



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
INSENERITEADUSKOND

Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituut



LOKAALSE KOOSTOOTMISJAAMA TOODANGU
MODELLEERIMINE JA MAJANDUSLIK ANALÜÜS
ÜLEMISTE CITY NÄITEL

ECONOMIC MODELLING AND ANALYSIS OF A COGENERATION PLANT AT
ÜLEMISTE CITY

MAGISTRITÖÖ

Üliõpilane: Carol Eiche

Üliõpilaskood: 153579AAHM

Juhendaja: Karl Kull, doktorant - nooremteadur

Tallinn 2018

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.

“.....” 201.....

Autor:

/ allkiri /

Töö vastab bakalaureusetöö/magistritööle esitatud nõuetele

“.....” 201.....

Juhendaja:

/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

“.....”201... .

Kaitsmiskomisjoni esimees

/ nimi ja allkiri /

Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituut

LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Üliõpilane: Carol Eiche, 153579AAHM
Õppekava, peeriala: AAHM12/13 - Hajaenergeetika
Juhendaja(d): Doktorant – nooremteadur Karl Kull, 620 3756

Lõputöö teema:

Lokaalse koostootmisjaama modelleerimine ja tasuvuse analüüs Ülemiste City näitel

Economic modelling and analysis of a cogeneration plant at Ülemiste City

Lõputöö põhieesmärgid:

1. Milline peaks olema rajatava koostootmistjaama soojuslik ja elektriline võimsus lähtuvalt Ülemiste City linnaku soojus-ja elektrivajadusest?
2. Milline koostootmistehnoloogia oleks sobivaim Ülemiste City linnakusse?
3. Kas koostootmisjaama rajamine Ülemiste City linnakusse on majanduslikult otstarbekas?
4. Kas ja millistel tingimustel on elektrivõrgu ehitamine linnakusse tasuv?

Lõputöö etapid ja ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Tähtaeg
1.	Objekti kirjeldus, koostootmistehnoloogiate kirjeldus ja valik	01.04.18
2.	EnergyPRO simulatsiooni teostamine	10.04.18
3.	Tulemused, viimistlus	13.05.18

Töö keel: eesti keel

Lõputöö esitamise tähtaeg: "25" mai 2018 a.

Üliõpilane: Carol Eiche "....."201....a
/allkiri/

Juhendaja: Karl Kull "....."201....a
/allkiri

SISUKORD

EESSÕNA	5
SISSEJUHATUS	6
1. ÜLEVAADE ELEKTRI JA SOOJUSE KOOSTOOTMISEST	8
1.1 Elektri ja soojuse koostootmise eelised	9
1.2 Koostootmise seadmed	9
1.2.1 Auruturbiinjõuseadmed	11
1.2.2 Gaasiturbiinjõuseadmed	13
1.2.3 Kolbmootor.....	14
1.2.4 Kütuseelement	15
1.3 Kütused	16
1.5 Erinevate koostootmistehnoloogiate võrdlus	17
1.4. Elektri ja soojuse koostootmisest Eestis	18
2. OBJEKTI KIRJELDUS.....	21
2.1 Ülevaade linnakust.....	21
2.2 Linnaku soojusenergia aastane tarbimine	23
2.3. Linnaku aastane elektrienergia tarbimine	28
3 TEHNOLOOGIA VALIK.....	30
3.1 Elektrivõrgu rajamine	33
4 KOOSTOOTMISJAAMA MODELLEERIMINE	
SIMULATSIOONIPROGRAMMIGA ENERGYPRO	34
4.1 Sisendparameetrite kirjeldus	35
4.1.1 Välisõhu temperatuur	35
4.1.2 Linnaku soojuskoormus.....	35
4.1.3 Elektrienergia tarbimine	37
4.1.4 Koostootmisagregaatide lähteandmed ja kasutatav kütus	38
4.1.5 Majanduslikud parameetrid	41
5 TULEMUSED	43
KOKKUVÕTE	46
SUMMARY IN ENGLISH	48
KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU	50
LISAD	52

EESSÕNA

Käesoleva magistr töö teema valikul sai otsustavaks autori huvi elektri- ja koostootmistehnoloogiate vastu ning soov leida lahendus mõnele realselt eksisteerivale küsimusele või probleemile. Teema pakuti välja Technopolis Ülemiste AS poolt, mis võimaldas ühendada nii ettevõtte kui autori huvid

Täna väga oma lõputöö juhendajat Karl Kulli, kes oli suureks abiks magistr töö kirjutamise juhendamisel.

Samuti soovin tänada oma perekonda toetava suhtumise eest ning kursusekaaslast, kes olid suureks motivatsiooniks lõputöö kirjutamisel

Carol Eiche

+372 59 038 959

SISSEJUHATUS

Iga tänapäeval elav inimene kasutab vähemal või suuremal määral oma elutegevuse käigus soojus- ja elektrienergiat. Tehnoloogia kiire areng on oluliselt meie tarbimisharjumusi ümber korraldanud, mida kinnitab ka energia tarbimise pidev kasv. Elektrienergia on saanud elu lahutamatuks osaks ning aina enam on hakatud ühiskonnas hindama keskkonna puhtust ja selle säilitamist. Energia tootmise keskseks küsimuseks on, kuidas optimeerida energia tootmist nii, et keskkond saastuks minimaalselt. Sama tähtis nagu keskkonnahoid, on ka kulude minimeerimine, seega üha enam pööratakse tähelepanu sellele, kuidas need kaks omavahel ühendada.

Eesti energiamajanduse riiklik arengukava aastani 2020 (ENMAK) kohaselt on Eestis tarvis suurendada elektri- ja soojuse koostootmisjaamades toodetud elektrienergia osakaalu kuni 20%-ni brutotarbimisest. Eesmärgi saavutamiseks töötati aastal 2007 välja toetuskeemid, mis soodustavad koostootmisjaamade rajamist. [1] Aasta-aastalt on energiatõhusate agregaatide paigaldamine Eestis aina enam populaarsust kogunud nii väiksema kui ka suurema tarbimisega hoonetele ja objektidele. Nii käsitleb ka käesolev magistritöö analüüsi ja majanduslikku tasuvust koostootmisjaama rajamiseks Tallinnasse Ülemise City linnakusse.

Magistritöö teema on valitud lähtuvalt autori õpitavale erialale, milleks on hajaenergeetika ning tugineb autori isiklikule huvile koostootmise tehnoloogiate uurimise vastu. Samuti töötab autor haldurina ettevõttes Pristis AS, kes pakub Technopolis Ülemiste AS-le kinnisvara hooldusteenust, mis võimaldab magistritöö näol ühendada nii isiklikud kui ka ettevõtte huvid.

Koostootmine on protsess mille käigus toodetakse ühe seadmega kahte liiki energiat – soojus- ja mehhaaniline energia. Protsessi käigus väljuvat soojusenergiat saab kasutada erinevates tehnoloogilistes protsessides, samuti ka vee soojendamiseks ja ruumide kütteks. Protsessi käigus tekkinud mehaaniline energia muundatakse elektriks. [2] Soojuse ja elektri koostootmine on väga energiasäästlik ja tõhus protsess ning kuna koostootmisjaamad rajatakse tarbijate lähedusse, siis tagab see ka minimaalsed ülekande- ja jaotuskulud.

Linnakus on hetkel kokku 9 büroo- ja ärihoonet, mida antud töö raames käsitletakse ning aastal 2018 valmivad lisaks veel kaks hoonet. Linnakut arendavad Mainor Ülemiste AS ja Technopolis Ülemiste AS. Lisaks olemasolevatele hoonetele on linnakusse plaanis ehitada veel 24 uut büroo-ja ärihoonet. Täna on hoonete haldurite peamiseks küsimuseks kuidas hoida kokku energiakuludelt.

Koostootmisjaama rajamine linnakusse on üks võimalik variant energiakulude pealt kokku hoida, sealjuures säästa ka loodust ja meid ümbritsevat keskkonda.

Käesoleva magistritöö eesmärkideks on kindlaks teha:

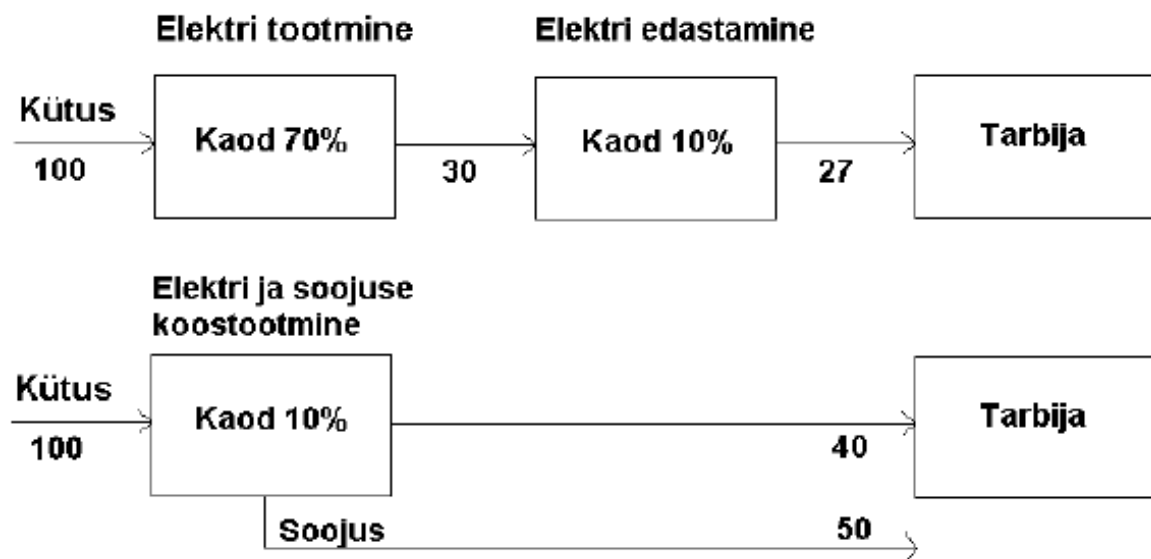
1. Milline peaks olema rajatava koostootmisjaama soojuslik ja elektriline võimsus lähtuvalt Ülemiste City linnaku soojus- ja elektrivajadusest?
2. Milline koostootmistehnoloogia oleks sobivaim Ülemiste City linnakusse?
3. Kas koostootmisjaama rajamine Ülemiste City linnakusse on majanduslikult otstarbekas?
4. Kas ja millistel tingimustel on elektrivõrgu ehitamine linnakusse tasuv?

Töö koosneb viiest suuremast teemast, kus esimeses peatükis käsitletakse põhjalikumalt elektri- ja soojusenergia koostootmisprotsessi, selle plusse ja miinuseid. Lisaks antakse töö esimeses osas ülevaade erinevatest kasutusel olevatest koostootmistehnoloogiatest. Töö teine osa kirjeldab põhjalikumalt käsitletavat objekti – Ülemiste City't ning selle olemasolevat ja prognoositavat soojus- ja elektrikoormust. Kolmandas peatükis analüüsitakse milline on sobivaim koostootmistehnoloogia, mida antud linnakus otstarbekas kasutada oleks, samuti tehakse ülevaade elektrivõrgu loomise tasuvusest. Neljandas osas on kirjeldatud simulatsiooniprogrammi EnergyPRO, mida antud töö raames mudeli loomiseks kasutati. Töö viimane osa käsitleb saadud tulemusi ja koostootmisjaama majanduslikku tasuvust. Seatud eesmärkide saavutamiseks on peaaesjalikult kasutatud simuleerimistarkvara EnergyPRO ja tabelarvutusprogrammi Microsoft Excel.

1. ÜLEVAADE ELEKTRI JA SOOJUSE KOOSTOOTMISEST

Koostootmine (ingl. k. *Combined Heat and Power cogeneration* - CHP) on protsess mille käigus toodetakse ühe seadmega kahte liiki energiat – soojus- ja mehhaaniline energia. Protsessi käigus väljuvat soojusenergiat saab kasutada erinevates tehnoloogilistes protsessides, samuti ka vee soojendamiseks ja ruumide kütteks. Protsessi käigus tekkinud mehhaaniline energia muundatakse elektriks. [2]

Soojuse ja elektri koostootmine on väga energiasäästlik ja tõhus protsess (Joonis 1). Selleks, et energia ülekande- ja jaotuskaod oleksid võimalikult väikesed, tuleks koostootmisjaamad rajada tarbijatele võimalikult lähedale. [3]



Joonis 1. Kütuse kaod energia konventsionaalsel tootmisel ja koostoomise protsessis [1]

Koostootmisjaamas kütuse elektri- ja soojusenergiaks muundamise kasutegur on kaasaegsete seadmete abil 85-92%. Võrdluseks, ainult elektrienergiat genereeriva auruturbiinelektrijaama kasutegur on 40-45%. Koostootmisel on elektrienergia tootmise kasutegur ~30%, kondensatsioonielektrijaamades aga 40-45%. Kaod tekivad peamiselt lahkvate gaaside soojuse kaoga. [2]

1.1 Elektri ja soojuse koostootmise eelised

Soojus- ja elektrienergia koostootmine on efektiivsem nii termodünaamilisest kui ka keskkonnakaitselisest aspektist. Koostootmise peamisteks eelisteks on:

- Energia muundamise kasutegur on ~15-40% kõrgem kui soojuse ja elektri eraldi tootmise puhul
- Keskkonda paisatavate heitgaaside (peamiselt CO₂) kogus on väiksem;
- Kulude kokkuhoid;
- Üha enam süvenev elektritootmise detsentraliseerimine suurendab süsteemi paindlikkust ja vähendab ülekandekulusid;
- Varustuskindluse suurenemine, mis tagab tarbijatele vajaliku energia vajalikul ajal ja kohas
- Vähendab sõltuvust kütuste impordist, kuna kütuse tarbimine väheneb;
- Vähendab vajadust kaevandada kohalikke maavarasid;
- Konkurentsi suurenemine;
- Soodustab energiaturgude liberaliseerimist;
- Suurendab väiksemate piirkondade tööhõivet, kuna koostootmine toimub tarbijate vahetus läheduses. [3]

1.2 Koostootmise seadmed

Elektri- ja soojusenergia koostootmiseks on välja töötatud mitmeid tehnoloogiaid elektrilise võimsusega mõnest kilovatist mikrokostootmisest eramajades kuni mitmesaja megavatini elurajoonide ja piirkondlikes katlamajades ja tööstusettevõtetes. [2] Erinevaid tehnoloogiaid elektri- ja soojuse koostootmiseks:

- kombineeritud tsükliga gaasiturbiin koos utilisaatorkatlagaga;
- vasturõhuhauruturbiin;
- vaheltvõttudega auruturbiin;
- gaasiturbiin koos utilisaatorkatlagaga;
- sisepõlemismootor;
- mikroturbiin;
- Stirling-mootor;
- kütuseelement;

- aurumootor;
- orgaanilised Rankine ringprotsessid;
- muud tehnoloogiad või nende kombinatsioonid, mis vastavad koostootmise mõistele. [4]

Koostootmise tehnoloogiad võib omakorda energia genereerimise viisi järgi jagada viieks:

1. vaheltvõtuga kondensatsiooniturbiin;
2. vasturõhu auruturbiin;
3. gaasiturbiin;
4. kolbmootor;
5. kütuseelement.

Tabel 1 on välja toodud erinevate koostootmise tehnoloogiate võrdlevad ja iseloomustavad näitajad.

Tabel 1. Koostootmise tehnoloogiate võrdlevad ja iseloomustavad näitajad [5]

	Auruturbiin		Gaasiturbiin	Kombineeritud gaas-auruturbiin	Kolbmootor		Kütuseelement
	Vasturõhu turbiin	Vaheltvõtuga turbiin			Otto mootor	Diiselmootor	
Kasutatav kütus	Kõik kütused	Kõik kütused	Gaas, kerge kütteõli	Gaas	Gaas	Gaas, kerge kütteõli	Vesinik, maagaas, propaan, metanool
Võimsuse piirid, MW_e	>0,5	>1	>1	>3	0,03-6	0,100-20	0,005-2
Elektri / Soojuse suhe	1/3-10	1/3-8	1/1,5-2,5 (1/5 kui lisapõletiga järelkatel)	1/1 (1/3 kui lisapõletiga järelkatel)	1/1-3	1/0,5-3	1-2/1
Väljastatav soojus	Keskrõhu aur	Kõrgrõhu aur	Kõrgrõhu aur	Keskrõhu aur	Soe vesi	Soe vesi	Soe vesi, madal- ja kõrgrõhu aur
Elektritootmise Kasutegur, %	7-20	10-20	25-40	35-50	25-33	35-42	40-70
Kogukasutegur, %	75-84	75-85	65-86	73-86	70-90	65-90	55-80

1.2.1 Auruturbiinjõuseadmed

Tööprintsibist lähtudes saab kõik auruturbiinjõuseadmed jagada kaheks - vaheltvõtuga kondensatsiooni ja vasturõhuauru seadmeteks. Auruturbiinjõuseadmete termodünaamiline tööprotsess põhineb Orgaanilise Rankine'i ringprotsessil. Auruturbiinis suunatakse kütuse põlemise tagajärjel tekkinud kuumendatud aur läbi turbiini töölabade, mis paneb turbiini töörotta pöörlema. Auruturbiini pöörlemisest tekkiv mehaaniline energia muundatakse generaatori abil elektrienergiaks. Pärast auruturbiini aur kondenseeritakse ehk veeldatakse ning nõnda talitlevaid turbiine nimetataksegi kondensatsiooniturbiinideks. Selleks, et kasutada ära ka kondenseerumisel tekkiva auru soojus kasutatakse vee või õhuga jahutatavat kondensaatorit. Aurust saadav soojus on võimalik täielikult ära kasutada näiteks võttes turbiini madalrõhuosast auru aurkütteks. Auru vaheltvõttusid võib olla rohkem kui üks. Sellised turbiinid võimaldavad toota nii soojust kui ka mehhaanilist energiat ning seda nimetatakse vaheltvõtuga kondensatsiooniturbiiniga koostootmiseks. Nende koostootmisjaamade kasutegur on enamasti 50-65%, kõrgema kasuteguri võimaldavad saavutada vasturõhuturbiinid, kus turbiinist väljuv aur suunatakse edasi aurutarvititele, sellisel juhul on kasutegur kuni 85%. Vasturõhuauruturbiini puhul puudub madalrõhuosa koos kondensaatoriga ning aur suunatakse otse turbiinist soojusvõrku, seetõttu kasutatakse nimetatud tehnoloogiat peamiselt linnade soojusvarustuses ja tööstustes. [5]

