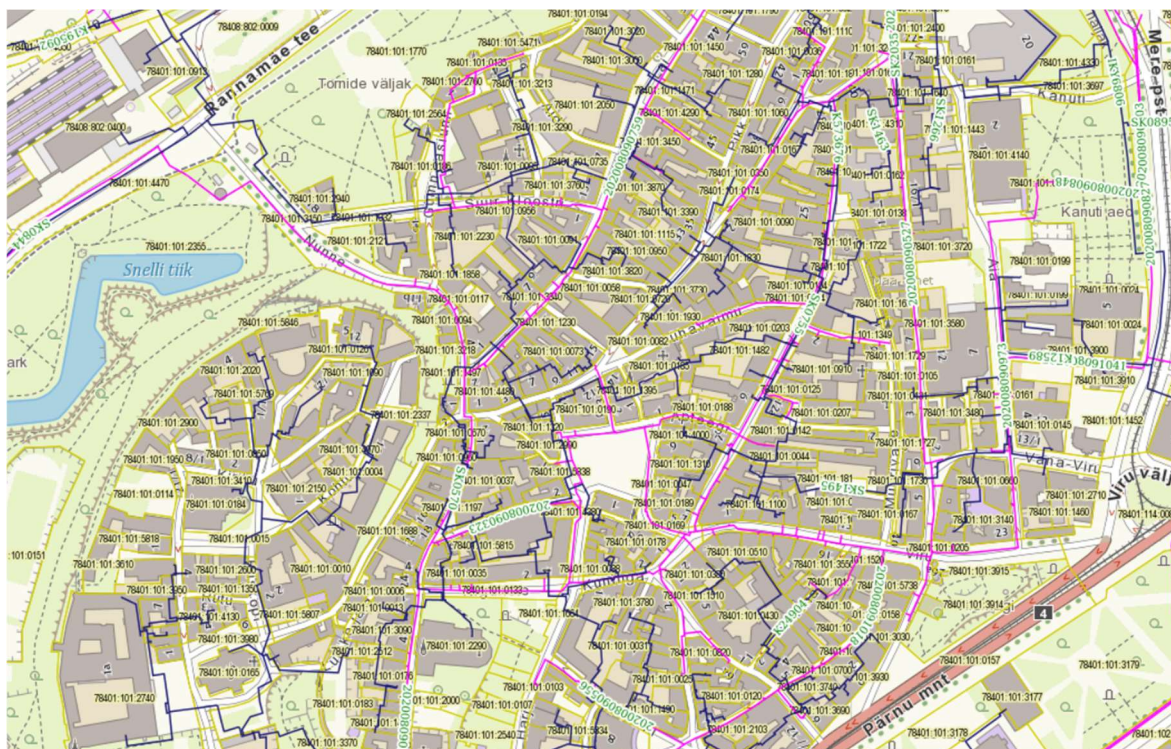
Võrgu- või mahuti gaasi olemasolu

See punkt sisaldab teavet hoone gaasivõrguga ühendamise kohta, kuid teave ei ole alati usaldusväärne.

2.1.2 Maa-ameti geoportal

Eesti geoportaal koosneb keskest veebilehest, ruumiandmete kataloogist, mis on metaandmete haldamise keskkond ja kaardiliidesest.

Kaardirakendus "Kitsendused" annab teavet piiranguid põhjustavate objektide kohta valitud alal. Käesolevas töös analüüsimise andmeid gaasi- ja kaugküttetorude kitsenduste kohta. Joonisel 2.5 on esitatud vanalinna gaasi- ja kaugküttevõrkude paigutus vastavalt kitsendused.maa-ameti kaardile [38].



Joonis 2.5 Vanalinnagaasi- ja kaugküttevõrgud (väljavõtte kitsendused.maa-ameti kaardisüsteemist)

2.2 Andmete analüüs

2.2.1 Keskmise aastane tarbimistegur

Kõigi vanalinnahoone tarbimise kohta ei olnud võimalik andmeid saada, seega valiti saadud andmetest välja võrdse suletud netopinnaga ja samasse ehitise otstarve tüüpi kuuluvad hooned ning analüüsiti nende aastane tarbimine. Sellest tuleneb keskmine aastane tarbimiskoeffitsient ($MWh \cdot m^2 / \text{aastas}$).

Kõik hooned jagunevad kahte tüüpi: elamud ja mitteamud. Kirikud (kuuluvad mitteamute hoonete hulka) on nende tarbimisharjumuste tõttu samuti eraldatud eraldi rühma. Seega on tegemist 3 tüüpi hoonetega:

- Elamud (1 tüüp)
- Mitteamud, v.a kirikud (2 tüüp)
- Kirikud (3 tüüp)

Elamud (1 tüüp)

Elamute hulka kuuluvad ca 143 hooned vanalinnas. Elamute puhul keskmine aastane tarbimistegur arvutuse järgi on $0,13 MWh/m^2$.

Mitteelamud, v.a kirikud (2 tüüp)

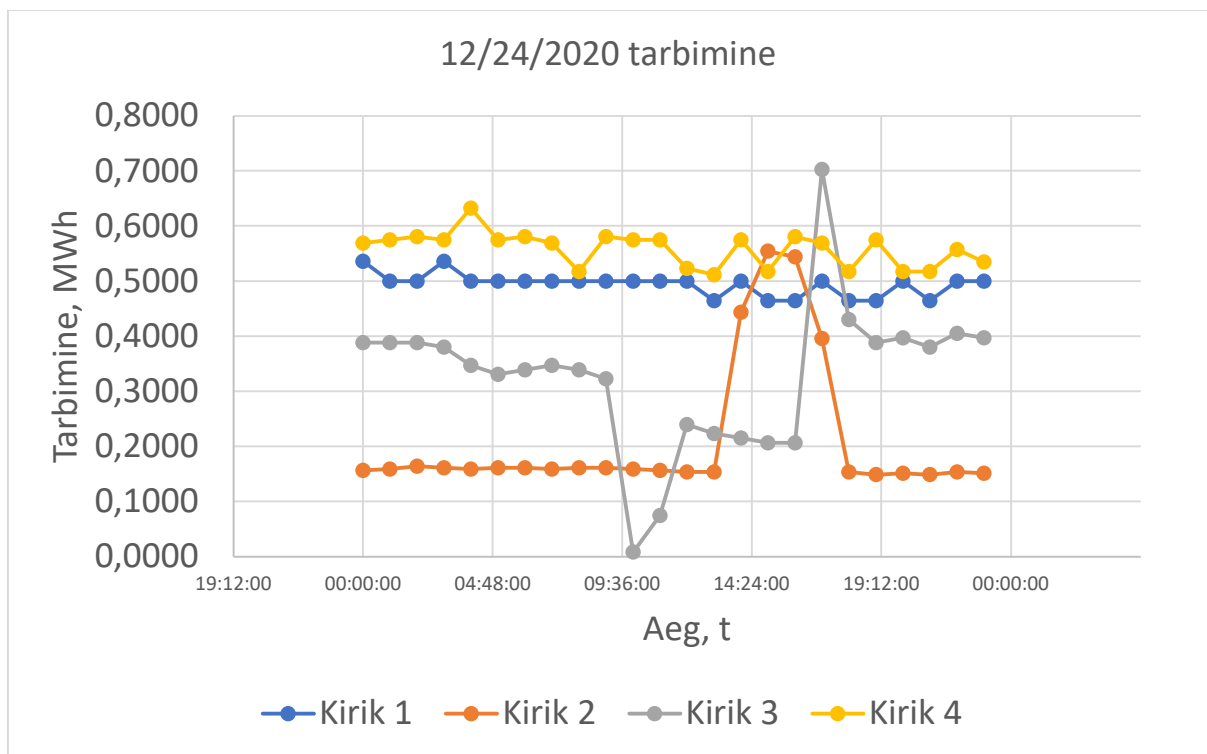
Selle hoonetüübi koefitsiendi arvutamisel kasutati sama põhimõtet nagu elamute puhul. Keskmine aastane taribimistegur arvutuse järgi on 0,137 MWh/m².

Kirikud (3 tüüp)

Hoonete aastase tarbimise analüüs on toonud esile eraldi grupi – kirikud.

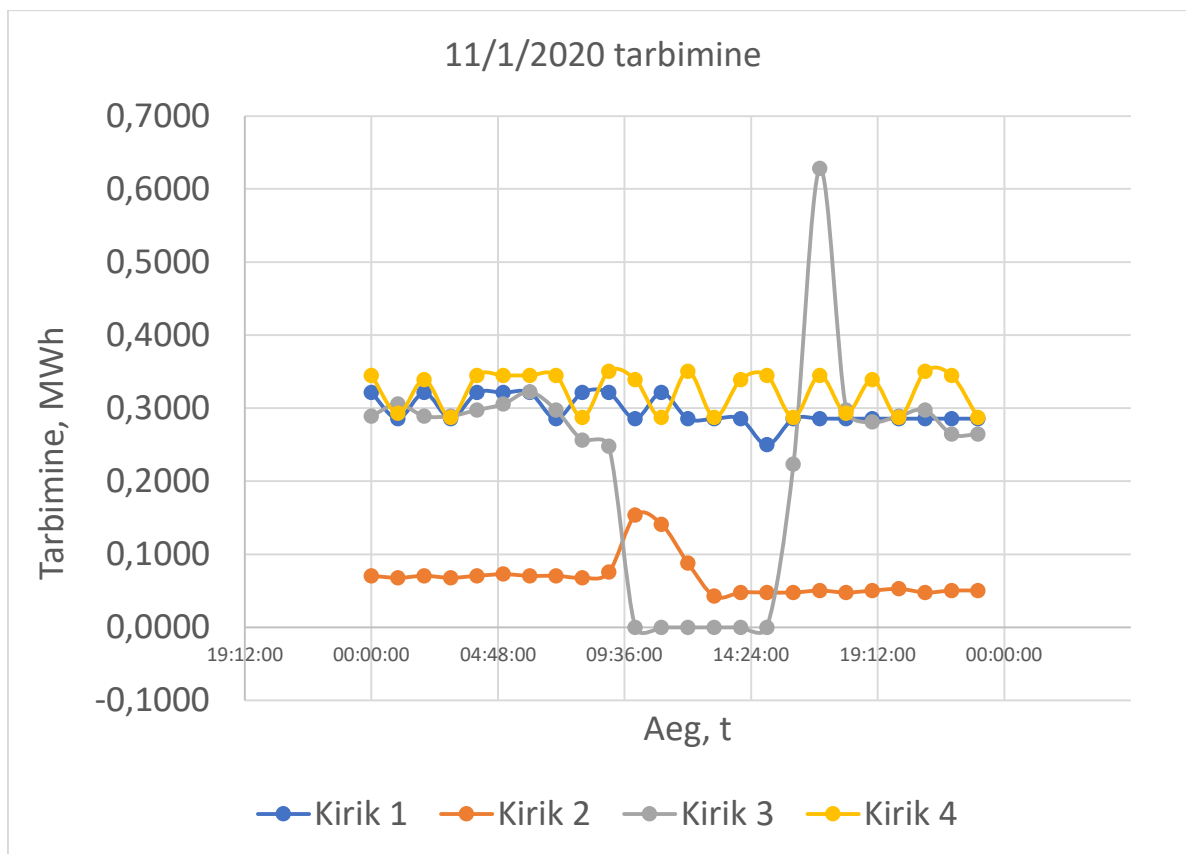
Kirikute keskmine aastane taribimistegur arvutuse järgi on 0,199 MWh/m².