Termofikatsiooniturbiinides ehk reguleeritava vaheltvõtuga auruturbiinides eemaldatakse osa aurust enne kui see saavutab lõpprõhu. Olenevalt rõhu vaheltvõttude arvust projekteeritakse reguleeritava vaheltvõtuga kondensatsioonitubiine mitmes erinevas konfiguratsioonis – üksik, duubel või kolmik. Kõige enam on kasutuses ühe vaheltvõtuga süsteemid, kuna need on odavamad ja lihtsama ülesehitusega. Reguleeritava vaheltvõtuga seadmed on olenemata soojuskoormusest loodud hoidma kondensatsiooni aururõhku konstantsena. Erinevalt vasturõhuturbiinidest on vaheltvõttudest võetav auru kogus reguleeritav ning samuti on võimalik elektrilist võimsust võimalik hoida konstantsena. Erinevalt mitte reguleeritavatest seadmetest ei ole reguleeritava vaheltvõtuga turbiinidel võimsusekadu. Kõrge vaheltvõtu rõhk ($< 0,6\text{MPa}$) sobib tööstuslikuks kasutamiseks ning madala vaheltvõturõhuga aur ($0,07\text{-}0,25\text{ MPa}$) sobib nii kütte- kui ka tarbevee soojendamiseks. Soojuskoormuse puudumisel töötab turbiin kondensatsioonžiimil, kuid sellisel juhul on seadmel väiksem kasutegur võrreldes ainult elektrit tootva jõuseadmega. Reguleeritavate vaheltvõttudega auruturbiin töötab kõige efektiivsemalt, kui reguleeritavad vaheltvõttud on koormatud ja soojuse tarbijad asuvad lähedal. Nende seadmete elektriline võimusus on 25-250 MW. [5]

Auruturbiinseadmete suurimateks eelisteks on pikk eluiga ja suur töökindlus, lisaks on neis seadmes võimalik kasutada kõiki kütuseid. Samuti sobivad auruturbiinseadmed ühtlasel koormusel töötama ning valides sobivat seadet on võimsuste ulatus väga lai. Antud tehnoloogia on koostootmisjaamades üks enamkasutatavaid. Puudustena on aurujõuseadmetel väga kõrged hoolduskulud ning vähene automatiseeritus. Väikese võimsusega (alla 1 MW) seadmetel on väike elektriline kasutegur, seega ei talu antud seadmed madalaid koormusi, kuna aur ei ole piisavalt kõrge temperatuuri ja rõhuga. [5]

Orgaaniline Rankine'i ringprotsess on väga sarnane auruturbiini ringprotsessiga. See on tehnoloogia, mis töötati välja geotermilise ja päikeseelektrijaamade tarbeks. Peamise kütusena kasutatakse selle tehnoloogia puhul puitpõhiseid biokütuseid. [6]

Rankine'i ringprotsess on termodünaamiline protsess, mida kasutatakse energia tootmiseks. Selle tehnoloogia suureks eeliseks on see, et elektrienergiat on võimalik toota kasutades madalal temperatuuril soojust, näiteks geotermaalenergiat. Madalatel temperatuuridel on aurul töötavad tehnoloogiad tihti ebaefektiivsed. Orgaanilise Rankine'i protsessis võib soojuse temperatuur olla vaid 70-80°C. Selle tehnoloogia elektriline efektiivsus on 10-20% sõltuvalt temperatuuri tasemest. Tehnoloogia koguefektiivsus on umbes 80% [7]. [8]

Kõige peamiseks erinevuseks aurul töötavate tehnoloogiatega on see, et orgaanilise Rankine'i ringprotsessi puhul on termodünaamiliseks kehaks kõrgmolekulaarsed orgaanilised vedelikud mille abil muundatakse soojust elektrienergiaks. Auruturbiini ringprotsessi puhul on termodünaamiliseks kehaks vesi. [7]

Orgaanilise Rankine'i ringprotsessi käigus kuumutatakse termoõli temperatuurini 300°C, mis soojusvahetis kannab soojuse üle silikoonõlile. Silikoonõli on orgaaniline soojuskandja, mis aurustub ja paisub turbiinis, seeläbi toodetakse elektrit ja soojust. [6]

Orgaanilise Rankine'i ringprotsessi peamisteks eelisteks on töötav keskkond, mis pole korrodeeruv ning ei kuluta seetõttu turbiini labasid ning elektri tootmiseks ei ole vaja saavutada väga kõrgeid temperatuure. Lisaks sellele on ka hoolduskulud võrreldes auruseadmetega väiksemad ning orgaanilise Rankine'i ringprotsessi moodulit on võimalik lisada ka olemasolevatele biokütuse kateldele. Samuti ei nõua protsess vee keemilist ettevalmistust ning on madala müratasemega. Tehnoloogial on väga lai koormuste ulatus ning kasutegur on suurem just väiksematel koormustel. Peamiste puudustena ORC seadmete puhul on kõrge investeringukulu, kuna tegemist on väga uudse tehnoloogiaga. Oluliseks puuduseks antud tehnoloogia puhul on see, et silikoonõli ja teised

orgaanilised soojuskandjad on õhuga kokkupuutel väga kergesti süttivad ning seetõttu ei tohi süsteemis esineda lekkeid. [6]

1.2.2 Gaasiturbiinjõuseadmed

Gaasiturbiinjõuseadmete töö põhineb Braytoni termodünaamilisel ringprotsessil ning sarnaneb oma põhimõttelt auruturbiiniga. Suurimaks erinevuseks gaasiturbiini ja auruturbiini töös on see, et auruturbiinis paneb turbiini mootori pöörlema kuumendatud aur, gaasiturbiini puhul aga põlemisel tekkinud kõrge rõhuga gaas. Nii õhk kui ka kütus sisestatakse põlemiskambrisse ning süüdatakse põlema. Õhu kokku pressimiseks kasutatakse kompressorit, see võimaldab põlemiskambrisse rohkem õhku mahutada. Gaasiturbiini kasuteguri suurendamiseks tuleb tõsta gaasiturbiini sisenevate gaaside temperatuuri. Juhul kui turbiini labasid ei jahutata on gaaside temperatuur 850-900°C, turbiini labasid jahutades võib temperatuur tõusta kuni 1600°C. Selleks, et saavutada suurem elektriline võimsus pritsitakse sageli veeauru või vett gaasiturbiini sisse, lisaks elektrilise võimsuse kasvamisele vähendab see ka lämmastikoksiidide kontsentratsiooni heitgaasides, kuna leegi temperatuur alaneb. Suurendades võimsust läbi vee sissepritsimise väheneb koostootmisjaama kasutegur. Gaasiturbiinist väljuvad heitgaasid on väga kõrge temperatuuriga (üle 400°C) ning need kasutatakse ära soojusena. Utilisaatsioonkatla ja gaasiturbiiniga genereeritud elektri ja soojuse suhe on 2 - 3,5, mis tähendab, et ühele toodetud energia ühikule vastab 2 – 3,5 toodetud soojusenergia ühikut. Koostootmisjaama kogukasutegur on kuni 90%, kus 55% moodustab soojus ning elekter 35%. [2] [5]

Elektrilise kasuteguri suurendamiseks on välja töötatud kombineeritud auru- ja gaasiturbiiniga süsteemid, mis on väga paindlikud. Sellises süsteemis juhitakse gaasiturbiinist väljuvad heitgaasid utilisaatorkatlasse, kus toodetakse auru, mis omakorda juhitakse auruturbiini. Suurematel võimsustel (75-400MW) on võimalik saavutada elektriline kasutegur 55-60%. Süsteem on võimaline töötama ka ilma auruturbiiniga, sellisel juhul juhitakse gaasiturbiinist väljuvad gaasid korstnasse. Aurutsükli skeemid on mitmesuguseid – ühe-, kahe- ja kolmerõhulisi. Halvema kvaliteediga kütuse puhul on kasutatakse üherõhulise aurutsükliga kombineeritud koostootmiseseadmeid. Kahe- või kolmerõhulise aurutsükliga koostootmiseseadmeid kasutatakse, kui kütus on kallid või elektrit on vaja pidevalt täiskoormusel toota. [5]

Integreeritud gaaskombitsükkel (ingl.k. *integrated gasification combined-cycle* (IGCC)) on kombinatsioon gaasiturbiinist ning utilisaatorkatlast, kuid sinna juurde on lisaks integreeritud veel seade, mis võimaldab süsihappegaasi eraldada ja hoiustada. Selle tehnoloogia abil on võimalik toota kivisöest energiat sama keskkonnasõbralikult nagu looduslikust gaasist. Kütus gaasistatakse ning saadakse seeläbi generaatorgaas, mis puhastatakse tahketest osadest, süsihappegaasist, väävlisist jms ning saadud sünteesgaas võimaldab toota kombineeritud gaasi-ja auruturbiiniga süsteemis nii soojus- kui ka elektrienergiat. IGCC tehnoloogia efektiivsus on kuni 47%. [5]

1.2.3 Kolbmootor

Kolbmootoriga koostootmisjaamades kasutatakse nii välis- kui ka sise põlemisega mootoreid, kus elektrienergia genereerimiseks kasutatakse gaasilise või vedela kütuse ja õhu segu, mis süttib plahvatusena. Sise põlemismootoriga tehnoloogia põhineb kas otto- või diiselmootoritel. Sellist tehnoloogiat kasutatakse ka autodes ja laevades, seal kasutatakse mootoris tekkivat pöõdliikumist edasi liikumiseks, kuid koostootmisjaamades toodetakse generaatori abil elektrienergiat. Soojusenergia aga saadakse elektri tootmisel seadmeist väljuvatelt põlemisgaasidelt. Otto-mootorites kasutatakse kütusena tavaliselt maagaasi ning soojuse ja elektilise võimsuse suhe on 1,2 - 1,7, mis tähendab, et kui toota üks ühik elektrit siis selle kõrvalproduktina toodetakse 1,2 - 1,7 ühikut soojust. Soojusenergia saadakse peamiselt väljuvatest heitgaasidest lisaks kasutatakse ära ka kogu jahutussüsteemis tekkiv soojus. Heitgaasid on enne soojusvahetisse jõudmist temperatuuriga 400-500°C, enne soojusvahetisse sisestamist jahutatakse need 70°C-ni. Sise põlemismootoriga soojuse- ja elektri tootmise kogukasutegur jääb vahemikku 85-92% ning kuna tegemist on väga kompaktsel ja suure kasuteguriga tehnoloogiaga, siis on antud tehnoloogia laialt levinud. [1] [5]

Lisaks sise põlemismootoritele on kasutusel ka välise põlemisega kolbmootorid, millest levinuim on stirlingmootor. See on leiutatud 1817.aastal inglise vaimuliku Robert Stirlingi poolt. Stirlingmootori töö põhimõte põhineb kinnises silindris oleva töögaasi (õhk, heelium, vesinik või muu gaas) kuumutamisel ja jahutamisel. Töögaasina kasutamiseks sobivad kõige enam suure erisoojusega, erijuhtivusega ja madala viskoossusega ja väikese tihedusega gaasid, mida vaheldumisi kuuma ja külma ruumi juhatakse. Stirlingmootori silindris asuvad üksteise peal kaks kolbi mis töötavad sünkroonis, pealne kolb on töökolb annab kuumutatava gaasi paisumisel töö edasi väntvõllile või paarishammasratastele, mis samuti tagavad kahe kolvi kooskõlastatud

liikumise. Alumises silindris olev kolb on väljatõrjekolb, mille ülesandeks on suunata kuum ja paisunud gaas jahutavasse külma ruumi ning seejärel jahutatakse. Pärast gaasi jahtumist juhitakse pealmises silindris olev töögaas väljatõrjekolvi abil tagasi kuumutatavasse ruumi. On välja töötatud ka eraldi silindrites olevate külma ja kuumaga mootoreid, kus silindrid on omavahel toruga ühendatud. Silindri töögaasi kuumutamiseks võib kasutada kütuse põletamist (biogaas, puidugraanulid), samuti võib kasutada ka kontsentreeritud päikesekiirgust või geotermaalsoojust. Stirlingmootorite kasutamisel üksikehitiste jaoks mõeldud minikoostootmisjaamadel on väga suur potentsiaal, sest mootori silindris on gaasirõhk palju madalam kui sise põlemismootoris. Madalama rõhu tõttu on need mootorid oma ehituselt lihtsamad ja töötavad ka väikestel võimsustel. Väikeste koostootmisjaamade eelisteks on väikesed kaod energia ülekandmisel ja jaotamisel, samuti on võimalik primaarenergiast saadavat energiat maksimaalselt ära kasutada. Välise põlemise tõttu ei kasutata antud tehnoloogia puhul bensiini-ega diiselkütust, mille põlemissaadusteks on veeaur ja süsinikdioksiid. Tehnoloogia kasutamise peamiseks eeliseks on kõrge kasutegur isegi väikestes (umbes 12 kW) koostootmisjaamades. [3] [5]

1.2.4 Kütuseelement

Kütuseelemendi tööpõhimõte on väga sarnane akupatareiga, mis genereerib süsivesinikest nagu maagaas madalal temperatuuril elektrienergiat. Kütuseelemendis toimub kütuse elektrokeemiline oksüdatsioon ehk külm põlemine mille tulemusena saadakse soojus- ja elektrienergiat. Koostootmises on võimalik kütuseelementi kasutada statsionaarsete seadmetega. Kütuseelemendi kasutamisel energia tootmises on mitmeid plusse, näiteks puuduvad antud tehnoloogias liikuvad osad, seega vajab seade oluliselt vähem remonti ja sekkumist kui näiteks turbiin või kolbmootor. Kütuseelemendiga seadmed on võimelised töötama hooldusvabalt 10 000 - 40 000 tundi ning on vibratsiooni ja müravabad just seetõttu, et liikuvad osad puuduvad. [5]

Kütuseelemendi kasutegur ei sõltu seadme suurusest, kütuseelemendi kasutegur jääb vahemikku 40 – 60%. Kombineerides kütuseelementi ja gaasiturbiini on võimalik saavutada elektriline kasutegur üle 70%. Tegemist on võrdlemisi kalliga tehnoloogiaga, mis nõuab lisaks ka väga palju ruumi, kuna see on mitmeid kordi suurem kui näiteks diiselmootorist ja generaatorist koosnevad seadmed. Kütuseelement-koostootmisjaamad sobiksid kasutamiseks erinevate hoonete ja elamute kohalikeks energiaallikateks. Kütuseelement-koostootmisjaamade laialdasem kasutamine

võimaldaks järk-järgult hajatootmisele üleminekut, mis omakorda vähendaks energia ülekandekadusid. [5]

1.3 Kütused

Koostootmisjaama planeerimisel on väga oluline kütuse valik. Kütuse valiku analüüsimisel tuleks arvesse võtta selle kättesaadavust ja hinda, kuna see määrab ära milline koostootmisjaam oleks vastavas olukorras kõige kasumlikum. Koostootmises on võimalik kasutada paljusid energiaallikaid, nii fossiilseid kütuseid (näiteks maagaas, kivisüsi, põlevkivi, diiselkütus, kütteõli), aga ka taastuenergiaallikaid nagu puiduhake või biogaas. Kütuse kõige olulisemad omadused:

- Väävli sisaldus – väävel on üks olulisemaid kütuse komponente. Väävli põlemisel tekib väävli oksüdatsioon ning vääveloksiidid emitteeruvad keskkonda. Väävli põlemisel madalal temperatuuril võib see põhjustada korrosiooni gaasikäikudes, eelsoojendis ja korstnas. Tehnoloogia valimisel tuleb arvestada, et põlemistemperatuur ei langeks madalamale kui 120-140°. Suuremate väävli sisaldusega kütuste puhul on tehnoloogia ja selle hilisem hooldus kallimad.
- Kloori sisaldus – ka kloori sisaldus mõjutab seadme gaasikäikude korrosiooni teket.
- Niiskusesisaldus - mida kõrgem niiskusesisaldus seda väiksem on kütuse kütteväärtus. Katla eripäradest sõltuvalt on paika pandud ka lubatud kütuse niiskusesisaldus. Kui kütus ületab lubatud niiskusesisalduse, siis takistab see katla tööd ning vähendab selle efektiivsust.
- Tuha sisaldus – kõrge tuhasisaldus suurendab kulusid, kuna põletusest allesjääv tuhk tuleb ära käidelda. Samuti tuleb suure tuhasisaldusega kütuste puhul rohkem investeerida ka puhastussüsteemidesse, et tuhk torusid ei ummistaks. Lisaks mõjutab kõrge tuhasisaldus soojusülekanne, vähendab suitsugaaside temperatuuri ning seejuures väheneb seadme efektiivsust.
- Tuha sulamistemperatuur – väga oluline on katlas mitte ületada tuha sulamistemperatuuri, kuna tuha sulamise korral muutub see kleepuvaks ning kinnitub torude seintele ja ummistab need. [7]

Katla projekteerimisel tuleb kindlasti arvestada erinevate kütuste eripäradega. Kasutades korraga mitut erinevat kütust tuleb enne kindlaks teha milline peaks olema nende vahekord. Kui katel on mõeldud vaid ühe kütuse kasutamiseks, ei tohiks samas katlas kasutada mitte ühtegi teist kütust, kui esialgu ette nähtud. Kütuste tuha sulamistemperatuur on erinev ja see võib põhjustada gaasitorude ummistumist. [7]

1.5 Erinevate koostootmistehnoloogiate võrdlus

Eelnevates alapeatükkides kirjeldatud koostootmistehnoloogiate peamised eelised ja puudused on välja toodud Tabel 2.