Analüüs näitas, et kirikute soojatarbimine mitte ainult ei varieeru sõltuvalt nädalapäevast ja aastaajast, vaid see ei ole ka päeva jooksul ühtlane. Tüüp 3 energiatarbimine sõltub kirikupühadest/teenistustest. Joonis 2.6 näitab kirikute 24-tunnist energiatarbimist jõulupühal.



Joonis 2.6 Kirikute energiatarbimine 24.12.2020

Joonis 2.7 näitab kirikute 24-tunnist energiatarbimist argipäeval.



Joonis 2.7 Kirikute energiatarbimine 01.11.2020

Järeldused

Kuna 1. ja 2. tüüpi hoonete keskmine aastane tarbimine on ligikaudu sama, kasutatakse arvutuste lihtsustamiseks keskmist tegurit $0,134 \text{ MWh/m}^2$.

Kirikute tarbimine on arvutatud koefitsiendiga $0,199 \text{ MWh/m}^2$.

2.2.2 Soojusallikas

Ehitusregistra andmebaasis on märgitud soojusallikad, energiaallikad ja soojusvarustuse liik. Need andmed on väga erinevad ja ei lähe kohati kokku. Seetõttu on vastu võetud ühel või teisel probleemil põhinev tegevusalgoritm.

Peamised probleemid soojusallika kindlakstegemisel

- Mitu soojusallikat
- Soojusallikas puudub
- Vigased andmed

Mitu soojusallikat

Kui hoonele on määratud rohkem kui üks soojusallikas, võetakse arvutuste lihtsustamiseks arvesse ühte kõige tõenäolisemat allikat. Tabelis 2.1 on esitatud soojusallikate valik, kui on olemas rohkem kui üks allikas.

Tabel 2.1 Soojusallikate valik

Soojusallikas	Kaugküte	Elekter	Gaas	Vedelkütus	Put
Kaugküte	Kaugküte	Kaugküte	Kaugküte	Kaugküte	Kaugküte
Elekter	Kaugküte	Elekter	Elekter	Elekter	Elekter
Gaas	Kaugküte	Elekter	Gaas	Gaas	Gaas
Vedelkütus	Kaugküte	Elekter	Gaas	Vedelkütus	Vedelkütus
Put	Kaugküte	Elekter	Gaas	Vedelkütus	Puit

Soojusallikas puudub

Kui Ehitusregister ei sisaldanud andmeid hoone soojusallika kohta, kontrolliti andmeid kaugküttesüsteemi võrguvaldaja andmebaasist. Kui ka seal ei olnud andmeid, kontrolliti välisvõrgu (elektrivõrk, gaasivõrk) servituutide andmeid Maa-ameti andmebaasist. Kui Maa-ameti (kitendused) kohaselt on hoonel gaasi- ja elektriühendus, siis võeti arvesse gaasi kui soojusallikat. Kaugkütte võimalust ei kaalutud, kui andmed ei olnud kaugküttesüsteemi võrguvaldaja kliendiandmebaasis kättesaadavad.

Vigased andmed

Mõnedel hoonetel on Ehitusregistris ebaõiged/aegunud andmed.

Näiteks on soojusallikaks märgitud vedelkütus, kuid hoone on kaugküttetarbija. Või on Maa-ameti andmebaasis märgitud, et hoone on ühendatud gaasivõrguga, kuid Ehitusregistris on soojusallikaks märgitud puit. Sellistel juhtudel on kasutatud kõige tõenäolisemat kontseptsiooni, et määrata soojusallikas (vaata punkt "Mitu soojusallikat").

2.2.3 Energiatõhuse näitaja (AFUE)

Hoone aastase energiatarbimise määramiseks võetakse arvesse kütuse (soojusallika) energiatohusust. Tabelis 2.2 on esitatud energiatohususe näitajad sõltuvalt soojusallikast.

Tabel 2.2 Energiatõhuse näitaja soojusallikate järgi

Soojusallikas	Energiatõhuse näitaja
Kaugküte	*
Elekter	1
Gaasikatel	0,85
Puukatel	0,7
Õlikatel	0,7

*Kaugküte energiatõhuse näitaja ei võta arvesse, kuna klient saab soojust muundatud kujul.

Arvutused on tehtud kõige levinumate kodumajapidamistes kasutatavate katlatüüpide kohta.

2.2.4 Aastase tarbimine

Aastase tarbimine (MWh/aatas) arvutatakse järgmise valemiga :

A (suletud netopind, m²) x **q** (keskmise aastase tarbimise tegur, MWh/m²) x **AFUE** (energiatõhuse näitaja).

2.2.5 Primaarenergia tegur (PEF)

Tegur, mis võtab arvesse tarnitud energia tootmiseks vajaliku primaarenergia kasutamist ja selle mõju keskkonnale [39].

Tallinna kaugküttesüsteem on märgitud tõhusaks kaugküttesüsteemiks, seega on selle koefitsient kõige madalama väärtusega [40].

Tabelis 2.3 on esitatud energiakandjate kaalumistegurid (primaarenergia tegurid) sõltuvalt soojusallikast [39].

Tabel 2.3 Primaarenergia tegurid

Soojusallikas	Primaarenergia tegur (PEF)
Kaugküte	0,65
Elekter	2
Gaas	1
Put	0,75
Vedelkütus	1

2.2.6 Primaarenergia aastane tarbimine

Primaarenergia aastane tarbimine (MWh/aastas) arvutatakse järgmise valemiga :
 Q_t (aastase tarbimine, MWh/aastas) x **PEF**(primaarenergia tegur)

2.2.7 CO₂ eriheitetegur

Andmed CO₂-eriheite teguri kohta pärinevad erinevatest allikatest [40], [41], [42]. Elektri tootmisel on põlevkivi ja põlevkiviõli kasutamine tootmises oluline tegur, mis mõjutab CO₂ eriheiteteguri. Selle põhjal arvutatakse igal aastal CO₂ eriheitetegur ümber. Tabelis 2.4 on esitatud CO₂ eriheitetegurid sõltuvalt soojusallikast.

Tabel 2.4 CO₂ eriheitetegurid

Soojusallikas	CO ₂ , tCO ₂ /MWh
Kaugküte	0,063
Elekter	0,687
Gaas	0,202
Puit	0*
Vedelkütus	0,2585

*Taastuva biomassi eriheide on 0

2.2.8 Aastane CO₂ heide

Aastane CO₂ heide (tonn/aastas) arvutatakse järgmise valemiga:

Q_p (primaarenergia aastane tarbimine, MWh/aastas) x **CO₂** eriheitetegurid (tCO₂/MWh)

2.2.9 Energia hind

Energiahinnad on võetud erinevatest allikatest, mis põhinevad piirkonna võrguomanikul [43], [44], [45], [46], [47].

Energiahinnad on esitatud 2022. aasta veebruari seisuga, välja arvatud vedelkütused (2020. aasta andmed). Tabelis 2.5 on esitatud energiahinnad käibemaksuga (käibemaksu määr on 20%).

Tabel 2.5 Energia hind

Energia	euro/MWh
Kaugküte	116,58
Elekter	210,12
Gaas	134,16
Put	39,70
Vedelkütus	510,00

2.2.10 Uute kaugküttetorude paigaldamisega seotud probleemid

Kaugküttetorude paigaldamisega seotud keerukuse tuvastamiseks on kasutatud järgmisi vahendeid:

- Eesti õigusraamistiku uurimine tehnovõrkude ja eelkõige kaugküttesüsteemide ehitamise ja projekteerimise kohta, kusjuures erilist tähelepanu on pööratud muinsuskaitsele.

Ehitusseadustik, Kaugkütteseadus, Muinsuskaitseadus, määrus nr 9 "Tallinna kaugküttepiirkonna piirid, kaugküttevõrguga liitumise ja sellest eraldumise tingimused ja kord, kaugkütte üldised kvaliteedinõuded ja võrguettevõtja arenduskohustused", EVS 843:2016 Linnatänavad.

- Suhtlemine kaugküttesüsteemide projekteerimise ja ehitamise ekspertidega Oma igapäevatoos tegelen otseselt torustike projekteerimisega (olen K-Projekt ASI keskkonnatehnika spetsialist). Samuti osalen koolitustel, kus kolleegid, näiteks HeatConsultist, jagavad oma kogemusi.

- Kirjanduse/artiklite ülevaade (teiste riikide kogemused).

Erinevate autorite teadusartiklite uurimine olemasolevate kaugküttetorude rekonstrueerimise ja uute torude paigaldamise kohta.

2.2.11 Stsenaariumid

Analüüsis on kasutatud kolme stsenaariumi vanalinna küttesüsteemi kohta:

- Stsenaarium A. Praegune olukord
- Stsenaarium B. Gaasiküttega keskküttega hoonete üleminek kaugküttele
- Stsenaarium C. Kõigi hoonete, sealhulgas elektriküttega hoonete üleminek kaugküttele.

Soojusvajadus on kõigi kolme stsenaariumi puhul sama. Stsenaarium B eeldab, et kõik keskküttega hooned lähevad üle kaugküttele. Nende hoonete puhul on üleminek lihtsam kui elektri- või ahjuküttega majade puhul.

Stsenaarium C puhul eeldatakse, et kõik hooned lülitatakse kaugküttele.

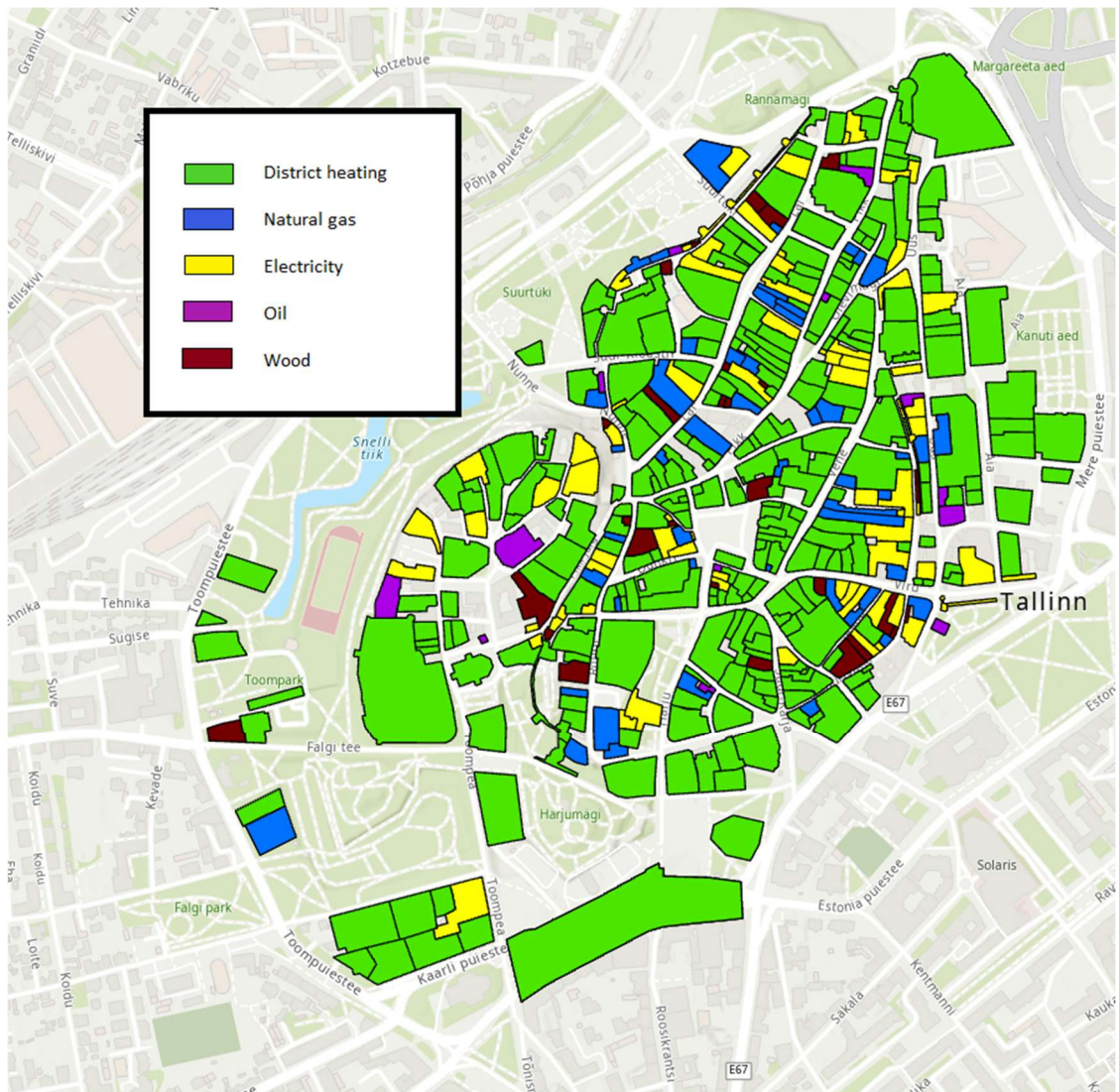
Kõiki stsenaariume võrreldi kolme näitaja alusel:

- Primaarenergia tarbimine
- CO₂ heitmed
- Tarbijale suunatud küttekulud.

3.TULEMUSED

3.1 Stsenaarium A

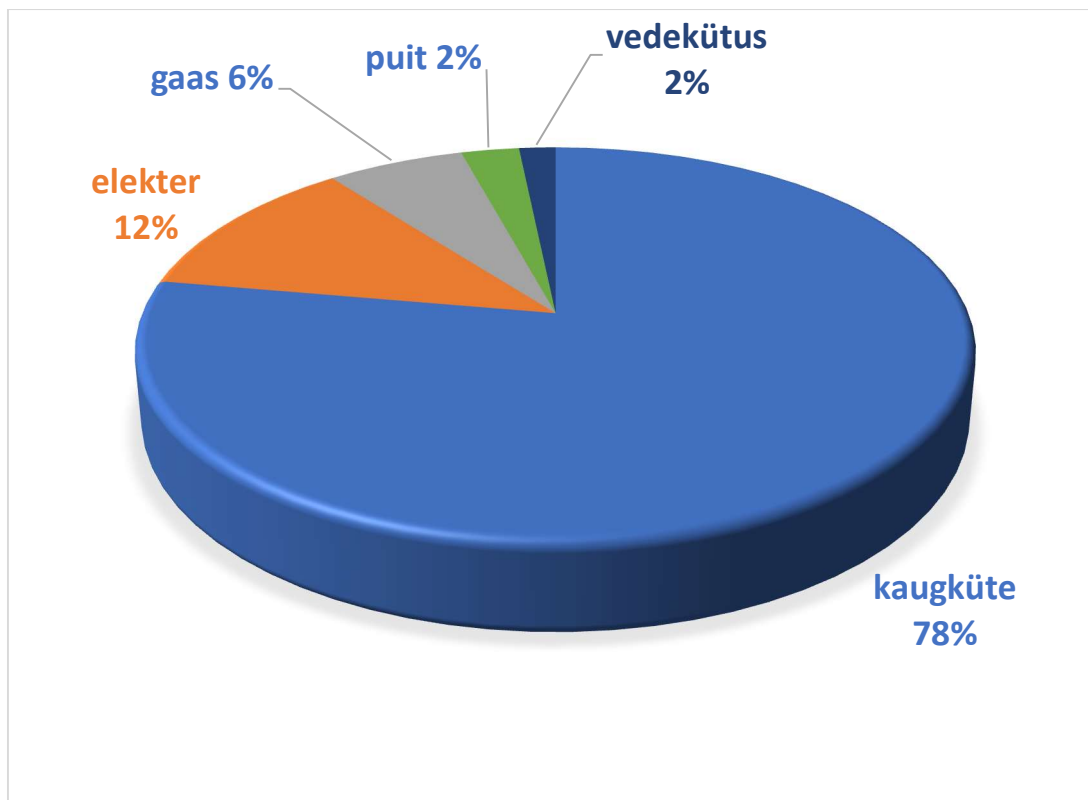
Vanalinna energiatarbimise analüüsis vaadeldi 517 erineva otstarbega hoonet, alates elamutest ja kontoritest kuni kirikute ja muuseumideni. Joonisel 3.1 on esitatud kaart, mis põhineb kogutud andmetel [48]. Tallinna vanalinna küttesüsteem visualiseeriti Arc GIS Pro abil. Andmed on saadud Ehitisregistrist ja neid on töödeldud vastavalt 2. peatükis kirjeldatud metodikale. Andmete visualiseerimine kaardi abil on täiendav vahend kogutud andmete kontrollimiseks: kas kogu teave on lisatud ja korrektselt kuvatud.



Joonis 3.1 Tallinna vanalinna kaart, kus on näidatud hoed soojusvarustuse allikate kaupa

3.1.1 Soojusvajadus

Vanalinna piirkonnas soojusvajadus arvutuse järgi on umbes 93466,53MWh/aastas. Andmete kogumise tulemused näitasid, et 78% hoonetest on kaugkütteühendusega, 12% on elektriküttega, 6% gaasiküttega, 2% puuküttega ja 2% vedelküttega. Joonis 3.2 näitab soojusallikate jaotust aastase soojusvajaduse järgi.



Joonis 3.2. Soojusallikate jaotus

Tabelis 3.1 on toodud soojusvajadus sõltuvalt soojusallikast

Tabel 3.1 Aastane soojusvajadus

Soojusallikas	Soojusvajadus, MWh/aastas
Kaugküte	72625,81
Elekter	11031,59
Gaas	5803,4
Puit	2442,26
Vedelkütus	1536,47

3.1.2 Primaarenergia tarbimine

Vanalinna piirkonnas aastane primaarenergia tarbimine arvutuse järgi on umbes 80926,7 MWh/aastas.

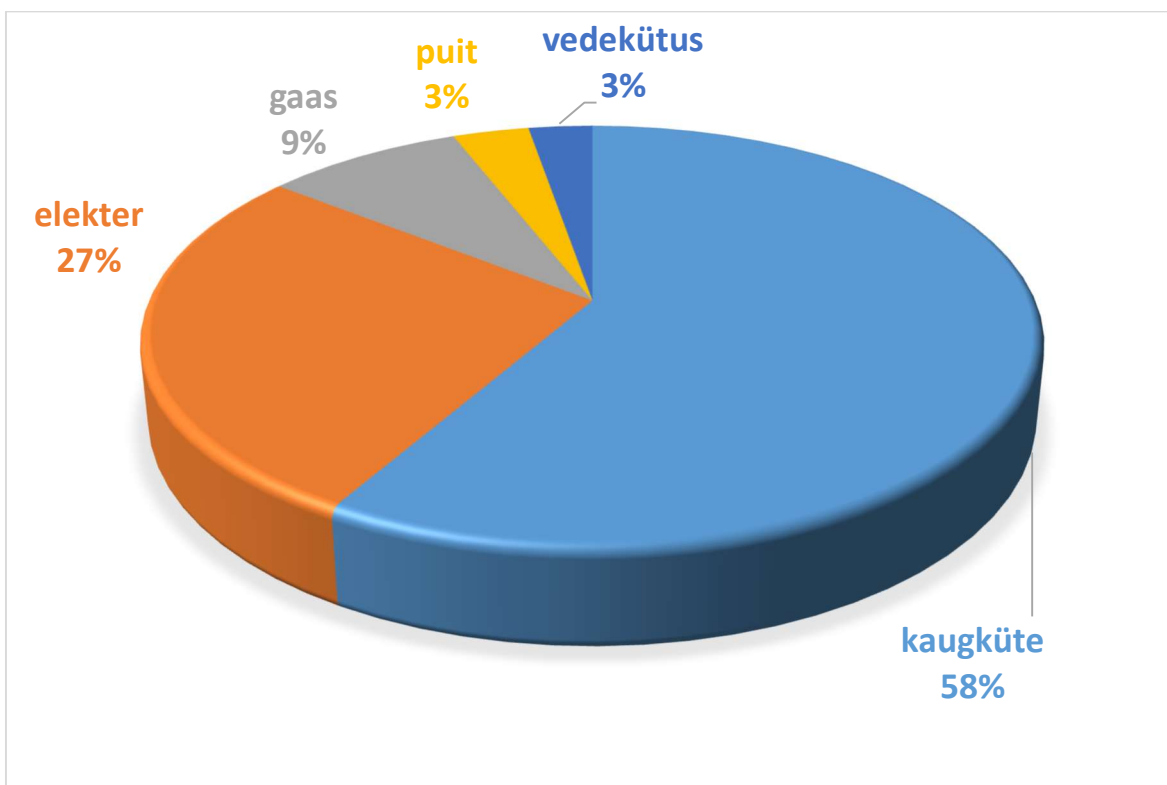
Tabelis 3.2 on toodud tarbitud primaarenergia sõltuvalt soojusallikast.

Tabel 3.2 Aastane tarbitud primaarenergia

Soojusallikas	Tarbitud primaarenergia, MWh/aastas
Kaugküte	47224,32
Elekter	22063,18
Gaas	6827,53
Puit	2616,70
Vedelkütus	2194,96

Andmete kogumise tulemused näitasid järgmist primaarenergia jaotust soojusallikate vahel: kaugküte 58%, elekter 27%, gaas 9%, puit 3%, ja vedelkütus 3%.

Joonis 3.3 näitab soojusallikate jaotust aastase tarbitud primaarenergia järgi.