Tabel 2. Koostootmistehnoloogiate peamised eelised ja puudused

	Eelised	Puudused
Aurujõuseadmed	Sobib ühtlase koormuse puhul	Ei talu väikseid koormuseid
	Töökindel	Kõrged hoolduskulud
	Levinud tehnoloogia	Spetsialistide vajadus
	Lai võimsuste valik	Eeldab toitevee ettevalmistust
		Väikestel seadmetel madal elektriline kasutegur, tulenevalt auru madalatest parameetritest
	Kõrge erimaksumus	
Gaasiturbiin-jõuseadmed	Puudub vajadus toitevee järele	Aktiivosade kiirem kulumine (nt labad)
	Kiire käivitamine - mõnest sekundist mõne minutini	Vajab sagedast hooldust
	Väikesed mõõtmed ja väike ruumivajadus, võrreldes aurujõuseadmega on vajalik ruumala ~200 korda väiksem	Lühem eluiga
	Heitgaaside väiksem mõju keskkonnale	
	Ei nõua palju hooldust	
	Kõrge elektriline kasutegur	
	Väiksem kapitalimahukus	
	Ehitusaeg on lühike	
Kolbmootor	Laialt levinud tehnoloogia	Kütus on kallid
	Väiksem kapitalimahukus	
	Kõrge kasutegur isegi väikestes koostootmistootmis- jaamades	
Kütuseelement	Vajab vähe hooldust	Väga kallid tehnoloogia
	Vajab vähe spetsialisti sekkumist	Nõuab palju ruumi
	Müra- ja vibratsioonivaba	

Tabelis 3 on ülevaade erinevate tehnoloogiate erinevatest tööparameetritest sh elektrilisest võimsusest, mille kohaselt kõige suuremaid võimsuseid on võimalik saavutada kasutades auruturbiini. Kõige suurem elektriline kasutegur on kolbmootoritel põhinevatel tehnoloogiatel ja kütuseelemendil. Investeeringu kulud on kõige kallimad taas auruturbiinil ning kõige väiksem investeeringu kulu on gaasiturbiinil ja diiselmootoril.

Tabel 3. Koostootmisseedmete töö parameetrid ja maksumused [9] [10]

Süsteem	Elektriline võimsus MW	Aastane kasutatavus %	Elektriline kasutegur eri koormustel		Kogukasutegur %	Elekter/soojus suhe	Eeldatav investeering, €/kW _e	Eeldatavad ülalpidamiskulud, €/kWh _e
			100%	50%				
Auruturbiin	0,5-100	90-95	14-35	12-28	60-85	0,1-0,5	1000...2000	0,003
Gaasiturbiin	0,1-100	90-95	25-40	18-30	60-80	0,5-0,8	450...950	0,0045...0,0105
Diiselmootor	0,07-50	80-90	35-45	32-40	60-85	0,8-2,4	340...1000	0,0075... 0,015
Otto mootor	0,015-2	80-85	27-40	25-35	60-85	0,5-0,7	600...1600	0,0075... 0,015
Kütuseelement	0,04-50	90-92	37-45	37-45	85-90	0,8-1,0	-	-
Stirling mootor	0,003-1,5	85-90	35-40	34-49	60-80	1,2-1,7	-	-

1.4. Elektri ja soojuse koostootmisest Eestis

Allolev Tabel 4 kajastab 2017.aasta seisuga Eestisse installeeritud koostootmisseedmeid. Kokku on installeeritud koostootmisseedmete netovõimsus 561,65 MW. Suurimad seedmed asuvad Balti Elektriijaamas ning Iru elektriijaamas, kus seedmete netovõimsus on lausa üle 150 MW. Koostootmisseedmeid on kokku 47, nendest 27 on netovõimsusega 1-38 MW ning ülejäänud 18 koostootmisseedme netovõimsused jäävad alla 1 MW.

Tabel 4. Eestisse installeeritud koostootmisseedmed [11]

Elektriijaama nimi	Tootmisseedme tüüp	Kütus	Netovõimsus, MW
Balti Elektriijaam	KTJ	põlevkivi	192
Iru Elektriijaam	koostootmisplakk	maagaas	156
Põhja SEJ	koostoomis-kondensatsiooniturbiin	generaatorgaas	38
Tartu elektriijaam	koostootmisplakk	biomass	22,1
Tallinna elektriijaam	koostootmisplakk	biomass	21

Pärnu elektriyaam	vasturõhu turbiin	biomass	20,5
Iru Elektriyaam Jäätmeplakk	koostootmisplakk	prügijäätmed	17
Sillamäe SEJ	koostootmisplakk	Põlevkivi	10
Horizon tselluloosi ja paberi AS	vasturõhuturbiin vaheltvõttudega	must leelis	10
Imavere koostootmisjaam	koostootmisplakk	biomass	10
Lõuna SEJ	koostootmisturbiin	generaatorgaas	7
Põhja SEJ	koostootmisturbiin	generaatorgaas	7
Verekeskus, turvatoitegeneraator	diiselmootor	diiselnõut	6,65
Helme koostootmisjaam	koostootmisplakk	biomass	6,5
Painküla koostootmisjaam	gaasimootor	maagaas	4,3
Grüne Fee Eesti AS	gaasimootor	maagaas	4,06
Kunda Nordic Tsement koostootmisjaam	gaasimootor	maagaas	3,1
Kuressaare soojuse- ja elektri koostootmisjaam	koostootmisplakk	biomass	2,3
Aravete Biogaas OÜ	gaasimootor	biogaas	2
Tallinna prügila koostootmisjaam	gaasimootor	prügilagaas	1,94
Jämejala koostootmisjaam	gaasimootor	maagaas	1,8
Repo Vabrikud AS	gaasiturbiin	maagaas	1,77
Paide CHP	koostootmisplakk	biomass	1,73
Ilmatsalu biogaasijaam	gaasimootor	biogaas	1,48
Vinni biogaasi jaam	gaasimootor	biogaas	1,36
Kiviõli Keemiatööstuse OÜ SEJ	koostootmisplakk	põlevkivi uttegaas	1,3
Katerina SEJ	gaasimootor	maagaas	1,2
Veepuhastusjaama diiselnõut	diiselnõut	diiselnõut	1,2
Oisu biogaasi jaam	gaasimootor	biogaas	1,19
Rakvere Koostootmisjaam	koostootmisplakk	biomass	0,99
Põlva elektri- ja soojuse koostootmisjaam	gaasimootor	maagaas	0,92
Rakvere Päikese tn 4 KTJ	koostootmisplakk	biomass	0,85
Kopli KTJ	gaasimootor	maagaas	0,82

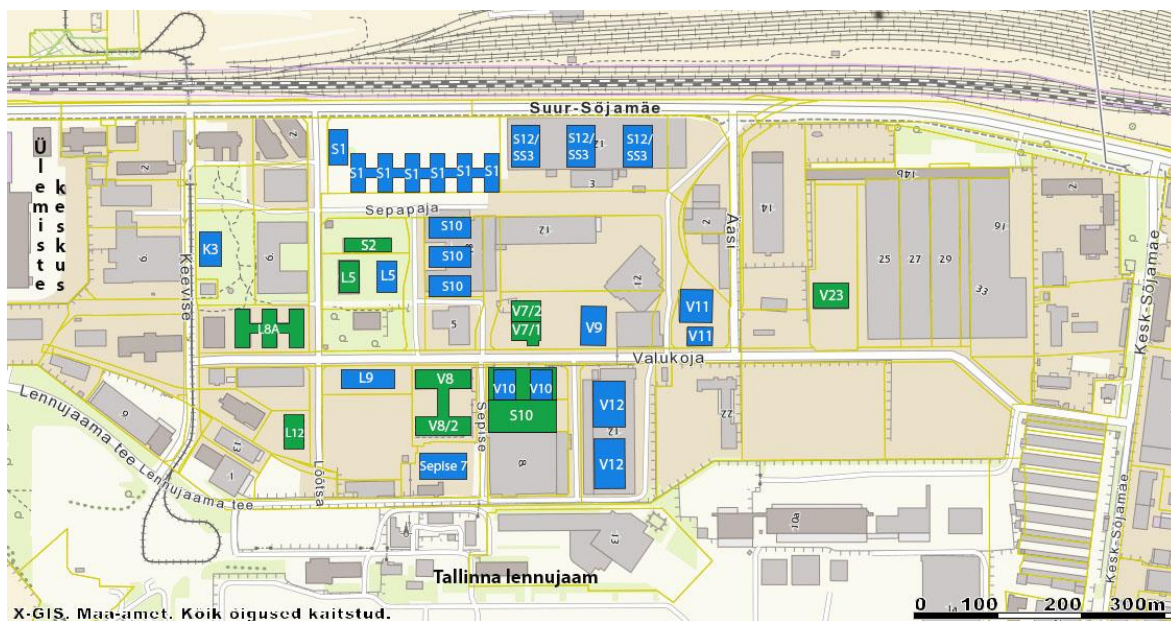
2. OBJEKTI KIRJELDUS

Käesolevas peatükis antakse ülevaade Ülemiste City linnakust, selle arendusplaanidest ning linnaku soojuse- ja elektri koormusest.

2.1 Ülevaade linnakust

Ülemiste City asub Tallinna linnas, Tallinna lennujaama ja Ülemiste keskuse vahetus läheduses. Linnaku arendamist alustati 2005.aastal ning rajati endise Dvigateli tehase territooriumile. Arendajate eesmärgiks on luua Balti riikides ainulaadne teadmistele tuginev majanduskeskkond ehk „Tark Linn“, mille pindala on kokku 36 hektarit. Hetkel tegutseb linnakus üle 300 ettevõtte, kus töötab kokku rohkem kui 8000 inimest. Tänapäevaks on linnakus hästitoimiv taristu ning rohkem kui 170 000 m² äri- ja tootmispinda. Ülemiste City arendajateks on Mainor Ülemiste AS, kes arendab ~67% linnakust ning Technopolis Ülemiste AS, kes arendab ~33% linnakust. 2010.aastal sõlmis Mainor Ülemiste AS lepingu Soomes tegutseva ärikinnisvara ja – tugiteenuseid pakkuva börsifirmaga Technopolis Plc, mille raames loodi uus ettevõtte nimega Technopolis Ülemiste AS. Loodud ettevõttest 51%-lise osaluse sai Technopolis Plc ning 49%-line osalus jäi Mainor Ülemiste AS-le. [12]

Allolev Joonis 2 on väljavõte Maa-ameti kaardilt, millel on kujutatud Ülemiste piirkonda, kuhu kuulub Ülemiste City. Joonisel on roheline värviga kujutatud Ülemiste City koosseisu kuuluvad olemasolevad hooned ning hooned millel on kinnitatud ehitusluba ja detailplaneering, sinine värv tähistab planeeritavaid hooneid. Joonisel on kujutatud vaid planeeritava koostootmisjaamaga ühendatavad hooned.



Joonis 2. Ülemiste City planeering

Tabel 5. Töös käsitletavate hoonete andmed

Adress	Ehitise nimetus	Esmane kasutus	Korruste arv	Suletud netopind, m ²
Lõõtsa 5	Büroohoone	2015	13	10817,4
Lõõtsa 8A	Büroohoone	2013	10	25058
Lõõtsa 12	Büroohoone	2018	13	10809,2
Sepapaja 2	Kauplus	2017	1	1248,5
Valukoja 23	Tootmishoone	2014	2	2 300,9
Valukoja 7/1	Tootmishoone	2011	2	1 243,9
Valukoja 7/2	Tootmishoone	2011	4	3 427,4
Suur-Sõjamäe 8a	HOONE	2005	4	3 140,2
Suur-Sõjamäe 10a	HOONE	2006	3	2 739,2
Suur-Sõjamäe 10	Admin. Hoone	1962	5	4 205
Valukoja 8	Büroohoone	2016	13	19 607,9
Valukoja 10	Ärihoone	1910	4	3 310,9
Sepise 10	Spordihoone	1910	2	3 193
Valukoja 8/2	Büroohoone	2018	13	19 607,9
Sepise 7	Büroohoone	2022	13	12000
Sepapaja 10	Büroohoone + elukondlik	2026	8+10+13	35000
Valukoja 9	Kool-lasteaed	2021	4	6000
Valukoja 10	Büroohoone	2019	7	5700
Valukoja 10	Elukondlik	2019	13	6300
Valukoja 11	Büroo + elukondlik	2028	10	9000
Valukoja 12-1	Büroohoone	2030	9-13	10000
Valukoja 12-2	Büroohoone	2030	9-14	10000
Sepise 12/SuurSõjamäe 3	1-etapp (äri- ja büroohoone)	2032	13-14	12000
Sepise 12/SuurSõjamäe 3	2-etapp (äri- ja büroohoone)	2034	13-14	12000

Sepise 12/SuurSõjamäe 3	3-etapp (äri- ja büroohoone)	2036	13-14	12000
Löötsa 5/2	Büroohoone	2023	10	13833
Löötsa 9	Büroohoone	2023	13	23550
Sepapaja 1	Büroohoone	2025	7x13	132220
Keevise 3	Büroohoone	2028	3	11241

2.2 Linnaku soojusenergia aastane tarbimine

Ülemiste City hooned ei ole ühendatud kaugküttevõrku, kõikides olemasolevates hoonetes kasutatakse lokaalse kütteallikana gaasikatlaid. Käsitletavas piirkonnas ei ole välja ehitatud kaugküttevõrku, kuid kõik ehitatavad ja rekonstrueeritavad hooned on alates 27.05.2017 kohustatud liituma kaugküttevõrguga. 27.05.2017 esitati määrus „Tallinna kaugküttepiirkonna piirid, kaugküttevõrguga liitumise ja sellest eraldumise tingimused ja kord, kaugkütte üldised kvaliteedinõuded ja võrguettevõtja arenduskohustus“ uues redaktsioonis. Määruse kohaselt kuulub ka Ülemiste City alates uue redaktsiooni jõustumise hetkest kaugküttepiirkonna piiridesse (Joonis 3). Võrguga on kohustatud liituma ja võrgu soojust kasutama isik, kelle omandis või valduses on kaugküttepiirkonnas asuv, ehitatav või rekonstrueeritav hoone [13].



Joonis 3. Tallinna kaugküttepiirkonna piirid ning Ülemiste City piirkond kaardil [13]

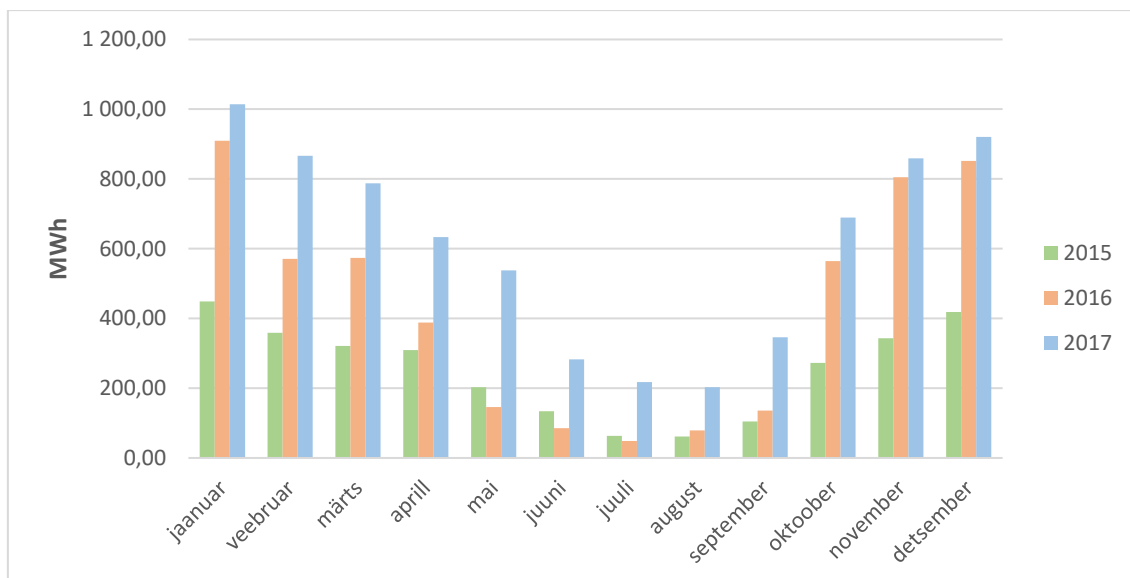
Linnakus on välja ehitatud gaasivõrk (Lisa 3) seega kasutatakse kütusena kogu linnakus maagaasi. Kütuse tarbimine on otseses sõltuvuses toodetud soojuse kogusega. Igas gaasikatlas aastatel 2015-2017 kulunud kütuste kogused on saadud ettevõttelt AS Dvigatel – Energeetika, kes on nii võrguteenuse pakkuja kui ka gaasiga varustaja. Nende andmete põhjal on arvatud välja toodetud soojuse kogused. Selleks on korrutatud gaasi kogus (m³) gaasi ülemise kütteväärtusega (kWh/m³) ning gaasi, kondensatsioonikatla kasuteguriga (%). Gaasi keskmise ülemise kütteväärtusena on arvestatud 2017.aasta keskmist väärtust, mis on 10,48 kWh/m³ [14], kondensaatsioonikatla kasuteguriks on 95% [15]. Käsitletavate hoonete gaasi kulu kuude lõikes aastatel 2015-2017 kajastub Tabel 6.

Tabel 6. Gaasi kulu kuude lõikes aastatel 2015-2017

	2015 [m ³]	2016 [m ³]	2017 [m ³]
jaanuar	45 058	91 337	101 879
veebruar	36 050	57 375	86 992
märts	32 223	57 599	79 066
aprill	31 087	39 027	63 574
mai	20 377	14 625	54 041
juuni	13 449	8 552	28 382
juuli	6 407	4 846	21 844
august	6 159	7 896	20 355
september	10 537	13 681	34 737
oktoober	27 379	56 684	69 212
november	34 476	80 817	98 483
detsember	42 037	85 505	114 582
KOKKU	305 239	517 944	773 147

Error! Reference source not found. on ära märgitud kogu linnaku ühendused tsentraalse gaasitrassiga.

Joonis 4 kajastab olemasolevate hoonete kolme aasta soojuskoormust kuude lõikes. Jooniselt avaldub väga selgelt, et iga aastaga on soojusenergia tarbimine suurenenud. Selle peamiseks põhjuseks on see, et linnakut arendatakse pidevalt ning hooneid ehitatakse aina juurde. 2017.aastal oli soojusenergia kogutarbimine 7 356,28 MWh, mil linnakusse oli võrreldes 2016-nda aastaga lisandunud kaks hoonet. 2016.aastal oli soojusenergia tarbimine 5 156,65 MWh, mis on umbes 2000 MWh väiksem, kui 2017.aastal ning umbes 2000 MWh suurem kui 2015.aastal mil kogutarbimine oli 3 038,96 MWh.