Joonis 3.3 Soojusallikate jaotus tarbitud primaarenergia järgi

3.1.3 CO₂ heitkogus

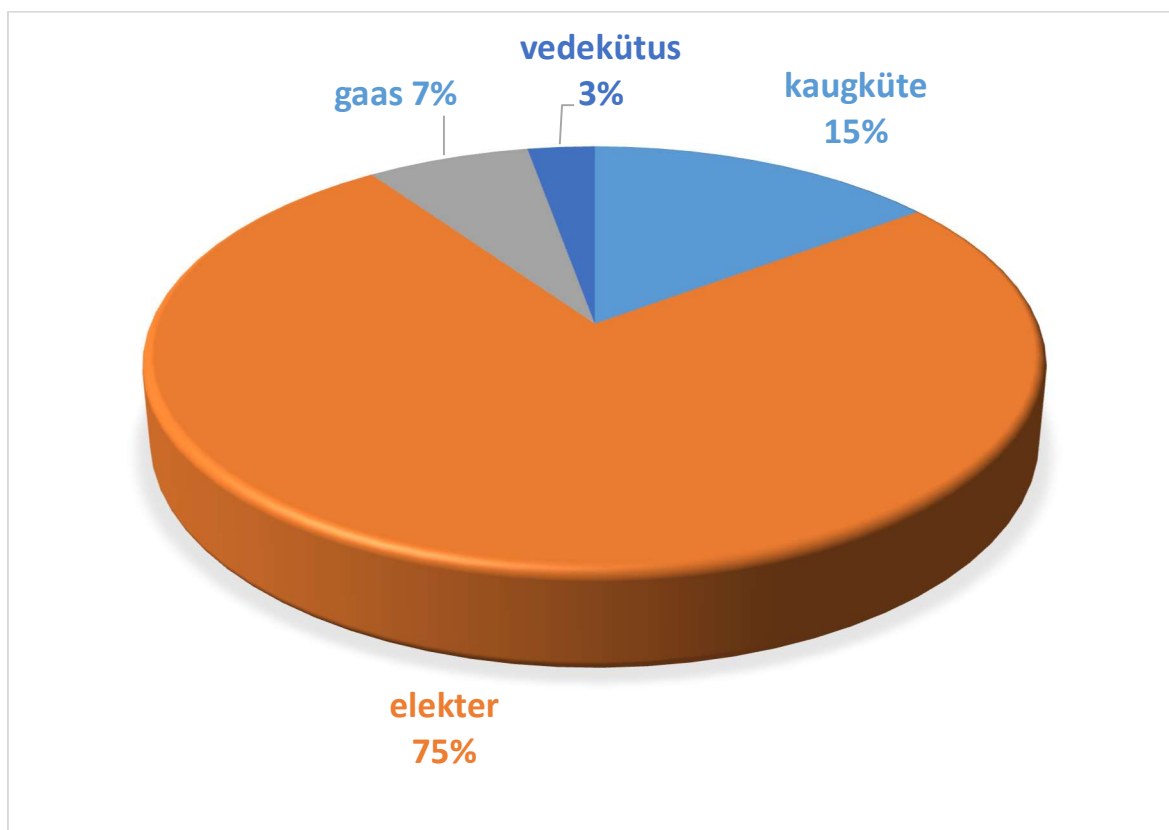
Vanalinnas tekib olemasoleva küttesüsteemi põhjal ca 20079 tonni CO₂ emissiooni aastas. Tabelis 3.3 on toodud aastane CO₂ heitkogust sõltuvalt soojusallikatest.

Tabel 3.3 Aastane CO₂ heitkogus

Soojusallikas	CO ₂ heitkogus, tonn/aastas
Kaugküte	2975,13
Elekter	15157,40
Gaas	1379,16
Put	0
Vedelkütus	567,40

Sellest 75% moodustab elektrienergia, 15% moodustab kaugküte, 7% gaas ja 3% vedelkütused.

Joonis 3.4 näitab soojusallikatest pärinevate CO₂-heidete jaotust aastase energiatarbimise järgi.



Joonis 3.4 CO₂ heitmete jaotus

3.1.4 Tarbijale suunatud küttekulud

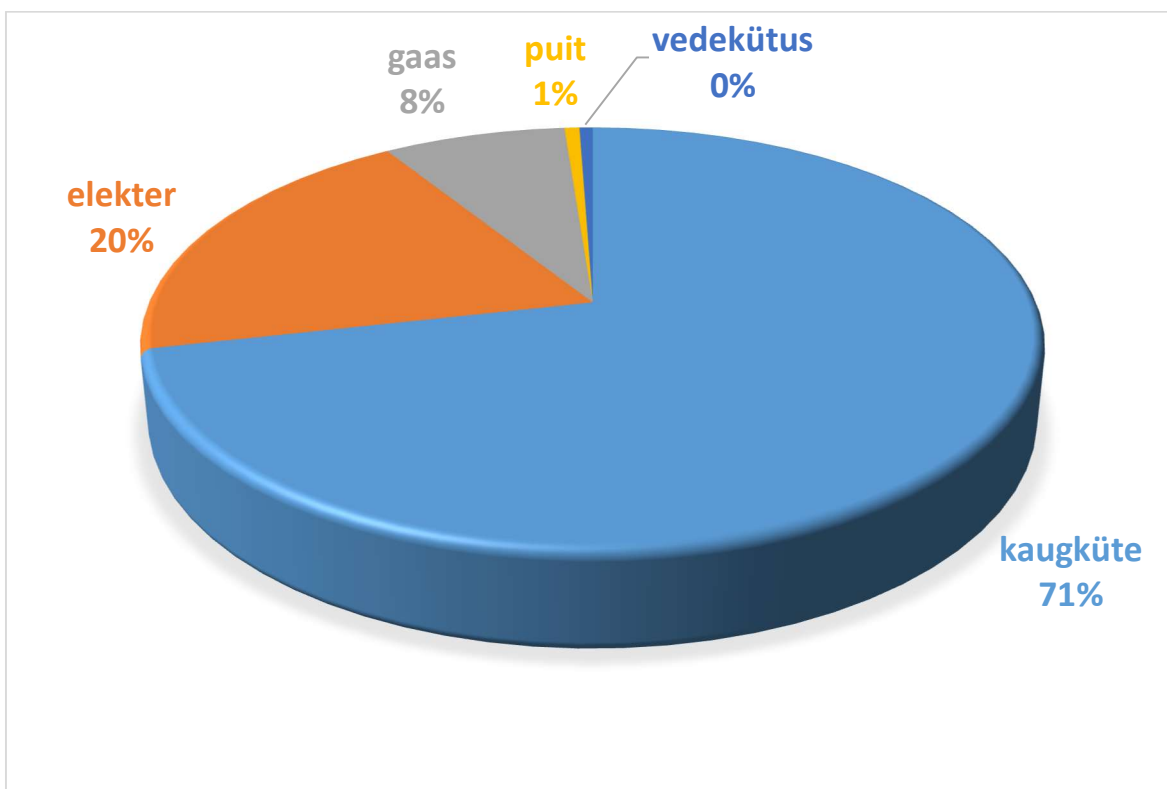
Olemasoleva küttesüsteemiga on vanalinna piirkonna küttekulud 11,8 mln euro/aastas ehk 126,7 euro/MWh. Tabelis 3.4 on esitatud aastased küttekulud vastavalt soojusallikatele.

Tabel 3.4 Aastased küttekulud

Soojusallikas	Maksumus mln euro/aastas
Kaugküte	8,46
Elekter	2,31
Gaas	0,91
Put	0,07
Vedelkütus	0,07

Sellest 71% moodustab kaugküte, 20% moodustab elekter, 8% gaas, 1% puit ja alla 1% vedelkütus.

Joonis 3.5 näitab soojusallikate kulude jaotust aastase energiatarbimise järgi.



Joonis 3.5 Küttekulude jaotus

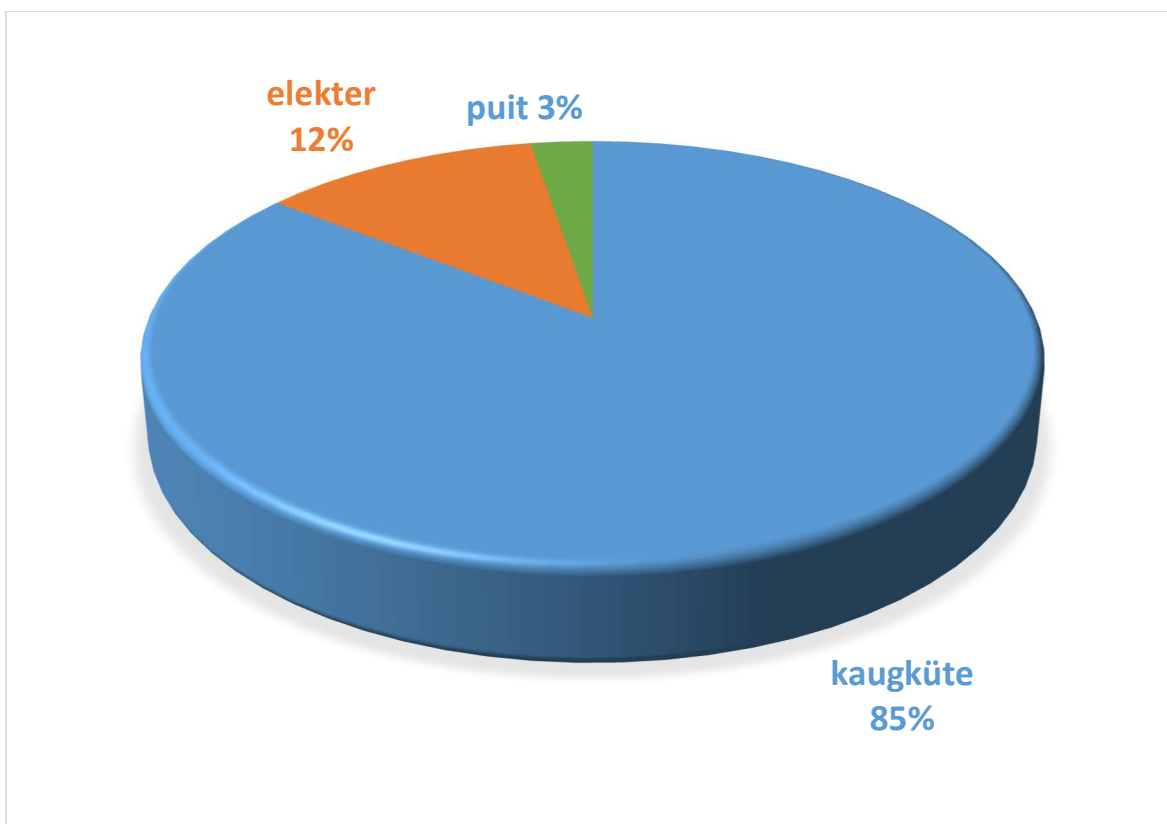
3.2 Stsenaarium B

Stsenaarium B eeldab, et kõik keskküttega hooned lähevad üle kaugküttele.

3.2.1 Soojusvajadus

Aastane soojusvajadus jääb muutmata, 93466,53MWh/aastas.

Stsenaariumis B on kaugküte osakaal vanalinna küttesüsteemis 85%, 12% elektrikütte ja 3% puuküttekatelde osakaal. Joonis 3.6 näitab soojusallikate jaotust vanalinnas stsenaariumi B korral.



Joonis 3.6 Soojusallikate jaotus stsenaariumi B korral

Tabelis 3.5 on toodud soojusvajadus stsenaariumi B korral.