Joonis 4. Ülemiste City soojuskoormus kuude lõikes aastatel 2015-2017

Sageli on olemasoleva hoone energiatarbimise hindamisel otstarbekas võrrelda energiatarbimist erinevate perioodide vältel. Suur osa soojuse tarbimisest hoones sõltub valitsevast väliskliimast, mis erinevatel aastatel pole päris sama. Erinevuste kõrvaldamiseks tuleb kasutada kraadpäevi. Kraadpäevade oluliseks kasutusala on erinevate aastate välisõhu temperatuuri mõju elimineerimine soojustarbimisele. Selleks, et elimineerida erinevate aastate välisõhu temperatuuri mõju soojustarbimisele kasutatakse allolevat valemit:

Võrrand 1. Normaalaasta soojustarbimise leidmise võrrand

$$Q_N = (Q_{teg} - C) \times \frac{S_N}{S_{teg}} + C \quad ,kus$$

Q_N - normaalaasta soojustarbimine, MWh

Q_{teg} - tegeliku aasta soojustarbimine, MWh;

S_N - normaalaasta kraadpäevade arv (lihtsad kraadpäevad, valitud vastavalt tasakaalutemperatuurile tB hoones);

S_{teg} - tegeliku aasta kraadpäevade arv (valitud samal tasakaalutemperatuuril tB, mis S_N);

C - kraadpäevadest sõltumatu soojustarbimine, MWh.

Antud valemit kasutades on büroohoone keskmiseks tasakaalu temperatuuriks arvestatud 11°C. [16]

Allolevas Tabel 7 on kajastatud Ülemiste City keskmine soojuskoormus aastatel 2015 - 2017, normaalaasta tarbimine ning nende erinevus protsentuaalselt.

Tabel 7. Ülemiste City olemasolevate hoonete keskmine tegelik tarbimine aastatel 2015-2017 versus normaalaasta tarbimine

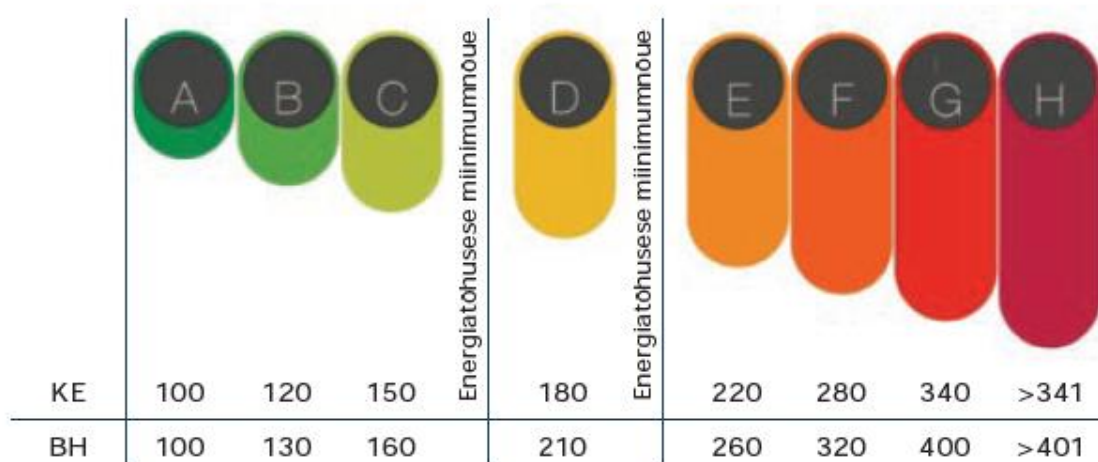
	Tegelik tarbimine [MWh]	Normaal-aasta [MWh]	Δ%
Lõõtsa 5	801,5	888,3	10
Lõõtsa 8A	2002,4	2357,2	15
Sepapaja 2	207,4	232,9	11
Valukoja 23	138,3	155,7	11
Valukoja 7/1 ja 7/2	421,2	495,6	15
Valukoja 8	946,0	1054,0	10
Valukoja 10	108,5	121,5	11
Sepise 10	724,3	813,0	11
Keskmine	669	765	12

Lisaks kasutuses olevatele majadele valmivad aastal 2018 kaks maja – Lõõtsa 12 ja Valukoja 8/2, mida käsitletakse töös kui planeeritavaid hooneid, kuigi küttesüsteemid on tänaseks juba mõlemas majas välja ehitatud. Nende majade tarbimise prognoosimiseks kasutatakse samuti allpool kirjeldatud meetodit.

Hindamaks ehitatavate majade tarbimist on aluseks võetud Technopolis Ülemiste AS arenduste puhul Lõõtsa 5 büroohoone, mis on kõige viimane maja mis on ehitatud ning mille tarbimist on võimalik mõne kasutuses olnud aasta põhjal analüüsida. See tähendab, et tulevaste majade tarbimise prognoos põhineb Lõõtsa 5 büroohoone tarbimisel. Mainor Ülemiste AS poolt arendatavate hoonete tarbimise prognoos põhineb aga Valukoja 8 ehk Öpiku maja tarbimisandmetel. Nii Valukoja 8 kui ka Lõõtsa 5 on B-energiaklassi hooned. Tulenevalt Eesti Vabariigi määrusest peavad kõik hooned, millele antakse ehitusluba või esitatakse ehitusteatis ja hoone püstitatakse pärast 2019. aasta 31.detsembrit, vastama liginullenergiahoonetele kehtestatud nõuetele ja olema A-energiaklassi hooned [17].

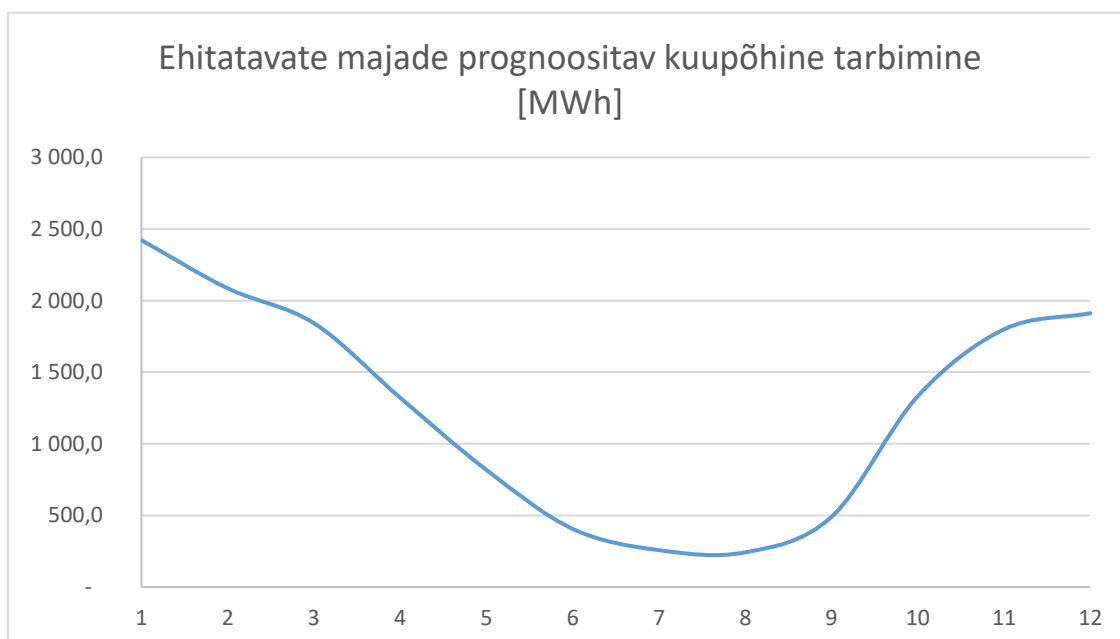
Energiamärgise skaala näitab, kui palju võib energiakasutus kõikuda – G-klass vastab kõige kehvas seisundis olevatele hoonetele, D-klass on olulise rekonstrueerimise miinimumnõue, C-klass uute hoonete miinimumnõue ja A-klass liginullenergiahoonete nõue, mis edaspidi muutub uute hoonete miinimumnõudeks. Alloleval Joonis 5 on toodud korterelamute ja büroohonete energiamärgise klassid. Seda arvesse võttes on prognoositavate tarbimiste leidmiseks kõikide

hoonete tarbimine jagatud koefitsiendiga 1,3, mis on leitud B-energiaklassi ja A-energiaklassi energiatõhusarvu (ETA) jagatisena. [18]



Joonis 5. Energiatõhususe klasside energiatõhususarvud büroohoones (BH) ja korterelamutes (KE) [18]

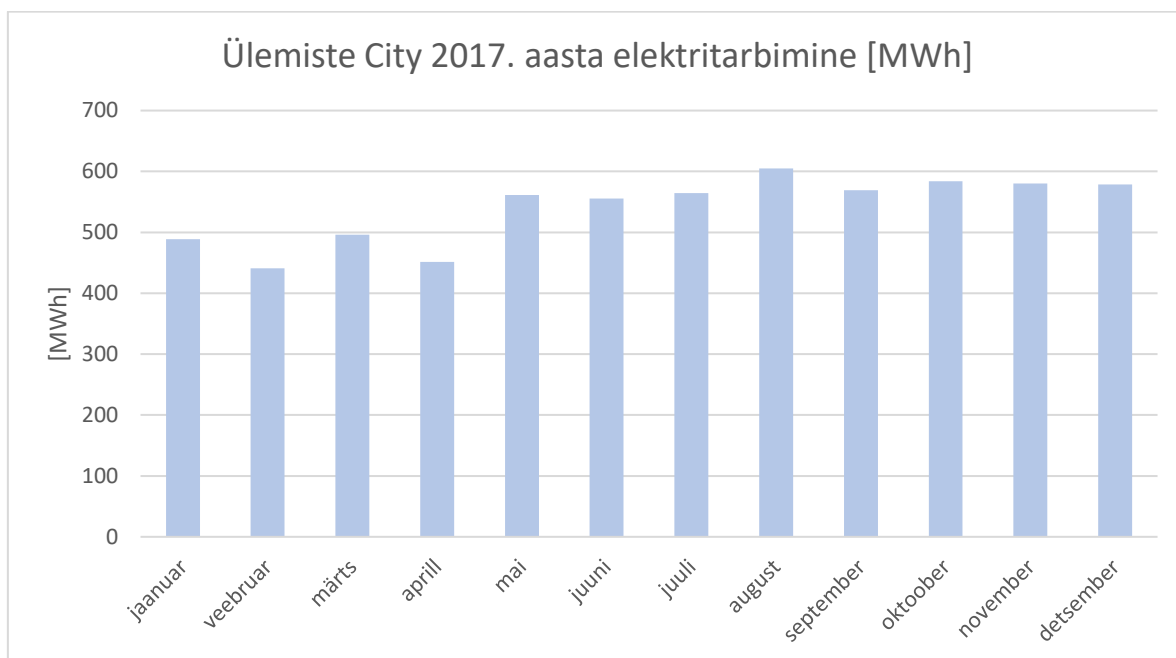
Olemasolevate ja ehitatavate hoonete aastane soojuskoormus kokku on ligikaudu 22 330 MWh. Arvutuste tulemusena saadud soojusenergia prognoositav tarbimine kajastub Lisa 1 ning kuupõhise prognoositava tarbimise võtab kokku Joonis 6.



Joonis 6. Ehitatavate majade prognoositav kuupõhine soojuse tarbimine [MWh]

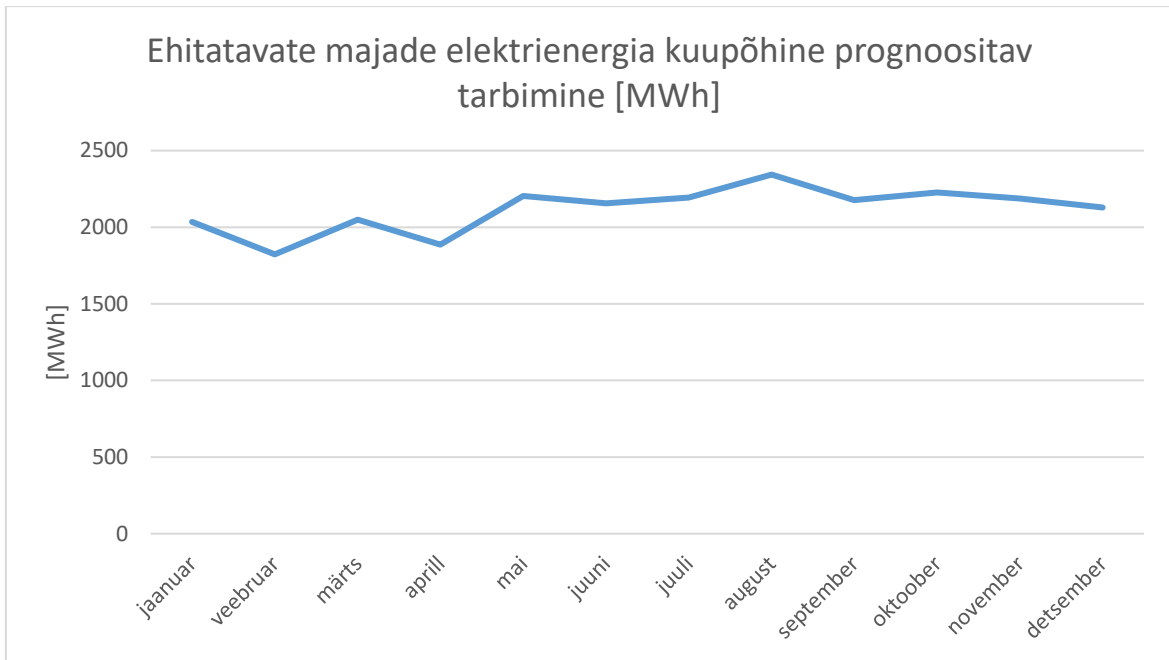
2.3. Linnaku aastane elektrienergia tarbimine

Ülemiste City olemasolevate hoonete keskmine elektrienergia tarbimine aastas on ligikaudu 6500 MWh (Joonis 7) . Elektrienergiat kasutatakse peamiselt Ülemiste City tänavate valgustamiseks ning klientide varustamiseks. Ülemiste City on ühendatud tsentraalse elektrivõrguga ning vastupidiselt soojusenergiale ostetakse kogu elektrienergia läbi keskpinge võrgu. Lisa 4 kajastab kogu linnaku ühendusi ja kaableid tsentraalse elektrivõrguga.



Joonis 7. Ülemiste City 2017.aasta elektritarbimine [MWh]

Jooniselt selgub, et linnaku olemasolevate hoonete elektrikoormus on aasta lõikes üsna ühtlane ning ei ole aastaajast ega ilmastikuoludest otseses sõltuvuses. Elektrienergia tarbimist kajastav Joonis 1 Joonis 7 põhineb 2017.aasta andmetel, kuna AS Mainor Ülemiste poolt saadud tarbimisandmed kajastasid vaid 2017. aasta tarbimist. Hoonete elektrienergia prognoostarbimised on näidatud Lisa 2. Elektrikoormuse prognoosimisel on taas lähtutud samast printsiibist nagu soojuskoormuse arvutamisel, kus elektrienergiaga tarbimise prognoosimisel võeti aluseks Mainor Ülemiste AS arenduste puhul Valukoja 8 elektritarbimine ning Technopolis Ülemiste AS arenduste puhul Lõõtsa 5 olemasolevad elektri tarbimise andmed (Joonis 8). Olemasolevate ja ehitatavate hoonete prognoositav aastane elektrienergia kokku on ligikaudu 30600 MWh.



Joonis 8. Ülemiste Citysse ehitatavate majade elektrienergia kuupõhine prognoositav tarbimine [MWh]

3 TEHNOLOOGIA VALIK

Tehnoloogia valiku puhul võetakse arvesse ettevõtte strateegiat, riskijuhtimist, finantsvõimekust, objekti logistilist asukohta, linnaku ruumi kasutust ja vaba ruumi. Katla dimensioneerimisel tuleb arvesse võtta asjaolu, et linnaku puhul on tegemist areneva piirkonnaga, kus tänase projekti kohaselt valmib viimane hoone aastal 2036. See tähendab, et kogu katla võimsust ei ole mõistlik korraga dimensioneerida ning tuleks leida võimalikult paindlik lahendus, mis võimaldab ajas koostootmise mooduleid juurde lisada. Tehnoloogia valikut kitsendab kõige enam kasutatav kütus. Kõige optimaalsemateks kütuse valikuteks mida ehitatav koostootmisjaam võiks kasutada on maagaas ja biomass. Maagaas seetõttu, et antud piirkonnas on välja ehitatud gaasi trass, mille kaudu saavad ka olemasolevad katlad oma gaasi, et katlaid kütteperioodil töös hoida. Biomassil põhineva koostootmisjaama vastu on arendajail endil väga suur huvi, kuna tegemist on taastuva energiaallikaga ning selle kättesaadavus ei ole sõltuv välisturgudest nagu seda on maagaas. Lisaks on linnakus piisavalt ruumi ja võimalusi puiduhakke ladustamiseks. Käesoleva töö raames aga analüüsitakse maagaasil töötavat koostootmisjaama, kuna hetkel tehakse paralleelselt ettevõtte siseselt majanduslikke arvutusi ka puiduhakkel töötava aurujõuseadme tasuvusest. Sellest tulenevalt annab käesolev töö võimaluse hiljem võrrelda erinevate tehnoloogiate majanduslikku tasuvust.

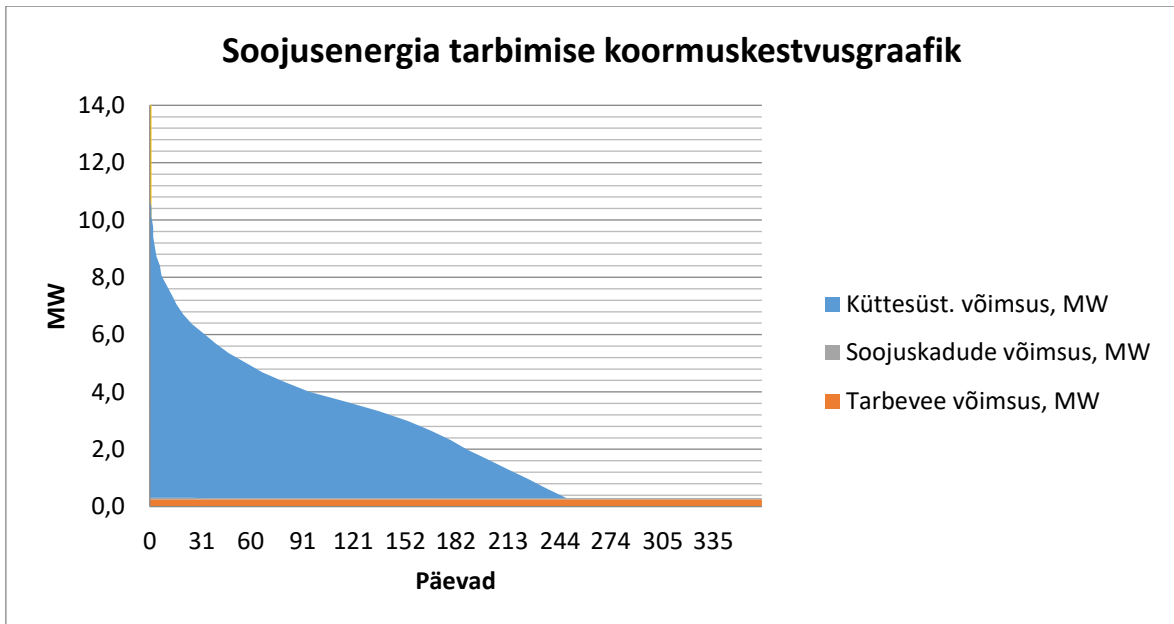
Nüüd, kui kütuse valik on kindlaks tehtud, on tarvis kindlaks teha rajatava koostootmisjaama võimsus. Võimsuse arvutamisel võeti arvesse büroohoonete keskmist tasakaalutemperatuuri 11°C ja kraadpäevasid samal tasakaalutemperatuuril, temperatuurist sõltuvat soojuse tarbimist (MWh/aastas) ning välisõhu temperatuuri, mil lõpetatakse/alustatakse kütmist - antud juhul määrati selleks temperatuuriks 13°C. Lisaks temperatuurist sõltuvale soojuse tarbimisele võeti arvesse ka sooja tarbevee soojendamiseks vajaminevat soojust, milleks on arvestatud 10% kogu aastasest soojuskoormusest. Samuti arvestati võimsuse arvutamisel ka soojuskadudega. Kadude arvutamisel on lähtutud, et paigaldatakse II või III klassi soojusisolatsiooniga torud, mille kadudeks on 1800 m soojustrassi kohta 367MWh aastas. Kadude leidmise arvutuslik käik põhineb AS Utilitas Tallinn poolt väljatöötatud arvutustabelis. Kõik soojusliku võimsuse arvutamiseks vajaminevad andmed on kajastatud

Tabel 8.

Tabel 8. Koormuskestvusgraafiku arvutamiseks vajaminevad sisendparameetrid

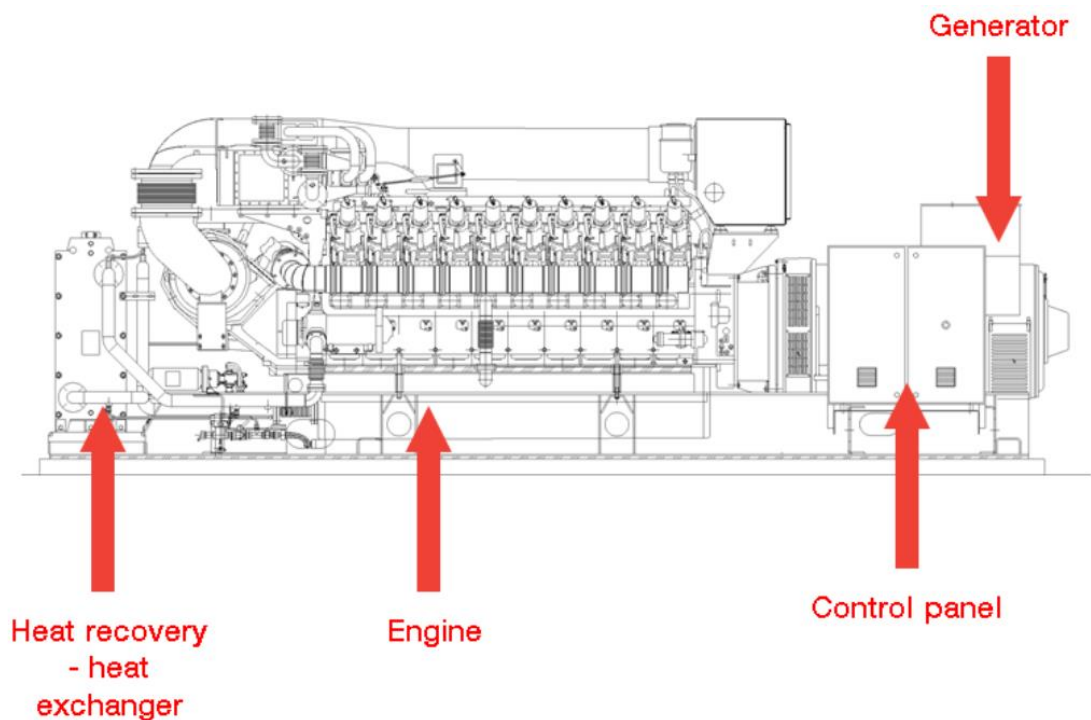
Sisendparameeter	Sisendparameetri väärtus
Tasakaalu temperatuur, [°C]	11
2017.aasta kraadpäevad	2471
Temperatuurist sõltuv soojuse tarbimine, MWh/aastas	22300
Välisõhu temperatuur kütteperioodi alustamiseks/lõpetamiseks, [°C]	13
Aastane sooja tarbevee soojendamine, MWh	2230
Soojusvõrgu töötamise aeg, päevad	365
Aastane soojuskadu, MWh	367

Tabel 8 kasutatud sisendandmete põhjal saadud koormuskestvusgraafik kajastub alloleval Joonis 9. Selle kohaselt on linnakusse paigaldatava koostootmisjaama vajalik tipuvõimsus 11,8 MW. Koostootmisjaama dimensioneerides aga ei tasuks lähtuda tipuvõimsusest, seepärast tuleks võtta veidi väiksema võimsusega agregaat ning tippude katmiseks kasutada tipukatelt. Arvutuste kohaselt arvestatakse võimsusega 6,5 MW.



Joonis 9. Soojusenergia tarbimise koormuskestvusgraafik

Vastavalt valitud võimsusele tuleb valida antud süsteemi kõige optimaalsemad ja paindlikumad maagaasil töötavad koostootmisagregaadid. Ettevõtte Filter AS pakub oma tootevalikus töökindlaid Austrias toodetud Jenbacheri gaasimootoreid (Joonis 10), mille hulgast kolme kaalutakse ka antud töö raames käsitleda.



Joonis 10. Jenbacheri gaasimootor ja selle põhikomponendid (Heat recovery.heat exchanger - soojusvaheti; engine - mootor; control panel - kontroll paneel; genarator - generaator) [19]

Lähtuvalt sellest, et Ülemiste City pidevalt areneb, ei ole otstarbekas dimensioneerida koostootmisjaama kohe kogu võimsusel töötama. Arenguplaanide kava ulatub täna aastani 2036, mis tähendab, et alles alates aastast 2036 on vaja, et koostootmisjaam töötaks planeeritud võimsusel 6,5 MW. Seepärast on kõige mõistlikum dimensioneerida koostootmisjaam mitmest gaasimootorist kokku. Tabel 9 kajastab Jenbacher gaasimootorite tehnilisi andmeid ja nende võrdlust.

Kuna koostootmisjaama rajamisel on oluline paindlikkus, siis on sihilikult välja valitud väiksemate soojusvõimsustega masinad. Vastavalt soojusvõimsuse vajadusele 6,5 MW on vaja Jenbacher J420 gaasimootoreid soetada kokku 4 tükki (kokku $5,7\text{MW}_{\text{el}}$, $6,5\text{MW}_{\text{s}}$), Jenbacher J612 gaasimootoreid vähemalt 3 (kokku 6MW_{el} , $5,7\text{MW}_{\text{s}}$) ning Jenbacher J620 gaasimootoreid kaks tükki (kokku $6,7\text{MW}_{\text{el}}$, $6,2\text{MW}_{\text{s}}$). Mootori soetuskulu on sõltuvas elektrilise võimsusega, kus 1 miljon eurot / MW_{el} . Antud juhul on kõige paindlikumaks ja majanduslikult otstarbekam valida Jenbacher J420 gaasimootor, kus paigaldatakse kokku 4 agregaati, et katta ära Ülemiste City soojusvajadus.

Tabel 9. Jenbacher mootorite tehnilised andmed ja võrdlus [20]

	J420	J612	J620
Electrical Output (kW)	1426	2004	3360
Energy Input (kW)	3443	4434	7357
NOx	500	500	500
Thermal Efficiency	47,10%	42,40%	42,40%
Electrical Efficiency	41,40%	45,70%	45,70%
Total Efficiency	88,60%	88,10%	88,10%

Koormustippude katmiseks on vaja lisada süsteemi gaasikatel. Kuid kuna koostootmisjaamaga ühendatakse ka olemasolevad majad, kus on täiesti töökorras ja mõnes majas (Lõõtsa 5, Lõõtsa 12 ja Valukoja 8/2) peaaegu uus katel, siis oleks mõistlik koormustippude katmiseks ära kasutada olemasolevate katelde võimsust. Seeläbi on võimalik kokku hoida ka investeerimiskuludelt.

3.1 Elektrivõrgu rajamine

Koostootmisjaama dimensioneerimisel võeti peamiselt arvesse tehnoloogia soojuslikku võimsust. Lähtudes paigaldatavate gaasimootorite tehnilistest andmetest küsiti antud töö raames ka Eleringi

käest pakkumine elektrivõrgu väljaehitamiseks, mis ühendaks planeeritava koostootmisjaama ja elektrienergiat tarbivad hooned. Pakkumise käigus selgus, et projekt ei ole elektrivõrgu loomise suhtes väga tasuv, kuna gaasimootorid on võimalik ühendada vaid madalpingevõrku ning seetõttu ei ole pinge piisavalt tugev, et jõuda majadeni ja varustada neid piisava koguse elektriga. Mootorid suudaksid vaevu ära täita nelja maja elektrivajaduse ning sealjuures oleks elektrivõrgu väljaehitamise maksumuseks ligikaudu 500 000 eurot.

4 KOOSTOOTMISJAAMA MODELLEERIMINE SIMULATSIOONIPROGRAMMIGA ENERGYPRO

Ülemiste City City koostootmisjaama simuleerimiseks on käesolevas töös kasutatud EnergyPRO modelleerimistarkvara. Tarkvara on välja töötatud Taani ettevõtte EMD International A/S poolt. Programm võimaldab simuleerida erinevat tüüpi elektri- ja soojusjõujaamade tööd, analüüsida jaamade aasta, kuu- ja tunnipõhist toodangut, jaama omatarvet ning leida jaamade optimaalne võimsus lähtuvalt tarbijate elektri- ja soojusenergia vajadusest. Samuti on võimalik arvutada üsna põhjalikke majanduslikke parameetreid. [1]

Käesolev uurimus keskendub peamiselt majanduslike parameetrite arvutamisele. Koostootmisjaama planeerimiseks tuleb süsteemi sisestada järgmised andmed:

- Koostootmisjaamas kasutatavad kütused, nende hinnad ja kütteväärtused;
- Välisõhu temperatuuri andmed;
- Elektri- ja soojusenergia tarbimisandmed;
- Väljavalitud koostootmisagregaat ning selle tehnilised näitajad;
- Elektrienergia turuhinnad;
- Soojusenergia turuhinnad;
- Koostootmisagregaatide käidustrateegia;
- Maksud, käidu- ja hoolduskulud;
- Investeeringu maksumused.

Sisestades programmi vajalikud andmed võimaldab programm väljundina saada:

- Tootmis- ja tarbimisgraafikuid;
- Toodetud energia koguseid aastate ja kuude lõikes;
- Elektri- ja soojuskoormuse graafikuid;
- Energia tootmise ja tarbimise koormuskestvusgraafikuid;
- Rahavoogusid aastate ja kuude lõikes;
- Projekti kokkuvõtet. [1]

Lisa 5 kajastab modelleerimistarkvara EnergyPRO töölauda ja Ülemiste Citysse loodava koostootmisjaama mudelit.

4.1 Sisendparameetrite kirjeldus

Selles peatükis käsitletakse EnergyPRO modelleerimistarkvarasse sisestatud andmeid ja andmete sisestamisel saadud väljundeid.

4.1.1 Välisõhu temperatuur

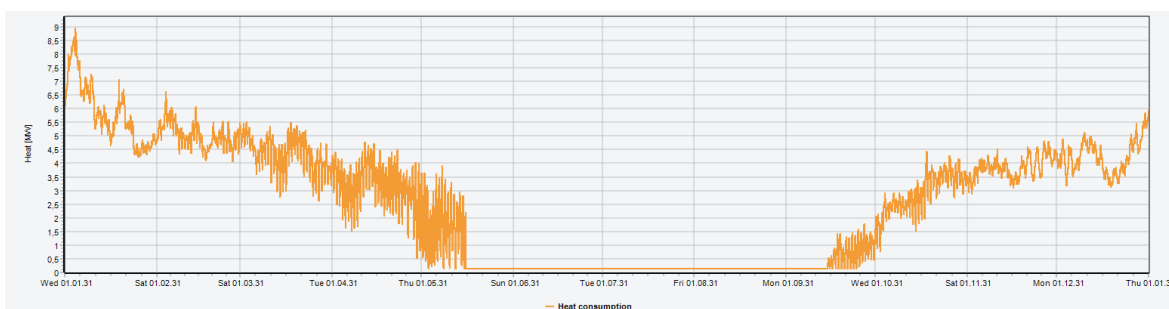
Ühe sisendparameetrina on süsteemi sisestatud Tallinna linna Ülemiste piirkonnas asuvad välisõhu temperatuuri andmed. Välisõhu tunnipõhised andmed on EnergyPRO programmi sisestatud automaatselt tarkvara arendajate poolt. Antud simulatsioonis on aluseks võetud 2015-2017 aastate andmed, leitud nende keskmine temperatuur igas tunnis ning sisestatud süsteemi. Soojusenergia toodang on otseses sõltuvuses välisõhu temperatuurist, kuna aga soojusenergia andmed on teada vaid kuupõhiselt, võimaldab välisõhu temperatuuri sisestamine määratleda täpsema soojusenergia aastase vajaduse. Kõik Ülemiste linnakus olevad majad on varustatud kondensatsioonkatlaga ning kuna katel asub majas sees, siis on soojuskaod minimaalsed ja neid antud juhul soojuskoormuse arvestamisel arvesse võetud ei ole.

4.1.2 Linnaku soojuskoormus

Koostootmisagregaadi dimensioneerimisel on aluseks võetud linnaku soojuskoormus. Kogu toodetud soojusenergia tarbitakse linnakus ära ning täiendavalt soojust kuskile edasi ei suunata ega müüda. Linnaku soojuskoormus on sisestatud süsteemi kolme aasta keskmiste kuupõhiste tarbimistena. Mitme aasta keskmiseid andmeid kasutades iseloomustab see linnaku soojusenergia tarbimist kõige optimaalsemalt. Soojuskoormuse arvestamisel on kasutatud olemasolevate hoonete puhul 2015-2017 aasta andmeid. Ehitatavate majade puhul on tehtud prognooskoormused olemasolevate hoonete mitme aasta keskmiste tarbimiste põhjal, millest oli lähemalt juttu ka peatükis 1.2. Aastate lõikes on tarbimine väga erinev ning kui arvestada vaid ühe aasta tarbimist, siis on oht, et koostootmisjaam dimensioneeritakse liiga suure võimsusega ning vaid keskmisest madalama tarbimisega aasta andmeid arvesse võttes dimensioneeritakse jaam liiga madala võimsusega. Soojusenergia kuupõhised tarbimisandmed on otseses sõltuvuses välisõhu tunnipõhiste temperatuuridega. Kui välisõhu temperatuur tõuseb üle 13°C, siis lülitatakse küttesüsteem välja ning kui välisõhu temperatuur langeb alla 13°C, siis koostootmisjaam käivitub ning alustatakse kütmisega. Programmis on määratud kütteperiood, mis algab igal aastal 15.septembril ning lõppeb 15.mail. Simulatsioonis on arvestatud, et vaid 10% kogu

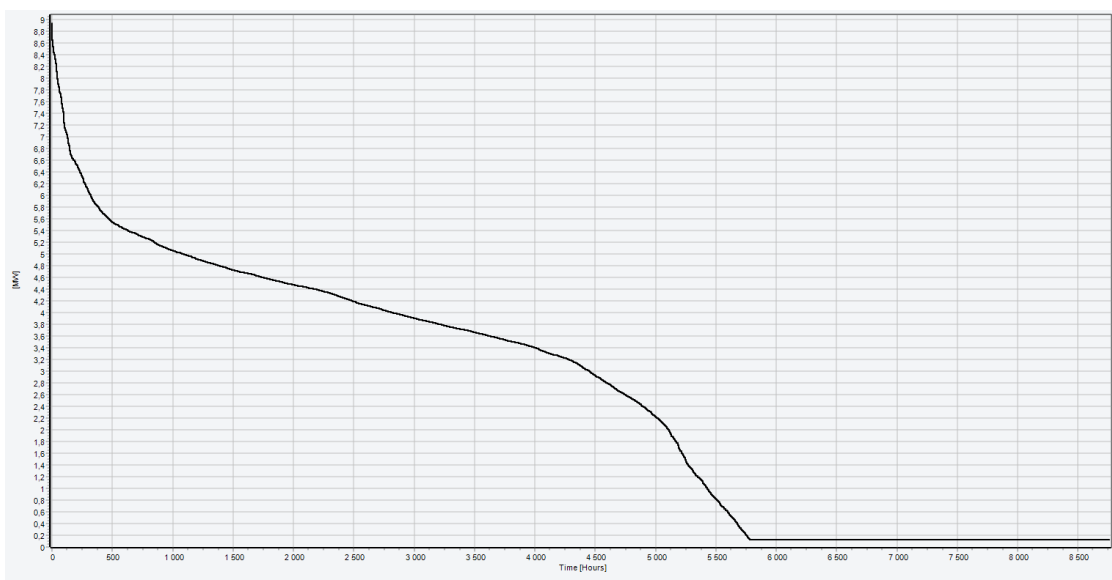
soojuskoormusest ei sõltu välisõhu temperatuurist, kuna 10% näol on tegemist arvestusliku sooja vee tarbega.