Tabel 3.5 Soojusvajadus stsenaariumi B korral

Soojusallikas	Soojusvajadus, MWh/aastas
Kaugküte	79992,68
Elekter	11031,59
Puit	2442,26

3.2.2 Primaarenergia tarbimine

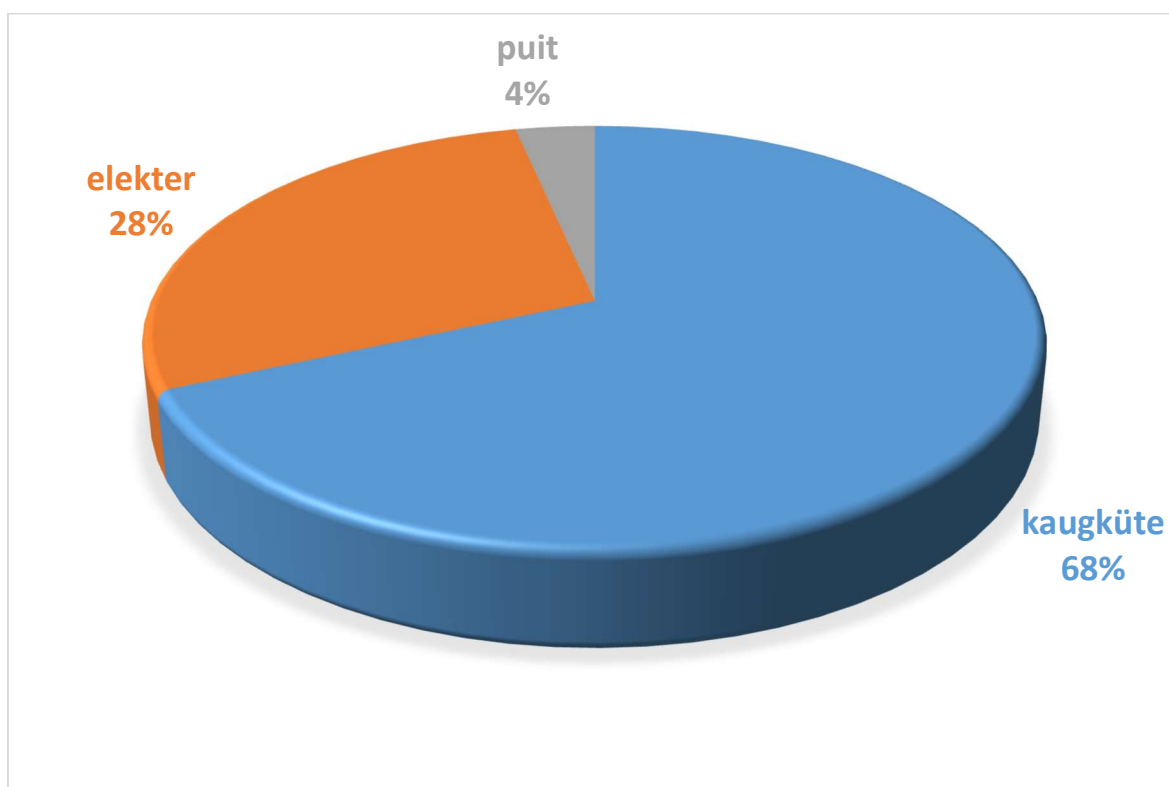
Vanalinna piirkonnas aastane primaarenergia tarbimine stsenaariumi B puhul arvutuse järgi on umbes 77871,4 MWh/aastas. Tabelis 3.6 on toodud tarbitud primaarenergia sõltuvalt soojusallikast stsenaariumi B korral.

Tabel 3.6 Aastane tarbitud primaarenergia stsenaariumi B korral

Soojusallikas	Tarbitud primaarenergia, MWh/aastas
Kaugküte	53191,49
Elekter	22063,18
Puit	2616,70

Stsenaariumi B puhul primaarenergia jaotust soojusallikate vahel on järgmine: kaugküte 68%, elekter 28%, puit 4%.

Joonis 3.7 näitab soojusallikate jaotust aastase tarbitud primaarenergia järgi stsenaariumi B korral.



Joonis 3.7 Soojusallikate jaotus tarbitud primaarenergia järgi stsenaariumi B korral

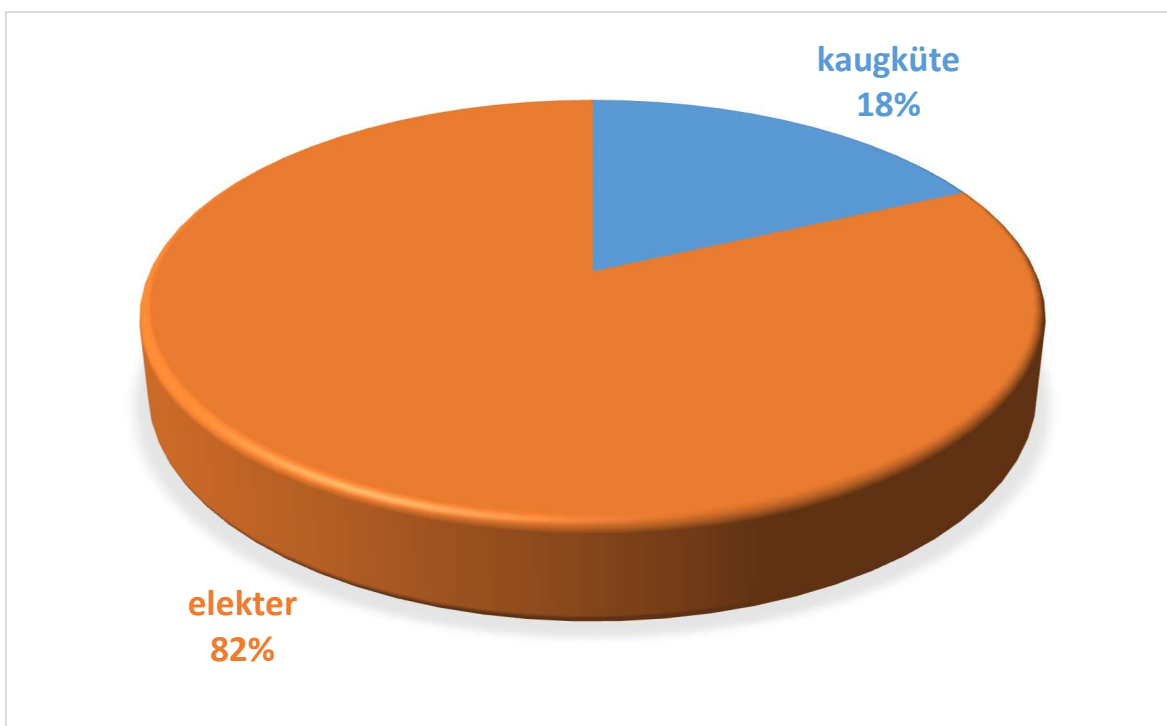
3.2.3 CO₂ heitkogus

Stsenaariumi B kohaselt on aastane CO₂-heitkogus 18508 tonni. Tabelis 3.7 on toodud aastane CO₂ heitkogust sõltuvalt soojusallikatest.

Tabel 3.7 Aastane CO2 heitkogus stsenaariumi B korral

Soojusallikas	CO2 heitkogus, tonn/aastas
Kaugküte	3331,49
Elekter	15157,40

Sellest 82% moodustab elektriküte ja 18% kaugküte. Joonis 3.8 Soojusallikatest pärinevate CO2 heitkoguste jaotus aastase energiatarbimise järgi.



Joonis 3.8 CO₂ heitmete jaotus stsenaariumi B korral

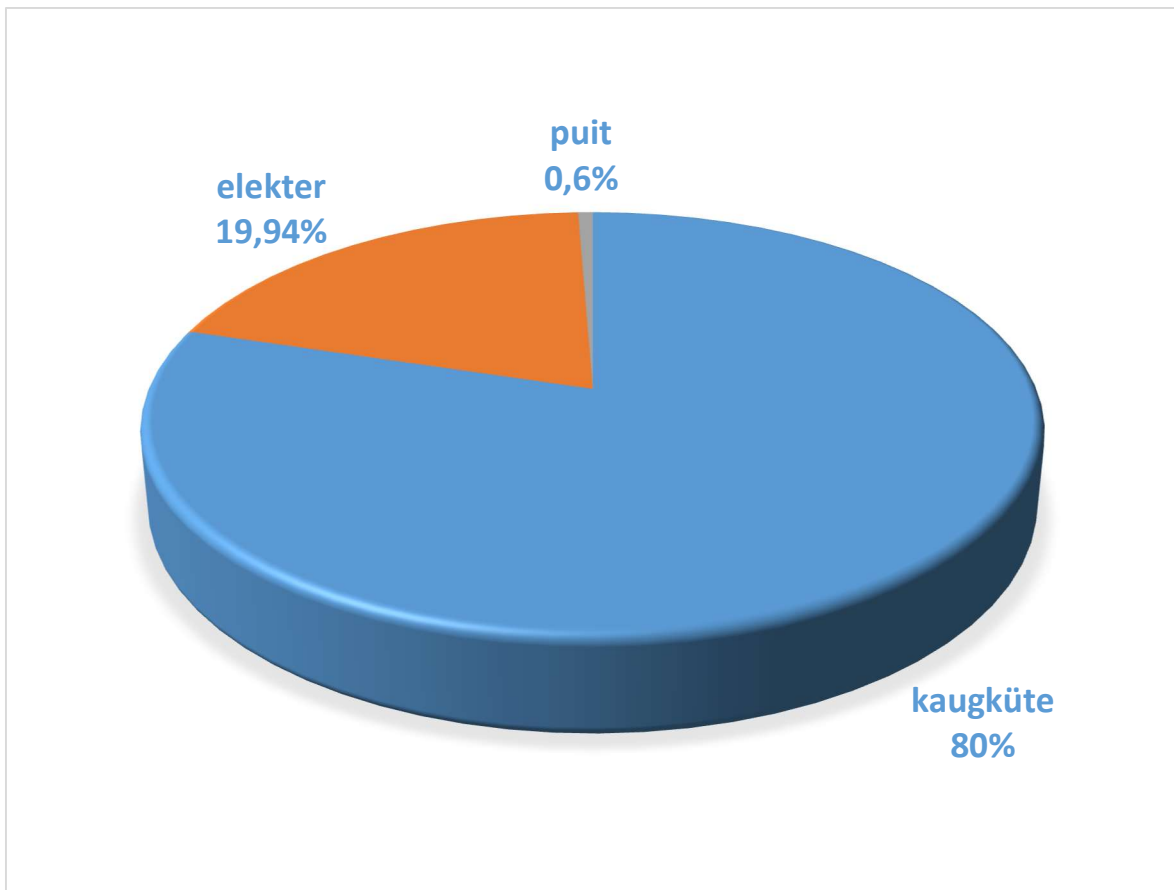
3.2.4 Tarbijale suunatud küttekulud

Stsenaariumi B puhul on vanalinna piirkonna küttekulud 11,7 mln euro/aastas ehk 126,1 euro/MWh. Tabelis 3.8 on esitatud aastased küttekulud vastavalt soojusallikatele.

Tabel 3.8 Aastased küttekulud stsenaariumi B korral

Soojusallikas	Maksumus mln euro/aastas
Kaugküte	9,32
Elekter	2,31
Put	0,07

Sellest 80% moodustab kaugküte, 19,94% moodustab elekter ja alla 1% puit. Joonis 3.9 näitab soojusallikate kulude jaotust aastase energiatarbimise järgi stsenaariumi B korral.



Joonis 3.9 Küttekulude jaotus stsenaariumi B korral

3.3 Stsenaarium C

Stsenaarium C puhul eeldatakse, et kõik hooned lülitatakse kaugküttele.

3.3.1 Soojusvajadus

Aastane soojusvajadus jääb sama 93466,53MWh/aastas.

3.3.2 Primaarenergia tarbimine

Vanalinna piirkonnas aastane primaarenergia tarbimine stsenaariumi C puhul arvutuse järgi on umbes 60753,3 MWh/aastas.

3.3.3 CO₂ heitkogus

Stsenaariumi C kohaselt on aastane CO₂-heitkogus 3828 tonni.

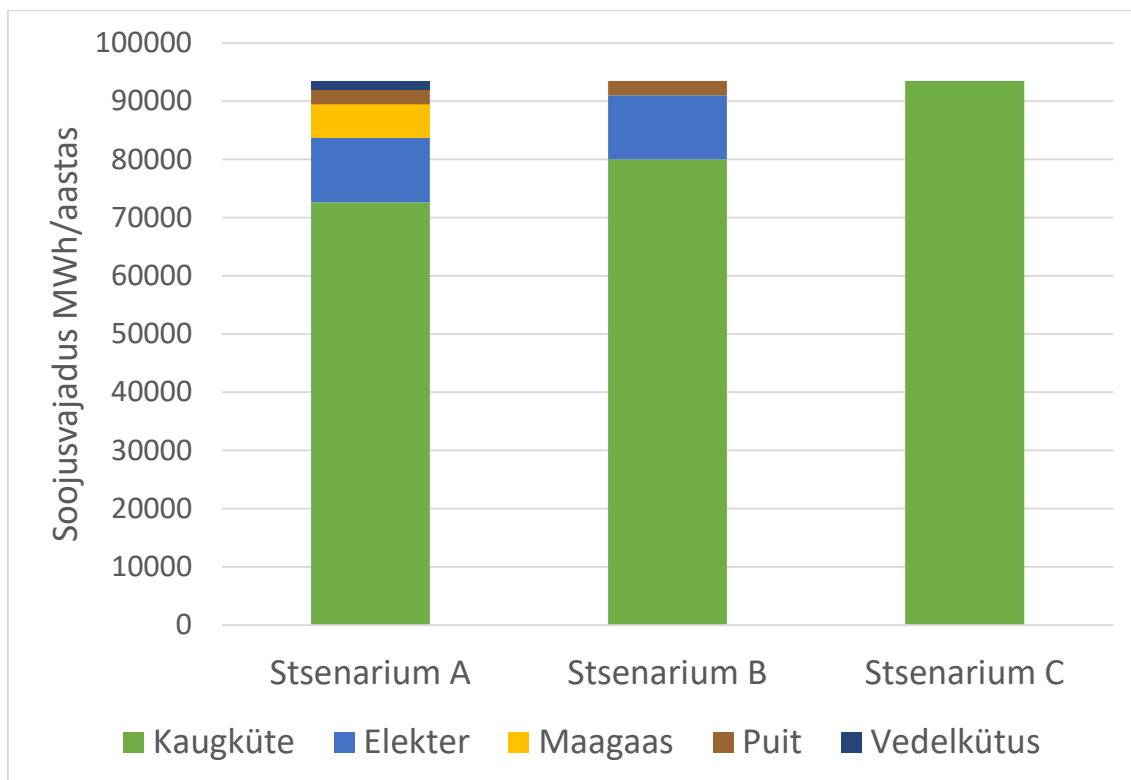
3.3.4 Tarbijale suunatud küttekulud

Stsenaariumi C puhul on vanalinna piirkonna küttekulud 10,3 mln euro/aastas ehk 110,7 euro/MWh.

3.4 Stsenaariumite võrdlus

3.4.1 Soojusvajadus

Aastane soojusvajadus on kõigi kolme stsenaariumi puhul sama 93466,53MWh/aastas. Stsenaariumi B puhul võib kaugkütte osakaalu suurendada 7% võrra võrreldes stsenaariumiga A ning stsenaariumi C puhul – 22%. Joonisel 3.10 võrreldakse primaarenergia osakaalu.



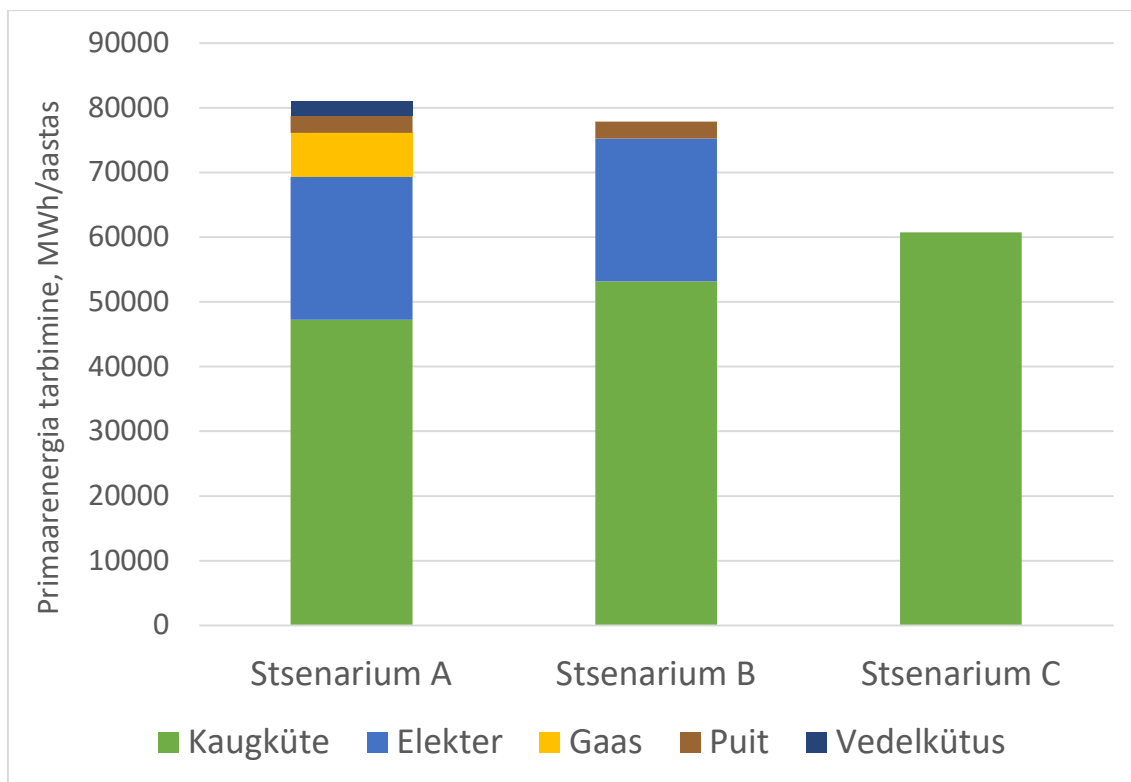
Joonis 3.10 Tallinna vanalinna soojusvarustuse tarbimine

3.4.2 Primaarenergia tarbimine

Kuna Tallinna kaugküttevõrku peetakse energiatõhusaks, kuna primaarenergia tegur on 0,65, vähendab kaugkütte osakaalu suurendamine primaarenergia tarbimist.

Vanalinna piirkonnas olemasoleva küttesüsteemi aastane primaarenergia tarbimine arvutuse järgi on umbes 80926,7 MWh/aastas. Sellest 58% moodustab kaugküte, 27% moodustab elektrienergia, 9% gaas 3% puit ja 3% vedelkütus. Stsenariumi B järgi on aastane primaarenergia tarbimine 77871,4 MWh/aastas. Sellest 68% moodustab kaugküte, 28% elektrienergia ja 4% puit. Stsenariumi C järgi on aastane primaarenergia tarbimine 60753,3 MWh/aastas.

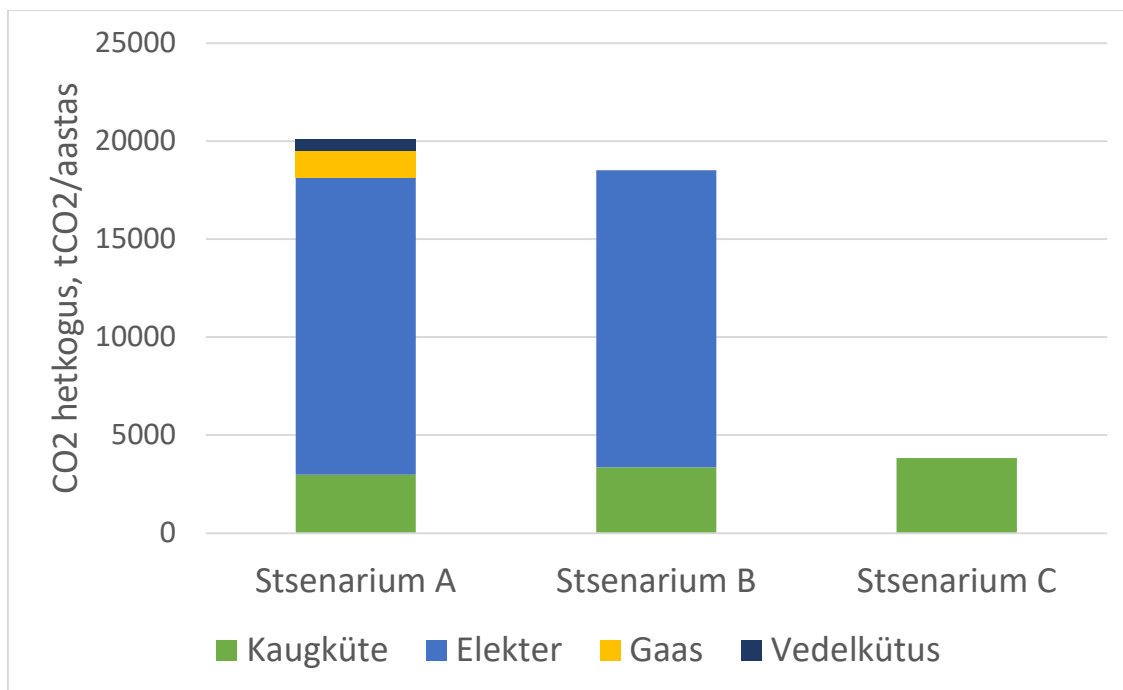
Stsenariumi B puhul võib primaarenergia tarbimist vähendada 4% võrra võrreldes stsenariumiga A ning stsenariumi C puhul – 33%. Joonis 3.11 näitab primaarenergia võrdlust.



Joonis 3.11 Tallinna vanalinna primaarenergia tarbimine

3.4.3 CO₂ heitkogus

Järgneval joonisel 3.12 on esitatud heitetasemete võrdlus. Olemasoleva küttesüsteemi alusel tekitab aastas umbes 20079 tonni CO₂. Sellest 75% moodustab elektrienergia, 15% moodustab kaugküte, 7% gaas ja 3% vedelkütused. Stsenariumi B järgi on aastane CO₂-heitkogus 18508 tonni. Sellest 82% moodustab elektrienergia ja 18% kaugküte. Stsenariumi C järgi on aastane CO₂-heitkogus 3828 tonni. Stsenariumi B puhul võib CO₂ heitkogus vähendada 8% võrra võrreldes stsenariumiga A ning stsenariumi C puhul – 81%.



Joonis 3.12 Tallinna vanalinna soojusvarustuse kasvuhoonegaaside heitkogused

3.4.4 Tarbijale suunatud küttekulud

Kui võrrelda stsenaariumi A majandusnäitajaid, on keskmine soojuse hind tarbija jaoks 126,7 EUR/MWh, kui hooned lähevad keskküttelt üle kaugküttele, langeb keskmine tarbijahind 126,1 EUR/MWh-ni ja langeb 110,7 EUR/MWh-ni täieliku ülemineku korral. Keerulise geopoliitilise olukorra ja pidevalt muutuvate energiahindade tõttu on aga raske objektiivselt hinnata kaugküttele ülemineku tegelikku majanduslikku kasu tarbijale. Lisaks ei ole käesolevas töös arvesse võetud vajalikke investeeringuid majasisese süsteemi muutmiseks seoses kaugküttele üleminekuga.

3.5 Kaugküttega seotud väljakutsed ja takistused ajaloolistes linnaosades

3.5.1 Maailma kultuuripärandi objekt

Maailma kultuuripärandi staatus annab prestiiži ja erilise kaitse. Riik, kelle jurisdiktsiooni all see objekt asub, vastutab eelkõige selle kaitse eest. Objekti staatuse võib tühistada, kui selle seisund on halvenenud nii palju, et see ei vasta enam nimekirja kandmise kriteeriumidele, või kui riik, kelle jurisdiktsiooni all mälestis asub, ei ole võtnud vajalikke meetmeid selle õigeaegseks säilitamiseks. Ka ajaloolise linnaosa ulatuslik ümberehitus võib põhjustada staatuse kaotuse, nagu Liverpooli sadamalinnak 2021. aasta juulis.