Allolev joonis kajastab linnaku soojuskoormust, mis on programmi poolt vastavalt välisõhu temperatuurile kohaldatud ning mille tulemusena moodustub tunnipõhine soojusenergia tarbimise mudel, sisestatud soojuskoormus jääb sealjuures samaks.



Joonis 11. Ülemiste linnaku aastane soojusenergia tarbimise koormusgraafik sõltuvalt välisõhu temperatuurist

Nagu ka ülal kirjeldatud, on jooniselt selgelt näha, et suvel toodab küttesüsteem väga väikesel koormusel soojusenergiat, mida kasutatakse vaid sooja vee tootmiseks. Linnaku soojusenergia koormuskestvusgraafik on kajastatud Joonis 12. Graafikust lähtudes on maksimaalne aastane soojusvõimsus 8,9 MW ning katla töötundide arv 8760, millest 3010 tunnil kasutatakse katlaid vaid sooja vee tootmiseks.

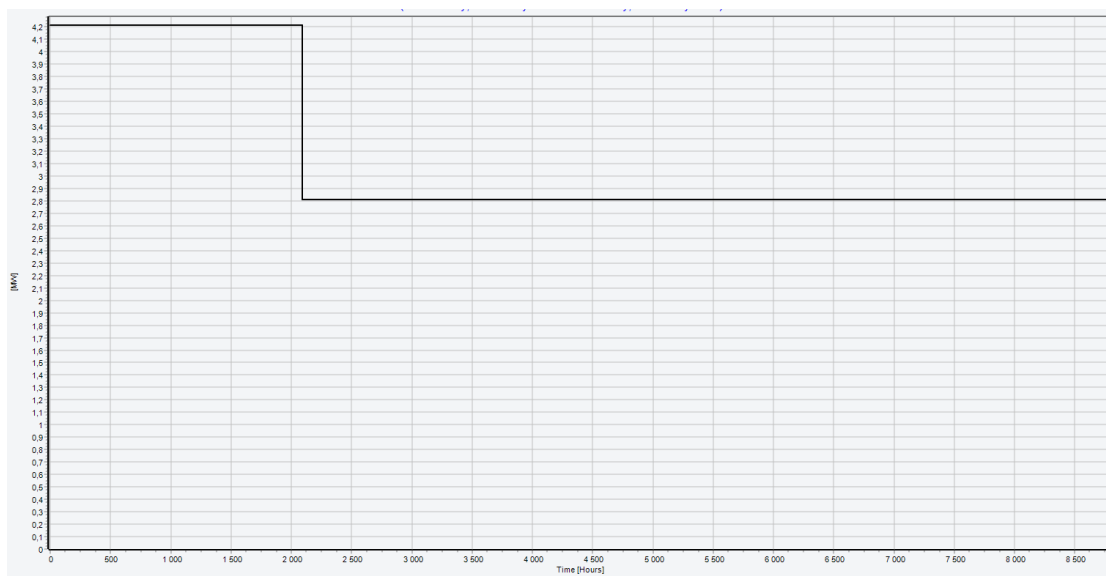


Joonis 12. Ülemiste City soojusenergia aastane koormuskestvusgraafik

4.1.3 Elektrienergia tarbimine

Ülemiste City on ühendatud elektrivõrguga, seega ostetakse kogu vajaminev elektrienergia võrgust. Elektrit ostetakse fikseeritud hinnaga – 82,76 EUR/MWh, hind sisaldab endas võrguteenust, elektrienergia hinda, aktsiisi ja taastuvenergia tasu.

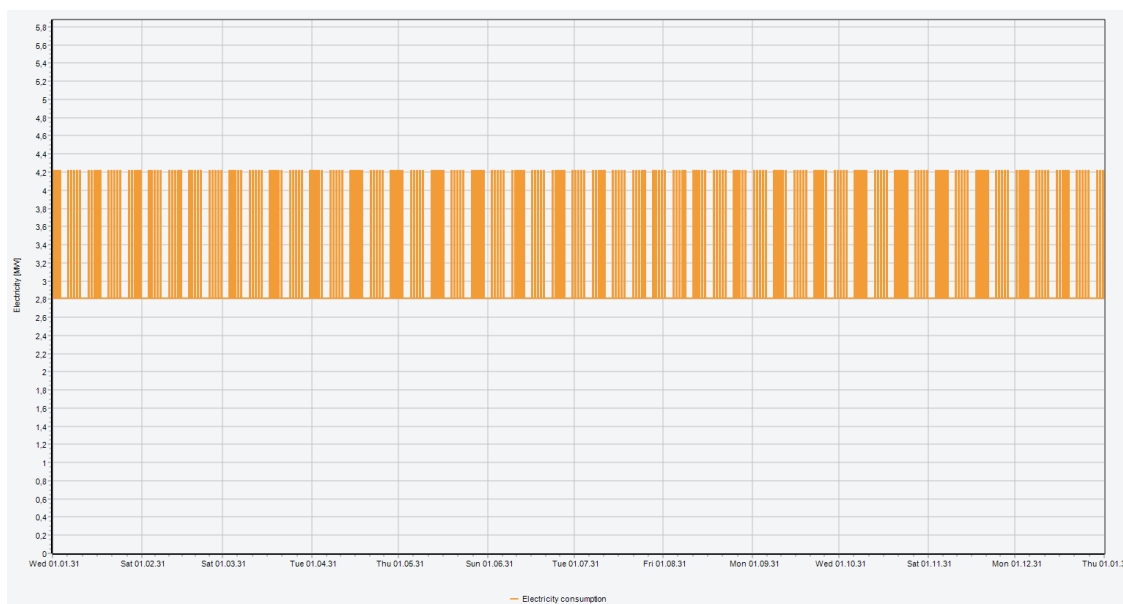
Käesolevas töös on simulatsiooni sisestatud Mainor Ülemiste AS majade puhul 2017.aasta elektrienergia tarbimisandmed ning Technopolis Ülemiste AS puhul on arvestatud 2015-2017 aasta keskmiste elektritarbimise andmetega. Elektrienergia aastane kogukulu on ligikaudu 31 900 MWh. Tulenevalt sellest, et tegemist on büroohoonetega, kus tööaeg on suures osas esmaspäevast reedeni 9.00 - 17.00, on arvestatud, et elektrikoormus on tööajal 30% kõrgem, kui muul ajal. Suurenenud elektrikoormus 30% on arvestatud Technopolis Ülemiste Lõotsa 5 tunnitarbimisandmete põhjal, kus keskmine tõus argipäevadel 9-17 oli 30%. Tarbimisandmed on programmi sisestatud kuupõhiselt ning koormuskestusgraafiku koostamisel on lähtutud äsja kirjeldatud 30% põhimõttest, mis kajastub ka Joonis 13.



Joonis 13. Ülemiste City elektrienergia koormuskestusgraafik

Lähtuvalt koormuskestusgraafikust on linnaku elektrienergia baaskoormuseks 2,8 MW ning tipukoormuseks ligikaudu 4,2 MW. Tulenevalt sellest, et elektrienergia tunnipõhised andmed puuduvad, on loodud hinnanguline elektrienergia tarbimise koormusgraafik (Joonis 14). Elektrienergia tarbimine ei ole sõltuvuses välisõhu temperatuurist ning nagu ka Joonis 8 selgub, siis on tarbimine kuude lõikes võrdlemisi stabiilne. Kogu linnak on ühendatud elektrivõrguga,

seega koostootmisel puudujääv elektrienergia ostetakse võrgust ning kogu ülejääv elektrienergia müüakse võrku.



Joonis 14. Ülemiste linnaku elektrienergia tarbimise koormusgraafik

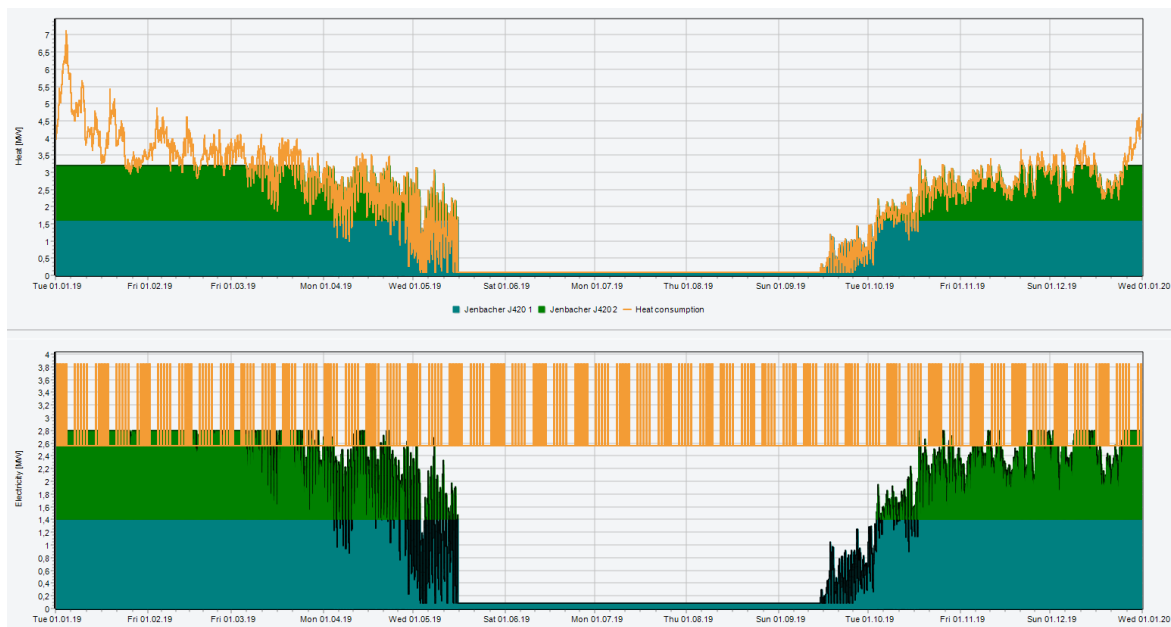
4.1.4 Koostootmisagregaatide lähteandmed ja kasutatav kütus

Antud simulatsioonis on koostootmisagregaatide dimensioneerimisel lähtunud linnaku soojuskoormusest, kuna agregaat elektrit järgi dimensioneerides toodaks jaam üleliia palju soojust. Kuna linnak on ühendatud elektrivõrguga, siis on võimalik kogu koostootmisel toodetud elektrienergia, mida omatarbeks ära ei kasutata, müüa elektrivõrku ning puudujääv elektrienergia osta võrgust.

Antud objekti soojusenergia koormuskestvugraafiku kohaselt on vajalik katla tipuvõimsus 8,9 MW, kuid koostootmisjaama dimensioneerimine tipuvõimsuse alusel ei ole otstarbekas. EnergyPRO tarkvara poolt genereeritud soojusenergia tarbimise koormuskestvusgraafiku kohaselt tuleks dimensioneerida katel 5,6 MW.

Tippude katmiseks on arvestatud olemasolevates majades olevate gaasikondensatsioonikateldega, mis koostootmisjaama käivitumisel otsest kasutust enam ei leia. Kulude kokkuhoiu mõttes ei ole esialgu mõtet uut gaasikatelt tippude katmiseks rajada, seega on antud simulatsioonis arvestatud olemasolevate katelde kasutamise võimalusega.

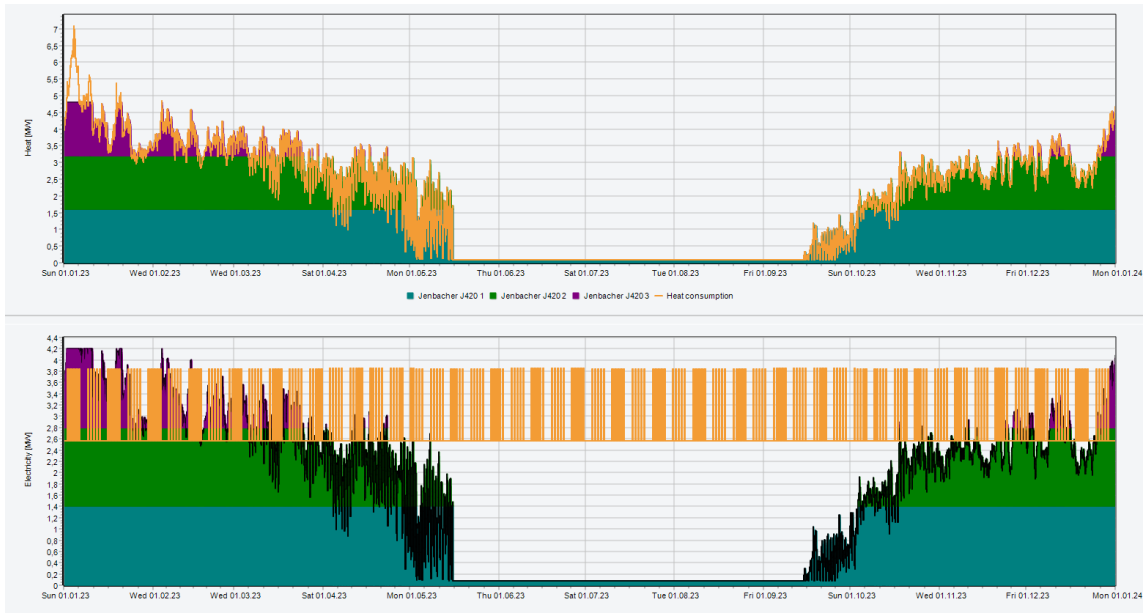
Koostootmiseks on välja valitud Jenbacheri J420 gaasimootorid, mida dimensioneeritakse kokku 4 tükki. Ühe seadme elektriline võimsus on 1,426 MW ning soojuslik võimsus 1,621 MW, mis tähendab, et kokku dimensioneeritakse $4 \times 1,621 = 6,48$ MW soojusliku ning $4 \times 1,426 = 5,7$ MW elektrilise võimsusega koostootmisjaam. Gaasimootorid ühendatakse külge kolmes etapis, kõigepealt ühendatakse ära kaks gaasimootorit, mis võimaldavad ära katta olemasolevate ja kuni aastani 2023 ehitatavate majade soojusvajaduse. Aastal 2023 lisandub soojuskoormust juurde, sellega seoses lisatakse koostootmisjaamale veel üks Jenbacheri J420 gaasimootor ning kolmas etapp läheb töösse aastal 2029, mil samuti vaikselt hakkab soojuskoormust lisanduma. Vastavad parameetrid on sisestatud ka EnergyPRO simulatsiooniprogrammi ning selle tulemusena saadi järgnevad tulemused, mis kajastuvad allolevatel joonistel 2019, 2023 ja 2031 aastate lõikes.



Joonis 15. Elektri- ja soojusenergia koormus ja kahe gaasimootori soojus- ja elektrienergia toodang aastal 2019

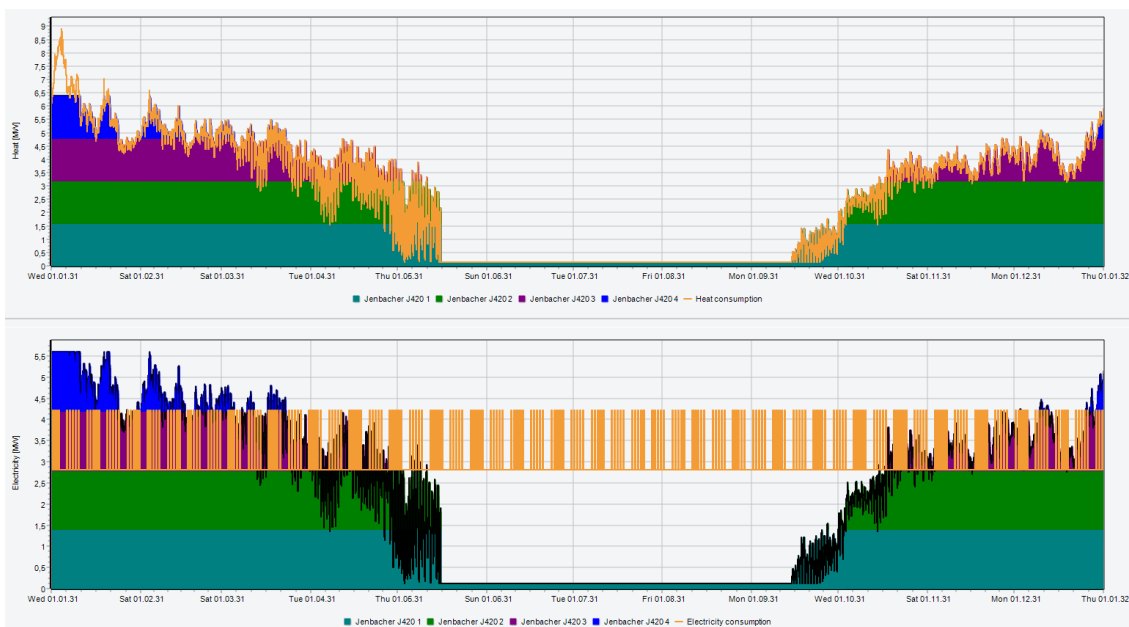
Jooniselt 15 selgub, et suurema osa soojuskoormusest suudavad kaks gaasigeneraatorit rahuldada, aasta külmematel kuudel on lisaks gaasikateldele tarvis kasutada ka tipukatlaid, mida antud simulatsioonil ei kajastata.

Kütteperioodil suudab suurema osa ajast koostootmisjaam ära katta isegi elektrienergia baaskoormuse.



Joonis 16. Elektri- ja soojusenergia koormus ja kahe gaasimootori soojus- ja elektrienergia toodang aastal 2023

Aastal 2023 on koostootmisjaamale lisatud ka kolmas gaasimootor, mis juba ennetavalt katab ära väga suure osa soojuskoormusest ning tipukatla kasutamise vajadus on minimaalne (Joonis 16). Ka elektrienergia baaskoormus on kütteperioodil suurem osa ajast kaetud ning külmematel päevadel müüakse isegi elektrit päris suures koguses võrku.



Joonis 17. Elektri- ja soojusenergia koormus ja kahe gaasimootori soojus- ja elektrienergia toodang aastal 2021

Neljanda gaasimootori lisandumisel on näha, et katelt kasutatakse aasta lõikes üsna vähe, seepärast on ka tipukatla vajadus minimaalne. Nagu ka eelnevas etapis, müüakse ka selles etapis

külmematel perioodidel arvestatav kogus elektrit võrku. Elektrienergia baaskoormus on kütteperioodil enamasti kaetud.

4.1.5 Majanduslikud parameetrid

Lisaks koostootmisjaama tehnilistele andmetele tuleb süsteemi sisestada ka kogu projekti majanduslikud näitajad, mis määravad ära projekti tasuvuse. Peamiselt jagunevad majanduslikud näitajad kolmeks – tulud, kulud ja investeeringud. Lisaks on arvestatud ka igaastase inflatsiooniga, mis on arvestuslikult 3% aastas.

Tuludena saab käsitleda elektrienergia müüki elektriturule, taastuenergia toetust, samuti ka kokkuhoidu mis tekib elektri ja soojuse ostmata jätmisel. See tähendab, et tuluna käsitletakse ka seda elektrienergia kogust, mida turult osta ei ole tarvis. Elektri ostuhinnaks koos elektrienergia, võrguteenuse, aktsiisi ja taastuenergia tasuga on määratud fikseeritud hind 82,76 EUR/MWh. Soojuse ostmise hinnana on arvestatud kaugküttevõrgu soojuse hinda, milleks on 49,96 EUR/MWh. Turule müüdava elektrienergia hinnaks on arvestatud 2016. ja 2017.aasta keskmine NordPoolspot börsihind, milleks oli 33,12 EUR/MWh [21]. Tõhusal koostootmise režiimil toodetud energia eest on võimalik saada samuti toetust, kui koostootmiseseadme võimsus ei ületa 10MW. Seega on ka antud projektile võimalik taotleda taastuenergia toetust, mille määr on 0,032 EUR/kWh ehk 32 EUR/MWh [22].

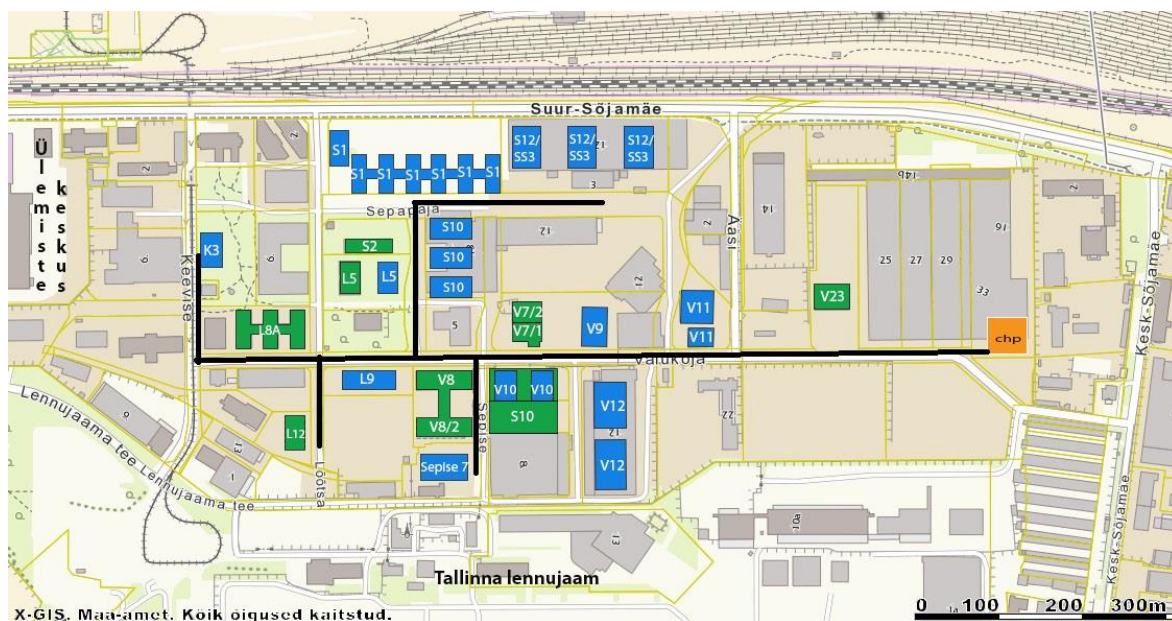
Koostootmisjaama kulud ja tulud kogu jaama eluea vältel on kajastatud Lisa 6.

Muutuvkuludena (Lisas 6 - *Operation expenditures*) käsitletakse antud töös kütusekulu ja hoolduskulu. Kütusekulu on kulu gaasile, mis ostetakse võrgust, et toita koostootmisagregaatide. Gaasi hinnaks on arvestatud fikseeritud hind, mis sisaldab endas gaasi hinda, võrguteenuse hinda ja aktsiisi, gaasi hinnaks koos komponentidega kujuneb 34 EUR/MWh.

Investeeringukuludena on arvestatud soojustrasside ehitust, koostootmisjaama elektrivõrguga ühendamist, generaatorite soetamist ja reinvesteeringut iga 10 aasta tagant ning hoone ehitust. Võrgu ehituse tarbeks on arvestatud, et soojustrassi keskmine diameeter on 125 cm. Trassi valikul on lähtutud sellest, et kaugkütte trasside läbimõõt on enamikel juhtudel 140 cm [23], kuid linnakusse nii jämedaid trasse tarvis ei ole, seega on arvestatud trassiga, mille diameeter on 125cm. Trassi paigalduse meetri hind on ligikaudu 500 eurot, hind tuleneb Utilitase ligikaudsel

hinnapakumisel. Loodava trassi pikkus on aga 1800m, seega tuleb trassi loomisesse investeerida 900000 eurot. Samuti on arvestatud, et iga 10 aasta tagant on tarvis teha trassile mõningaid hooldustöid, seega on iga kümne aasta tagant arvestatud 10%-lise trasside hoolduskuluga.

Alloleval joonisel on märgitud planeeritavate trasside asukohad ja koostootmisjaama asukoht.

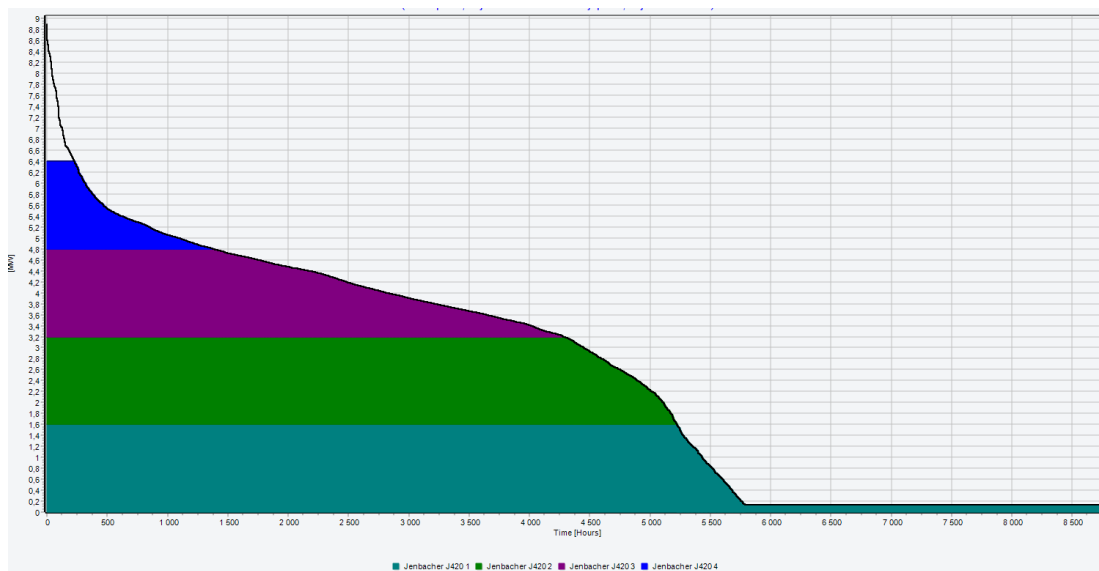


Joonis 18. Ülemiste linnakusse loodava CHP asukoht ja loodav soojatrass

Lisaks soojustrassi loomisele on tarvis koostootmisjaam ühendada ka elektrivõrguga, mille esialgseks võrguettevõtte poolt tehtud pakkumise hinnanguliseks maksumuseks on 900000 eurot. Koostootmisagregaatite installeerimiseks on tarvis luua neile ka vastav keskkond, mis nõuab hoone ehitust, mille hinnanguline maksumus on 70000 eurot, ehitus on planeeritud veidi suurem, et oleks võimalik tulevikus vajadusel generaatoreid juurde lisada. Kõige suuremaks investeeringuks on gaasigeneraatorid ise, mille maksumus sõltub generaatori elektrilisest võimsusest. 1MW elektrilist võimsust tähendab 1 miljon eurot investeeringukulu. Antud töö raames kasutatakse gaasigeneraatoreid mille elektriline võimsus on 1,426 MW, mis tähendab, et generaatorite investeeringu mahuks on 5 426 000 eurot. Lisaks sellele on arvestatud, et iga 10 aasta tagant tuleb generaatorile teha kapitalremont, mis on 70% esialgsest investeeringu kulust. Terve projekti eluea – 22 aasta jooksul uuendatakse generaatoreid neljal korral, mis tähendab, et lisaks generaatorite ostule tuleb investeeringutesse sisse kirjutada ka 3 976 000 eurot gaasigeneraatorite remondiks.

5 TULEMUSED

Projekt hõlmab endas nelja gaasimootori dimensioneerimist, kuid vaadates saadud tulemusi on selgelt näha, et tegelikkuses on neljas katel veidi üle dimensioneeritud ja võiks asendada veel väiksema gaasimootoriga. Parim katla majanduslik tasuvus saavutatakse, kui katel töötab aastas vähemalt 5000 tundi. Allolev joonis kajastab kõigi nelja katla töötatud tundide arvu aastas.



Joonis 19. Gaasimootorite töötunnid aasta lõikes

Allolev Tabel 10 kajastab projekti rahavoogusid aastate lõikes, projekti eluea jooksul. Nende andmete põhjal on võimalik hinnata projekti majanduslikku tasuvust.

Tabel 10. Rahavood

	Aasta	Tulud/sääst	Kulud	Investeeringud	Rahavoog	Diskon- teeritud rahavoog
1	2019	1874576,00	1204839,00	4710000,00	-4040263	3847870
2	2020	1989673,00	1416465,00	1420000,00	-846792	-768065
3	2021	2037600,00	1444644,00	0,00	592956	512217,7
4	2022	2098316,00	1480550,00	0,00	617766	508237,6
5	2023	2161285,00	1517534,00	0,00	643751	504395,8
6	2024	2244136,00	1655703,00	1420000,00	-831567	-620528
7	2025	2298860,00	1687718,00	0,00	611142	434327,2
8	2026	2965681,00	2076702,00	0,00	888979	601696
9	2027	3054123,00	2129093,00	0,00	925030	596282,6

10	2028	3161816,00	2193685,00	0,00	968131	594348,5
11	2029	3240787,00	2238636,00	2078000,00	-1075849	-629027
12	2030	3337976,00	2295884,00	994000,00	48092	26779,43
13	2031	3629262,00	2540973,00	0,00	1088289	577142,9
14	2032	3757421,00	2620417,00	0,00	1137004	574264,3
15	2033	3847504,00	2675599,00	0,00	1171905	563706,3
16	2034	3963127,00	2745957,00	994000,00	223170	102236,7
17	2035	4083684,00	2818425,00	0,00	1265259	552028,3
18	2036	4150176,00	2907840,00	0,00	1242336	516216,3
19	2037	4249886,00	2969948,00	0,00	1279938	506514,9
20	2038	4377705,00	3049136,00	0,00	1328569	500723,7
21	2039	4507805,00	3130699,00	90000,00	1287106	461996,9
22	2040	4668797,00	3231337,00	0,00	1437460	491395,5
23	2041	4783774,00	3301240,00	0,00	1482534	482670,5

Puhasnüdisväärtus ehk NPV annab hinnangu projekti tasuvuse kohta. Arvutus näitab, millist tulu toob raha investeerimine antud projekti. Kõik maksed selle meetodi puhul arvestatakse nüüdishetkedele. NPV avaldub alljärgneva Võrrand 2 põhjal. [1]

Võrrand 2. Valem puhasnüdiväärtuse leidmiseks

$$NPV = -P + \sum_{k=1}^n F_k * \frac{1}{(1+i)^k}, \text{ kus}$$

P - alginvesteering

F - tulevased rahavood

N - aastate arv

P - alginvesteering

F - tulevased rahavood

N - aastate arv

i – intressimäär. [1]

Tulemusena saadud arv näitab projekti tasuvust:

- Kui $NPV > 0$, on projekt tasuv
- Kui $NPV = 0$, on vajalikud täiendavad uuringud
- Kui $NPV < 0$, on projekt mittetasuv. [1]

Antud projekti puhul on NPV väärtuseks 3 241 692 eurot (Tabel 11), seega on projekt igati tasuv.

Tabel 11. Projekti tasuvusnäitajad

NPV	Diskontomäär	IRR
3241692	5%	9,76%

Sisemise tasuvusaja meetodi (IRR) puhul leitakse diskontomäär, mis võrdsustab projekti esialgsed kulud tulevaste rahavoogude nüüdisväärtuse summaga. IRR on leitav valemiga:

Võrrand 3. Valem sisemise tasuvusaja leidmiseks

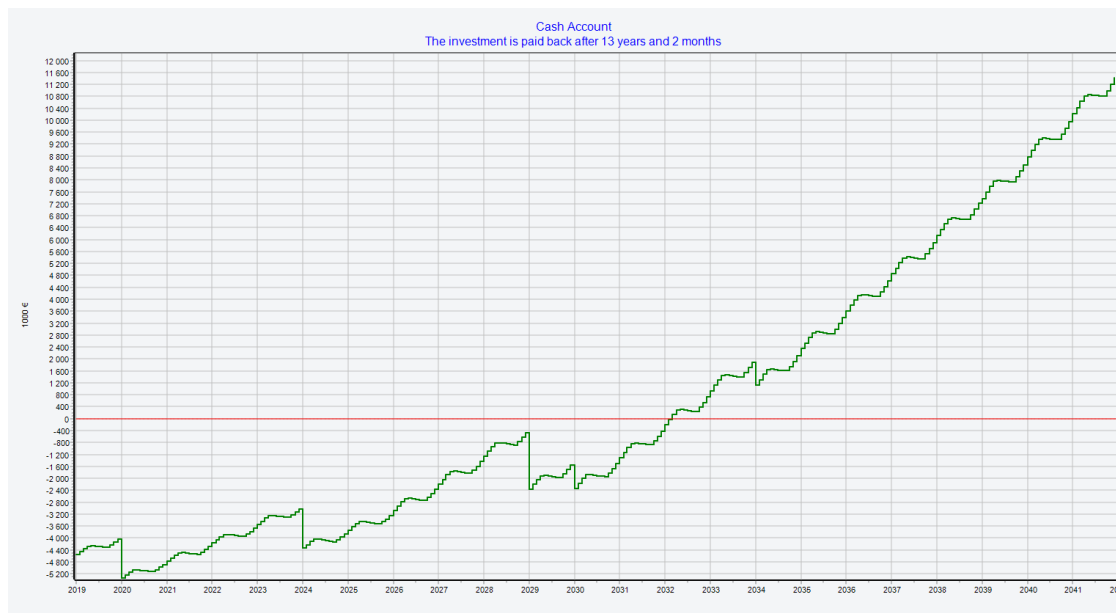
$$-P + \sum_{k=1}^n F_k * \frac{1}{(1+i)^k} = 0 . [24]$$

IRR on investeerimisprojekti sisemine tulusus, mille puhul NPV on võrdne nulliga.

Kui IRR > nõutavast intressimäärsat, siis on projekt tasuv.

Kui IRR < nõutavast intressimäärast, siis projekt ei ole tasuv.

Projekti tasuvusaeg lähtuvalt EnergyPRO mudelist on 13 aastat ja 2 kuud, mida kajastab allolev Joonis 20.



Joonis 20. Projekti tasuvusaeg

Lähtudes eelnevalt väljatoodud arvutustest saab öelda, et töös käsitletav koostootmisjaama rajamise projekt Ülemiste Citysse on tasuv ning arendajatel tasub kindlasti projekti elluviimist kaaluda.

KOKKUVÕTE

Käesolevas töös tehti põhjalik ülevaade elektri- ja soojuse koostootmisest ning selle eelistest ja puudustest. Samuti kirjeldati ka kasutuses olevaid koostootmise tehnoloogiaid ning tehti lähtuvalt Ülemiste linnaku vajadustele analüüs koostootmisagregaadi valikuks. Töös ei käsitleta kõiki Ülemiste Citys olevaid hooneid. Koostootmisjaamaga ühendatakse projekti käigus vaid hooned, millel on küttekeha hoone alumisel korrusel ning hooned, mis on plaanis järgneva 20 aasta jooksul ehitada. Seega on planeeritavate hoonete soojuskoormus spekulatiivne ja põhineb Technopolis Ülemiste hoonete puhul Lõõtsa 5 hoone energiatarbimisele ja Mainor Ülemiste AS projekteeritavate hoonete puhul Valukoja 8 hoone energia tarbimisandmetele. Prognoositav linnaku elektrienergia tarbimine on 30 600 MWh aastas ning soojusenergia tarbimine 22 330 MWh aastas. Linnak on ühendatud tsentraalse elektrivõrguga ning soojusenergia tootmiseks on kõikidesse hoonetesse paigaldatud gaasi-kondensatsioon katlad.