Eestis haldab ajaloomälestisi ja UNESCO kultuuripärandi objekte Muinsuskaitseamet. Vanalinna kaitsmiseks on loodud mitmesuguseid dokumente, sealhulgas muinsuskaitseadusel põhinev Tallinna vanalinna (ajaloolise keskuse) muinsuskaitseala põhimäärus [49]. Põhikiri näeb ette, et ala ajalooline struktuur, hoonestuse maht ja tihedus, ajaloolised struktuurid ja maailmapärandi detailid tuleb säilitada.

Selle tulemusena on muinsuskaitseadusega kehtestatud uued kriteeriumid ajaloolise keskuse projekteerimis- ja ehitustöödele.

3.5.2 Raskused ja takistused projekti elluviimisel

Kvalifikatsiooninõudeid

Kuna töid tehakse muinasmälestiste kaitsevööndis, siis juba projekteerimisel seatakse spetsialistide kvalifikatsioonile kõrgemad nõuded, mis hakkavad kehtima ka ehitajatele.

Uuringud

Enne ehitamist ja ehitamise ajal on nõutavad kohapealsed uuringud.

Ehitusaeg

Ehitusaja hinnanguid on raske prognoosida. Vastavalt vanalinna ajaloolises osas ehitamist käsitlevale määrusele tuleb arheoloogilise kultuurikihi avastamisel kõik tööd peatada, leiu tuleb säilitada algses seisukorras ning leiust tuleb viivitamatult teavitada Muinsuskaitseametit ja Tallinna Linnavalitsust.

Teede sulgemise kulud

Kuna töid tehakse muinasmälestiste kaitsevööndis, on ehituse ja seega ka tänavate sulgemise aega keeruline arvutada. Ja samas tõstab iga tund tänavate blokeerimist vanalinnas töö maksumust. Teede ja tänavate sulgemise maks sõltub teegrupi liigist [50]. Näteks esimese teegrupi puhul 105 euro/tunnis, teise teegrupi - 52,50 euro/tunnis, kolmanda teegrupi - 10,50 euro tunnis ja neljanda teegrupi - 5,25 euro/tunnis. Vanalinna teed on valdavalt II või III teerühmad. Tabelis 3.9 on toodud mõnda vanalinna teede teegruppideks jaotus vastavalt määrusele 8 [51].

Tabel 3.9 Vanalinna teede teegruppideks jaotus

Tänav	Grupp
Aia	III
Dunkri	III
Lai	III
Lossi plats	II
Toompea	II
Toom-Kooli	III
Pikk jalg	III
Pikk	II
Pühavaimu	III
Raekojaplats	II
Rataskaevu	III
Suur-Karja	II
Suurtüki	II
Uus	III
Vene	III
Viru	II
Väike-Karja	II

Kitsed tänavad

Tallinna vanalinna sisemised tänavad on munakivisillutisega, mille laius varieerub 4-7 meetrit. Järgmistel fotodel 3.1, 3.2, 3.3 on näha vanalinna tänavate rasket olukorda.

Foto 3.1 Sauna tänav, aprill 2022



Foto 3.2 Kooli tn, märts 2022



Foto 3.3 Linnateatri juurdeehituse ehitus, märts 2022



Tänavate kitsuse tõttu on uute kommunikatsioonide rajamisel raske järgida seadusi (EVS 843:2016 Linnatänavad). Standardi järgi puhas vahe horisontaalsuunas kaugküttetorust kuni hoone ja rajatiste vundmendini on 2 m.

Teised kommunikatsioonid

On tõenäoline, et olemasolevad kommunikatsioonid, nagu vee-, kanalisatsiooni-, elektri-, valgustus- ja sidetrassid, tuleb asendada või ümber paigutada. Kommunikatsioonid võivad takistada uue küttetorustiku paigaldamist või olla halvas seisukorras ja vajavad väljavahetamist. Lisaks sellele võib olemasoleva soojusvarustussüsteemi suurenenud koormus tingida vajaduse suurendada olemasolevate küttejuihtmete läbimõõtu.

Järgmistel tabelites 3.10, 3.11 on toodud normatiivsed vahekaugused tehnovõrkude välispindade vahel Linnatänavad (EVS 843:2016) standardi järgi.

Tabel 3.10 Tehnovõrkude vahelised kujad rööpkulgemisel

Tehnovõrgu liik	Puhas vahe horisontaalsuunas tehnovõrkude välispindade vahel (m)					
	veetoru ja survekanalisatsioonini	isevoolne kanalisatsiooni ja drenaažini	gaasitoruni	elektrikaablini	sidekaablini	kanali, tehnovõrgu tunnelini
Kaugküttetoru	1	1	1	2**	0,3	2

** Elektri kaabel kuni 20kV – 0,5 m

Tabel 3.11 Tehnovõrkude vahelised püstkujad nende lõikumisel

Tehnovõrgu liik	Kaugus püstsuunas kuni (m)				
	veetoru ja survekanalisatsioonini	isevoolne kanalisatsiooni ja drenaažini	gaasitoruni	elektrikaablini	sidekaablini
Kaugküttetoru	0,2	0,2	0,2**	0,2	0,2

**Kuja 0,2 m on lubatud terastoru puhul, PE toru puhul -0,3 m ja 0,1 m (PE toru puhul) on lubatud, kui gaasitoru paikneb lõikumisel soojustorustikust kõrgemal ja gaasitoru on kaitstud mntel toru ja mittesulava isolatsiooniga

Piirangud materjalide kasutamisele

Ajaloolise keskuse kitsad ja kaunistatud tänavad, samuti kõnniteede omadused, raskendavad tavaliselt rekonstrueerimise raskusi.

Nõue kasutada teatavat tüüpi materjale; näiteks võib tänavate sillutamiseks kasutada ainult teatavat tüüpi munakivi. Ja see omakorda toob kaasa piirangu ehitajate valikul.

4. JÄRELDUSED

Selles magistritöös uuritakse vanalinna küttesüsteemi. Töö eesmärk on analüüsida vanalinna küttesüsteemide osalist ja täielikku ümberehitamist kaugkütte süsteemile. On selgunud, et praegu on enamik vanalinna hoonetest kaugkütte tarbijad (78%). Ülejäänud 22% kasutab elektrit (12%), gaasi (6%), õli (2%) ja isegi küttepuid (2%). Samuti on selgunud, et aastane primaarenergia kogutarbimine on praegu 80926,7 MWh/aastas ja CO₂ heitkogused on 20079 tonni.

Kaugküttele ülemineku erinevate stsenaariumide analüüsimisel saadi positiivseid tulemusi. Osaline üleminek ,stsenarium B, (ainult gaasiküttega majad ühendatakse ümber) vähendab primaarenergia tarbimist 4% ja CO₂ heitkoguseid 8%. Täieliku ülemineku korral (stsenarium C) on prognoos veelgi parem: primaarenergia tarbimine väheneb 33% ja CO₂ heitkogused 81%.

Lisaks sellele, et üleminek kaugküttele vähendab keskkonna- ja kliimamõju, toob see pikemas perspektiivis kaasa ka küttekulude vähenemise.

Töös ei ole arvestatud tarbija investeeringuid maja sisemiste süsteemide rekonstrueerimisse, kuid sellegipoolest tekib energiahindade põhjal kindlasti kasu. Lisaks soovitatakse kaaluda üleminekut kaugküttele koos hoonete energiatõhususega. Siis on mõju põhjalikum.

Siiski tuleb märkida, et UNESCO maailmapärandi staatus seab mõningaid piiranguid ning projekteerimis- ja ehitustööde teostamine toob kaasa mõningaid probleeme, näiteks kõrgendatud nõuded erialase kvalifikatsiooni kohta; raskused tööde teostamise aja prognoosimisel, samuti tänavate sulgemise kulud; vajadus teha arheoloogilisi uuringuid enne ehitustöid ja nende ajal; olemasolevate kommunikatsioonide seisukord ja nende asendamine/üleviimine; piirangud materjalide kasutamisele.

Lisaks on tuvastatud puudused ehisregistri andmebaasis. Segadus soojusallikate, energiaallikate ja soojusvarustuse tüübiga on aeglustanud tööprotsessi, kuid samas on see viinud vanalinna soojusvarustussüsteemi üksikasjalikumale uurimisele muude vahendite, näiteks (kitsendused.maa-amet) abil. Tulevikus tuleks kaaluda ehisregistri ja maa-amet andmebaasi ühendamist. See võib lihtsustada tulevaste linnasüsteemidele keskendunud tööde kirjutamist.

Antud magistritöö annab hea ülevaade vanalinna küttesüsteemi ülemineku potentsiaali ja aitab parandada meie keskkonda, säilitades maailmapärandi objekti ning saavutada rohelise pealinna eesmärki.

Käesolevas töös tehtud järeldusi võib kohaldada ka teiste linnaosade või teiste UNESCO kaitse all olevate objektide suhtes.

KOKKUVÕTE

Lõputöö on pühendatud Tallinna vanalinna kütmise analüüsile seoses kaugküttele üleminekuga. Töö sisaldab kirjanduse ülevaadet varasematest uuringutest, mis on seotud ajalooliste hoonete energiatõhususega, ajalooliste linnaosade kütteleahenduste analüüsi ja geopoliitilise olukorra kirjeldust. Uuringus määratakse kindlaks peamised kaugküttega seotud probleemid ajaloolises linnaosas ja töötatakse välja meetodika, et kvantifitseerida ajaloolise linnaosa täieliku kaugküttele ülemineku mõju. Selle mõju arvutamiseks Tallinna vanalinnas on spetsiaalselt välja töötatud meetodika. Praegust olukorda võrreldi kahe teise stsenaariumiga: stsenaarium, mille kohaselt gaasiküttega töötavad hooned lähevad üle kaugküttele, ja stsenaarium, mille kohaselt kõik hooned lähevad üle kaugküttele. Tulemused näitavad, et üleminek kaugküttele vähendab kogu energiatarbimist 33%, CO₂ heitkoguseid 81% ja tarbijate rahalist koormust umbes 12%.

Lisaks on tuvastatud probleeme ja takistusi kaugküttele paigaldamisel ajaloolistes linnaosades, näiteks kõrge kvalifikatsiooninõuded kõigile projektis osalejatele, täiendavad väliuuringud, pikemad ehitustööd seoses vajadusega arvestada arheoloogilise pärandiga ning töötamine kitsastes tänavatingimustes.

Käesolevas töös tehtud järeldusi võib kohaldada ka teiste linnaosade või teiste UNESCO kaitse all olevate objektide suhtes.

Summary

The thesis is dedicated to the analysis of the heating of Tallinn's Old Town in the context of the transition to district heating. The thesis includes a literature review of previous studies related to the energy efficiency of historic buildings, an analysis of heating solutions in historic districts and a description of the geopolitical situation. The study identifies the main district heating issues in the historic district and develops a methodology to quantify the impact of a full district heating transition in the historic district. A methodology has been specifically developed to calculate this impact in the Tallinn Old Town. The current situation has been compared with two other scenarios: a scenario with gas-fired buildings and a scenario with district heating for all buildings. The results show that switching to district heating reduces total energy consumption by 33%, CO₂ emissions by 81% and the financial burden on consumers by around 12%. In addition, problems and obstacles to installing district heating in historic districts have been identified, such as high qualification requirements for all project participants, additional field studies, longer construction works due to the need to take into account the archaeological heritage, and working in narrow street conditions. The conclusions drawn in this work can also be applied to other parts of the city or to other UNESCO sites.

KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU

- [1] IPCC Working Group II, "Climate Change 2022 Impacts, Adaptation and Vulnerability," 2022. https://report.ipcc.ch/ar6wg2/pdf/IPCC_AR6_WGII_FinalDraft_FullReport.pdf (accessed May 25, 2022).
- [2] M. Potts, L. Rüttinger, and J. Vivekananda, "What does the IPCC report tell us about climate and conflict?," 2022. <https://climate-diplomacy.org/magazine/conflict/what-does-ipcc-report-tell-us-about-climate-and-conflict> (accessed May 25, 2022).
- [3] Climate Diplomacy, "Geopolitics of Climate Change," *Climate Diplomacy*. <https://climate-diplomacy.org/geopolitics-climate-change> (accessed May 25, 2022).
- [4] "Delivering the European Green Deal," *European Commission*. https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal/delivering-european-green-deal_en (accessed May 25, 2022).
- [5] "Climate Change 2022: Migration of Climate Change," *IPCC Sixth Assessment Reports*. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg3/> (accessed May 25, 2022).
- [6] "Rohepööre Eestis," *Euroopa Komisjon*. https://estonia.representation.ec.europa.eu/strateegia-ja-prioriteetid/eli-peamised-poliitikavaldkonnad-seoses-eestiga/rohepoore-eestis_et (accessed May 25, 2022).
- [7] "Valitsus kiitis heaks seisukohad Euroopa Liidu kliimaettepanekute kohta," *Vabariigi Valitsus*, Nov. 25, 2021. <https://www.valitsus.ee/uudised/valitsus-kiitis-heaks-seisukohad-euroopa-liidu-kliimaettepanekute-kohta> (accessed May 25, 2022).
- [8] "Tallinna linna säästva energia ja kliimamuutustega kohanemise tegevuskava," *Tallinn*, Sep. 04, 2020. <https://www.tallinn.ee/est/energiaagentuur/Tallinna-linna-saastva-energia-ja-kliimamuutustega-kohanemise-tegevuskava> (accessed May 25, 2022).
- [9] J. Kurnitski, "HOONETE PIKAAJALINE REKONSTRUEERIMISE STRATEEGIA," 2020. [Online]. Available: http://www.energiatalgud.ee/img_auth.php/c/c1/ENMAK-Hoonete-uuring-20.09.2013.pdf
- [10] "Kliimaneutraalne Tallinn Tallinna säästva energiamajanduse ja kliimamuutustega kohanemise kava 2030."
- [11] "Tallinn on Euroopa Roheline Pealinn 2023," *Tallinn*, May 23, 2022. <https://www.tallinn.ee/est/rohelinepealinn/Tallinn-on-Euroopa-Roheline-Pealinn-2023> (accessed May 25, 2022).

- [12] "Tallinn 2035 Arendustrateegia," *Tallinn*. <https://strateegia.tallinn.ee/> (accessed May 25, 2022).
- [13] "Secure gas supplies," *European Commission*. https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-security/secure-gas-supplies_en (accessed May 25, 2022).
- [14] "EU imports of energy products-recent developments," *Euristat Statistics Explained*, 2022. https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=EU_imports_of_energy_products_-_recent_developments (accessed May 25, 2022).
- [15] "EU restrictive measures against Russia over Ukraine (since 2014)," *European Council*, 2022. <https://www.consilium.europa.eu/en/policies/sanctions/restrictive-measures-against-russia-over-ukraine/> (accessed May 25, 2022).
- [16] "Euroopa komisjoni kuues ELI-Venemaa-Vastane sanktsioonide pakett ja uudisedid USA, Venemaa ja Ukraina vastuvõetud õigusaktide kohta," *EESTI TÖÖANDJATE KESKLIIT*, May 05, 2022. <https://www.employers.ee/uudised/euroopa-komisjoni-kuues-eli-venemaa-vastane-sanktsioonide-pakett-ja-uudiseid-usa-venemaa-ja-ukraina-vastuvõetud-õigusaktide-kohta/> (accessed May 25, 2022).
- [17] "Eesti gaasiülekandevõrgu arengukava 2022-2031".
- [18] "Valitsus tegi põhimõttelise otsuse, et Eesti loobub Vene gaasi kasutamisest," *Vabariigi Valitsus*, Apr. 07, 2022. <https://valitsus.ee/uudised/valitsus-tegi-põhimõttelise-otsuse-et-est-ii-loobub-vene-gaasi-kasutamisest> (accessed May 25, 2022).
- [19] "Energiajulgeolek Eestis," *Energiatalgud*. <https://energiatalgud.ee/Energiajulgeolek> (accessed May 25, 2022).
- [20] "District Heating," *International Energy Agency*. <https://www.iea.org/reports/district-heating> (accessed May 25, 2022).
- [21] A. Volkova, E. Latõšov, V. Mašatin, I. Krupenski, and A. Siirde, *Jätkusuutlik kaugküte*. Accessed: May 25, 2022. [Online]. Available: <https://kaugkute.taltech.ee/digiopikust/>
- [22] "Hotmaps," *Hotmaps-project.eu*. <https://www.hotmaps.eu/map> (accessed May 25, 2022).
- [23] "Kaugküte Eestis," *Energiatalgud*. <https://www.energiatalgud.ee/Kaugk%C3%BCte> (accessed May 25, 2022).
- [24] "Tallinna kaugküttepiirkonna piirid, kaugküttevõrguga liitumise ja sellest eraldumise tingimused ja kord, kaugkütte üldised kvaliteedinõuded ja

- võrguettevõtja arenduskohustus," *Tallinna linnavolikogu*, May 27, 2017. <https://www.riigiteataja.ee/akt/424052017005> (accessed May 25, 2022).
- [25] "Utilitas- Eesti energiakontsern," *Utilitas*. <https://www.utilitas.ee/> (accessed May 25, 2022).
- [26] "Adveni kaugküttest," *Adven*. <https://adven.com/ee/kaugkute/> (accessed May 25, 2022).
- [27] "Tallinna vanalinna graafiline kaart," *Saar GRAAFIKA*. <https://www.saargraafika.ee/kaart.html> (accessed May 25, 2022).
- [28] "Historic Centre (Old Town) of Tallinn," *Unesco World Heritage Convention*. <https://whc.unesco.org/en/list/822> (accessed May 25, 2022).
- [29] C. Burattini *et al.*, "Methodological approach to the energy analysis of unconstrained historical buildings," *Sustainability (Switzerland)*, vol. 7, no. 8, pp. 10428–10444, 2015, doi: 10.3390/su70810428.
- [30] A. Blumberga, R. Freimanis, I. Muizniece, K. Spalvins, and D. Blumberga, "Trilemma of historic buildings: Smart district heating systems, bioeconomy and energy efficiency," *Energy*, vol. 186, Nov. 2019, doi: 10.1016/j.energy.2019.07.071.
- [31] A. Sadłowska-Sałęga, J. Radoń, J. Sobczyk, and K. Wąs, "Influence of microclimate control scenarios on energy consumption in the Gallery of the 19th-Century Polish Art in the Sukiennice (the former Cloth Hall) of the National Museum in Krakow," in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, Nov. 2018, vol. 415, no. 1. doi: 10.1088/1757-899X/415/1/012026.
- [32] T. Broström and L. Nilsen, *Energy efficiency in historic buildings : postprints from the conference, Visby, February 9-11, 2011*.
- [33] L. Liu, P. Rohdin, and B. Moshfegh, "Investigating cost-optimal refurbishment strategies for the medieval district of Visby in Sweden," *Energy and Buildings*, vol. 158, pp. 750–760, Jan. 2018, doi: 10.1016/j.enbuild.2017.10.002.
- [34] L. Oorschot, "Dutch hybrid neighbourhoods of 1860–1910 in heat transition: The case study of zeeheldenkwartier in the hague," *Energies (Basel)*, vol. 13, no. 20, Oct. 2020, doi: 10.3390/en13205255.
- [35] "The World Bank," 2009.
- [36] V. Kenhove Elisa, A. Arnout, L. Jelle, and J. Arnold, "ENERGY EFFICIENT RENOVATION OF HERITAGE RESIDENTIAL BUILDINGS USING MODELICA SIMULATIONS."
- [37] "Ehitusregister ja arenduste teekart," *Ehitusregister*. <https://livekluster.ehr.ee/ui/ehr/v1/help/roadmap> (accessed May 25, 2022).
- [38] "Kitsendused.maa-amet," *Maa-amet*. <https://kitsendused.maaamet.ee/#/avalik> (accessed May 25, 2022).

- [39] "Energiakandjate kaalumistegurid," *Energiatalgud*. <https://energiatalgud.ee/moisted/energiakandjate-kaalumistegurid> (accessed May 25, 2022).
- [40] "EESTI KAUGKÜTTESEKTORI CO 2 HEITMED Tellija: Eesti Jõujaamade ja Kaugkütte Ühing," 2021. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S187661021403121X>
- [41] E. Latõšov, "EESTI KAUGKÜTTESEKTORI CO 2 HEITMED 2020," 2021.
- [42] "Carbon Dioxide Emissions Factor, kg CO₂ per MWh," *Our World in Data*. <https://ourworldindata.org/grapher/carbon-dioxide-emissions-factor?country=Lignite~Aviation+Gasoline~Bitumen~Shale+Oil~Anthracite~Charcoal~Coke~Crude+Oil~Diesel+Oil~Jet+Gasoline~Motor+Gasoline~Natural+Gas~Oil+Shale+%26+Tar+Sands~Peat~Sub-Bituminous+Coal~Biogasoline~Biodiesels> (accessed May 25, 2022).
- [43] "Soojuse ja lisateenuste hinnad," *Utilitas*. https://www.utilitas.ee/soojuse_hinnad/ (accessed May 25, 2022).
- [44] "Elektrihind," *Elektrihind*. <https://elektrihind.ee/> (accessed May 25, 2022).
- [45] "Gaasihind," *Gaasihind*. <https://gaasihind.ee/> (accessed May 25, 2022).
- [46] "KE08: Ettevõtetes tarbitud kütuse ja energia keskmine maksumus," *Eesti statistika*. <https://andmebaas.stat.ee/Index.aspx?lang=et&DataSetCode=KE08> (accessed May 25, 2022).
- [47] "Puiduhinnainfo," *Erametsakeskus*. <https://www.eramets.ee/uuringud-ja-statistika/hinnainfo/> (accessed May 25, 2022).
- [48] "ArcGIS Pro," *ESRI*. <https://www.esri.com/en-us/c/product/arcgis-pro> (accessed May 26, 2022).
- [49] "Tallinna vanalinna muinsuskaitseala põhimäärus," *Vabariigi Valitsus*, Nov. 25, 2016. <https://www.riigiteataja.ee/akt/795759?leiaKehtiv> (accessed May 25, 2022).
- [50] "Teede ja tänavate sulgemise maks," *Tallinna Linnavolikogu*. <https://www.riigiteataja.ee/akt/408022013091?leiaKehtiv> (accessed May 25, 2022).
- [51] "Teede ja tänavate sulgemine maks' LISA, määrus 8." <https://www.riigiteataja.ee/akt/lisa/4190/6202/0039/1310143393.attachment.pdf> (accessed May 26, 2022).