Koostootmisjaama tehnoloogia valiku puhul lähtuti eelkõige kütuse valikust ning linnaku soojusvajadusest. Töös käsitletakse maagaasil töötavat gaasimootorit, mis toodab nii soojus- kui ka elektrienergiat. Energia tarbimine on aastate lõikes erinev, mis tuleneb sellest, et iga aastaga ehitatakse maju juurde. Seepärast arvestati tehnoloogia valiku puhul ka seda, et koostootmisjaama võimsust oleks võimalik ajas suurendada, mitte kogu võimsusel seda kohe tööle rakendada. Prognoositav aastane soojuskoormus 22 330 MWh ja elektrikoormus 30 600 MWh saavutatakse aastaks 2036.

Soojusenergia tarbimise koormuskestvusgraafiku järgi määrati kindlaks koostootmisjaama soojuslik võimsus, milleks kujunes 5,6 MW. Koormuskestvusgraafiku koostamisel pandi soojusenergia andmed sõltuma välisõhu temperatuurist, kus kütmisperiood lõppeb 15.mail ning algab 15.septembril, temperatuuri tõustes üle 13°C, peatub koostootmisjaama töö, köetakse vaid nii palju, et katta ära sooja vee vajadus. Leitud võimsusest lähtuvalt valiti erinevate gaasimootorite seast välja Austrias toodetud Jenbacher J420 gaasimootor, mille soojuslik võimsus on 1,6 MW ja elektriline võimsus 1,4 MW selleks, et saavutada vajalik võimsus, tuleb jaamasid dimensioneerida kokkuvõttes neli tükki. Seda tehakse kolmes etapis vastavalt tarbimise kasvule – aastal 2019 dimensioneeritakse korruga kaks tükki, ülejäänud kaks aga 2023. ja 2031. aastal. Koormustippude katmiseks ei lisata süsteemi uut gaasikatelt vaid kasutatakse ära olemasolevatesse majadesse paigaldatud gaasi-kondensatsioon katlad, mis koostootmisjaama tööle rakendamisel enam kasutust ei leia.

Koostootmisjaama modelleerimiseks kasutati simuleerimistarkvara EnergyPRO ning andmete eelnevaks töötlemiseks tabelarvutusprogrammi Microsoft Excel. Koostootmisjaama mudeli loomiseks sisestati EnergyPRO programmi erinevad sisendparameetrid – välisõhu temperatuur, linnaku soojus-ja elektri koormus, koostootmisagregaatide tehnilised andmed, kütuste hinnad ja erinevad majanduslikud parameetrid (tulud, kulud, investeeringud ja muutuvkulud). Investeeringukuludena on arvestatud soojustrasside ehitust, koostootmisjaama elektrivõrguga ühendamist, generaatorite soetamist ja 70% reinvesteeringut iga 10 aasta tagant ning hoone ehitust. Elektrivõrguga ühendamise arvestuslikuks investeeringuks on 900 000 eurot samaväärne summa kulub ka soojustrassi väljaehitamiseks, sellele lisaks on arvestatud iga 10 aasta tagant hoolduskulud trassi hooldamiseks. Koostootmisagregaadid paigadatakse hoonesse, mille ehituslik maksumus on suurusjärgus 70 000 eurot. Generaatorile kuluv investeering on 5 426 000 eurot ning iga 10 aasta tagant nõuavad generaatorid kapitaalremonti, mille peale kulub projekti eluea jooksul umbes 3 976 000 eurot.

Majanduslike arvutuste tulemusena saadi, et projekti puhas nüüdisväärtus on 3 241 692 eurot ning IRR on 9,76%. Projekti arvestuslikuks tasuvuseks on 13 aastat ja 2 kuud. Nende andmete põhjal võib töös käsitletud koostootmisjaama rajamist Ülemiste City linnakusse tõsiselt kaaluda, kuna tegemist on majanduslikult tasuva projektiga.

Töö käigus ei ole arvestatud ettenägematute kuludega, mida võib koostootmisjaam endaga kaasa tuua mis võivad mõjutada jaama rajamise investeeringukulusid. Kuid sellegi poolest võib öelda, et tegemist on üsna põhjaliku analüüsiga ning koostootmisjaama planeerimisel võib saadud andmeid aluseks võtta.

SUMMARY IN ENGLISH

The following work provides us insight into electricity and heat co-generation with its faults and advantages. The opportunities and technologies will be provided and handled in the context of a growing business park in Ülemiste. It must be noted that all of the buildings in the business park will not be covered as some houses already have heating provided. Only the buildings that are already being erected and will be erected in the following 20 years will be handled in this thesis work.

The projections of future heat demands are modelled according to the already existing data recovered from Lõõtsa 5 and Valukoja 8 buildings heat and electricity demand. The business park is connected with the electricity grid and heat is provided by gas boilers in individual buildings

The projected maximum annual energy consumption for the whole business park will be achieved by year 2036:

1. 30 600 MWh of electricity
2. 22 300 MWh of heat

The provided technologies were chosen according to energy generation technologies characteristics, fuels and the heat demand of the business park and its future developments.

Gas engine CHP-s were chosen for this project as they suit the needs of the future developments by providing co-generation as well as being the most easiest to maintain and such engines and generators are the easiest to mount when additional generation is needed as the energy consumption will change throughout the year as more and more buildings will be erected.

According to the duration curve for heat demand it was determined that the suitable generation capacity must be 5,6 MW.

Data analysis and the business park heat demand projection was modelled using EnergyPro4 and Microsoft Excel. Temperature, heat demand, electricity demand, CHP technical parameters, fuel prices and economical aspects were taken into consideration when running and interpreting the simulations.

Regarding heating specifics, heating period started from the 15th of September and ended on the 15th of May. Heated water was provided throughout the year.

General Electric Jenbacher J420 were found to be the most suitable for this project as they have an already set up maintenance support system in Estonia and the Baltic states. The heat capacity of the generator is 1,6 MW and electrical capacity 1,4. The generators will be set up in three stages (2019,2023,2031) in order to provide a sufficient coverage of the whole business park by the end of 2036. All in all 4 generators will be used altogether.

There is no need to set up additional generators for peak loads as the already existing gas boilers are able to cover the higher peaks during winter.

The investments are able to cover heat piping, connection to the distribution grid, generators, maintenance and re-investments after every 10 years. All in all we are looking at an investment of almost 12 000 000 Euros throughout the next 22 years.

The investment will provide a return of 9,76% resulting in a net present value of 3 241 692 Euros which proves that the business park at Ülemiste City should consider the potential investment in a serious manner as it is a lucrative proposition.

KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU

- [1] K. Kopelman , „Lokaalsete elektri- ja soojusenergia koostootmistehnoloogiate majanduslik analüüs tööstuspargi näitel,“ Tallinn, 2016.
- [2] V. Vares ja R. Kruus, Perspektiivsetest elektri ja soojuse koostootmise tehnoloogiatest Eestis, Tallinn, 2002.
- [3] R. Raudjärv ja H. Truuts, „Eesti statistika kvartalikirj 04/09,“ 2009.
- [4] „Tõhusa koostootmise nõuded,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.riigiteataja.ee/akt/12825847>. [Kasutatud 03 05 2018].
- [5] M. Merimaa, „Elektri ja soojuse koostootmisjaam ettevõtte energiavarustuses,“ Tartu, 2016.
- [6] A. Paist, „Soojuse- ja elektri koostootmise tehnoloogiatest,“ 2013.
- [7] E. Latõšov, „Model for the Analysis of Combined Heat and Power Production,“ TTÜ Kirjastus, Tallinn, 2011.
- [8] V. Ganapathy, Industrial Boilers and Heat Recovery Steam Generators, New York, 2003.
- [9] V. Vares, „Biomassi tehnoloogiauringud ja tehnoloogiate rakendamine Eestis,“ jaanuar 2008. [Võrgumaterjal]. Available: https://energiatalgud.ee/img_auth.php/7/75/Vares%2C_V._Biomassi_tehnoloogiauringud_ja_tehnoloogiate_rakendamine_Eestis._2008.pdf. [Kasutatud 30. 04. 2018].
- [10] „Energiatalgud,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://energiatalgud.ee/index.php?title=Koostootmine>. [Kasutatud 05. 14. 2018].
- [11] „Eesti elektrisüsteemi varustuskinduse aruanne 2017,“ 2017. [Võrgumaterjal]. Available: https://elering.ee/sites/default/files/public/Eling_VKA_2017.pdf. [Kasutatud 16 04 2018].
- [12] „Ülemiste City kontseptsioon,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://ulemistecity.ee/wp-content/uploads/2014/01/%C3%9ClemisteCity-kontseptsioon.pdf>. [Kasutatud 07. 04. 2018].
- [13] „Tallinna kaugküttepiirkonna piirid, kaugküttevõrguga liitumise ja sellest eraldumise tingimused ja kord, kaugkütte üldised kvaliteedinõuded ja võrguettevõtja arenduskohustus,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.riigiteataja.ee/akt/424052017005>. [Kasutatud 04. 15. 2018].
- [14] „Maagaasi keskmine kütteväärtus,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.gaasivorgud.ee/kasulikku/maagaasi-keskmine-kuttevaartus/>. [Kasutatud 29. 03. 2018].
- [15] „Hoone energiatõhususe arvutamise meetodika,“ 22 01 2018. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.riigiteataja.ee/akt/119012018007>. [Kasutatud 30. 04. 2018].
- [16] „Kraadpäevad,“ Kredex, [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.kredex.ee/energiatohususest/kraadpaevad-4/>. [Kasutatud 18. 03. 2018].
- [17] „Hoone energiatõhususe miinimumnõuded,“ 22. 01. 2018. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.riigiteataja.ee/akt/119012018006>. [Kasutatud 01. 05. 2018].
- [18] J. Kurnitski, Liginullenergiahooned täna ja homme, Tallinn: Vaba Maa AS, 2015.
- [19] „GE’s Jenbacher Gas Engines,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.clarke-energy.com/gas-engines/>. [Kasutatud 10. 05. 2018].
- [20] „Jenbacher Type 4 Gas Engines,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.ge.com/power/gas/reciprocating-engines/jenbacher/type-4>. [Kasutatud 10.

05. 2018].

- [21] „NordPool Spot,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.nordpoolgroup.com/Market-data1/Dayahead/Area-Prices/EE/Yearly/?view=table>. [Kasutatud 25. 05. 2018].
- [22] Elering, „Taastuenergia toetus,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://elering.ee/taastuenergia-toetus>. [Kasutatud 25. 05. 2018].
- [23] S. Werner ja S. Frederiksen, District Heating and Cooling, 2013.
- [24] R. Kuhi-Thalfeldt, „Hajaenergeetika investeeringute hindamine - projekt,“ Tallinna Tehnikaülikool Elektroenergeetika Instituut, Tallinn, 2014.

LISAD

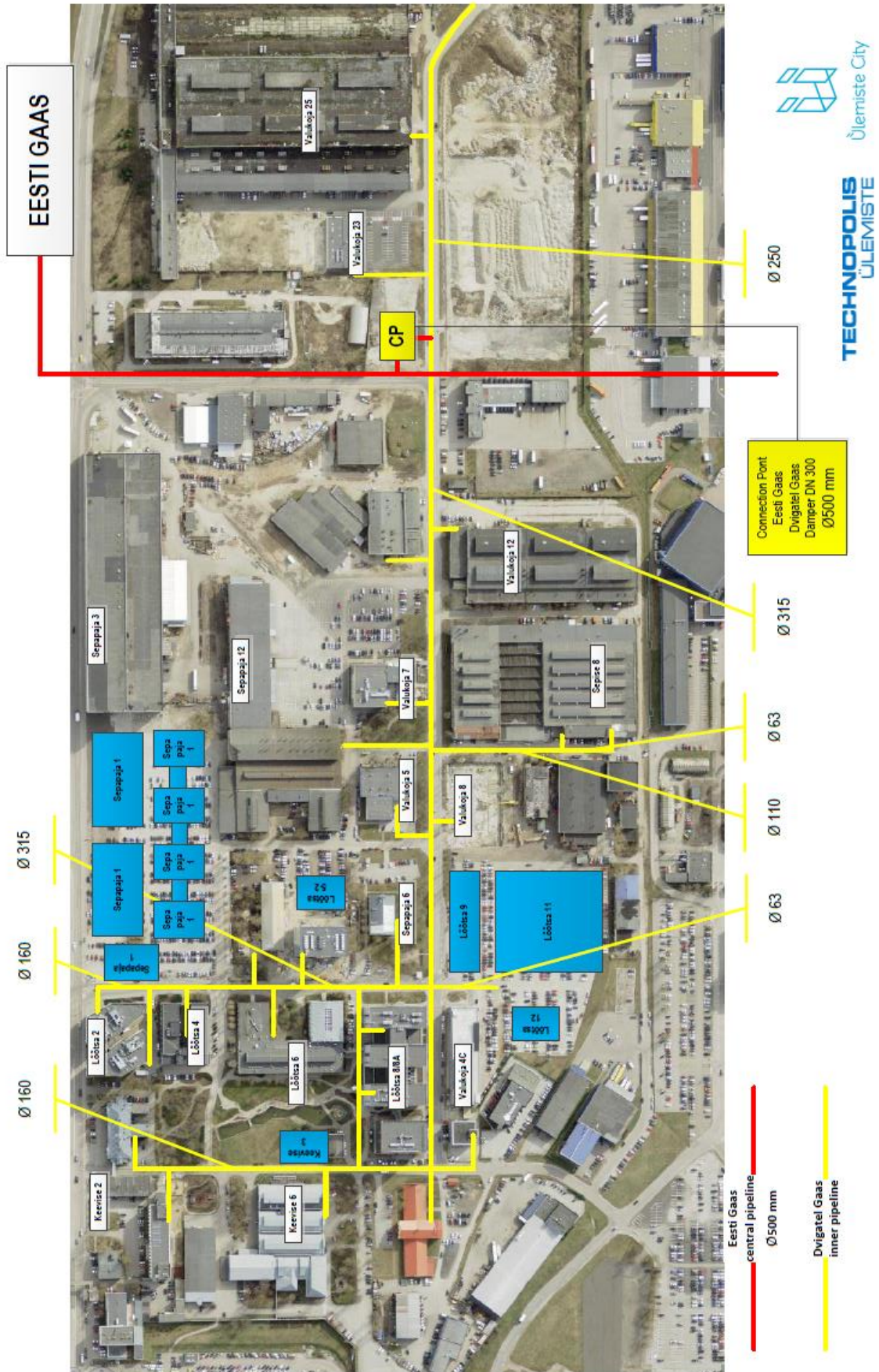
Lisa 1. Ülemiste Citysse planeeritavate hoonete prognoositav soojuskoormus

PROGNOOSITAV SOOJUSKOORMUS [MWh]																		
Aadress	Arendaja	Hoone liik	Valmimis-aasta	Korrused	m ²	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	KOKKU
Sepise 7	MÜ	Büroohoone	2022	13	12000	112,5	92,3	77,1	62,5	39,4	17,3	10,6	9,5	21,1	61,1	78,8	84,3	666,5
Sepapaja 10	MÜ	Büroohoone + elukondlik	2026	8+10+13	35000	328,2	269,1	224,7	182,2	115,0	50,5	31,0	27,7	61,6	178,2	229,7	245,9	1 944,0
Valukoja 9	MÜ	Kool-lasteaed	2021	4	6000	56,3	46,1	38,5	31,2	19,7	8,7	5,3	4,7	10,6	30,5	39,4	42,2	333,3
Valukoja 10	MÜ	Büroohoone	2019	7	5700	69,5	57,0	47,6	38,6	24,4	10,7	6,6	5,9	13,0	37,7	48,6	52,1	411,6
Valukoja 10	MÜ	Elukondlik	2019	13	6300	76,8	63,0	52,6	42,6	26,9	11,8	7,3	6,5	14,4	41,7	53,8	57,5	454,9
Valukoja 11	MÜ	Büroo + elukondlik	2028	10	9000	84,4	69,2	57,8	46,9	29,6	13,0	8,0	7,1	15,8	45,8	59,1	63,2	499,9
Valukoja 12-1	MÜ	Büroohoone	2030	9-13	10000	93,8	76,9	64,2	52,1	32,9	14,4	8,9	7,9	17,6	50,9	65,6	70,3	555,4
Valukoja 12-2	MÜ	Büroohoone	2030	9-14	10000	93,8	76,9	64,2	52,1	32,9	14,4	8,9	7,9	17,6	50,9	65,6	70,3	555,4
Sepise 12/Suursõjamäe 3	MÜ	1-etapp (äri- ja büroohoone)	2032	13-14	12000	112,5	92,3	77,1	62,5	39,4	17,3	10,6	9,5	21,1	61,1	78,8	84,3	666,5
Sepise 12/Suursõjamäe 3	MÜ	2-etapp (äri- ja büroohoone)	2034	13-14	12000	112,5	92,3	77,1	62,5	39,4	17,3	10,6	9,5	21,1	61,1	78,8	84,3	666,5
Sepise 12/Suursõjamäe 3	MÜ	3-etapp (äri- ja büroohoone)	2036	13-14	12000	112,5	92,3	77,1	62,5	39,4	17,3	10,6	9,5	21,1	61,1	78,8	84,3	666,5
Lõõtsa 5/2	TÜ	Büroohoone	2023	10	13833	129,7	106,4	88,8	72,0	45,5	20,0	12,3	10,9	24,4	70,4	90,8	97,2	768,3
Lõõtsa 9	TÜ	Büroohoone	2023	13	23550	220,8	181,1	151,2	122,6	77,4	34,0	20,9	18,6	41,5	119,9	154,6	165,5	1 308,0
Sepapaja 1	TÜ	Büroohoone	2025	6x13	57224,2	536,6	582,6	562,3	326,0	193,3	120,5	80,2	81,2	143,3	349,3	511,8	536,8	4 023,9
Sepapaja 1/1	TÜ	Büroohoone	2020	13	12775,8	168,0	100,1	96,6	56,0	33,2	20,7	13,8	14,0	24,6	60,0	87,9	92,2	766,9
Keevise 3	TÜ	Büroohoone	2028	3	11241	113,7	88,0	85,0	49,3	29,2	18,2	12,1	12,3	21,6	52,8	77,3	81,1	640,7
KOKKU						2 421,8	2 085,4	1 841,8	1 321,3	817,6	406,1	257,6	242,6	490,5	1 332,6	1 799,3	1 911,5	14 928,2

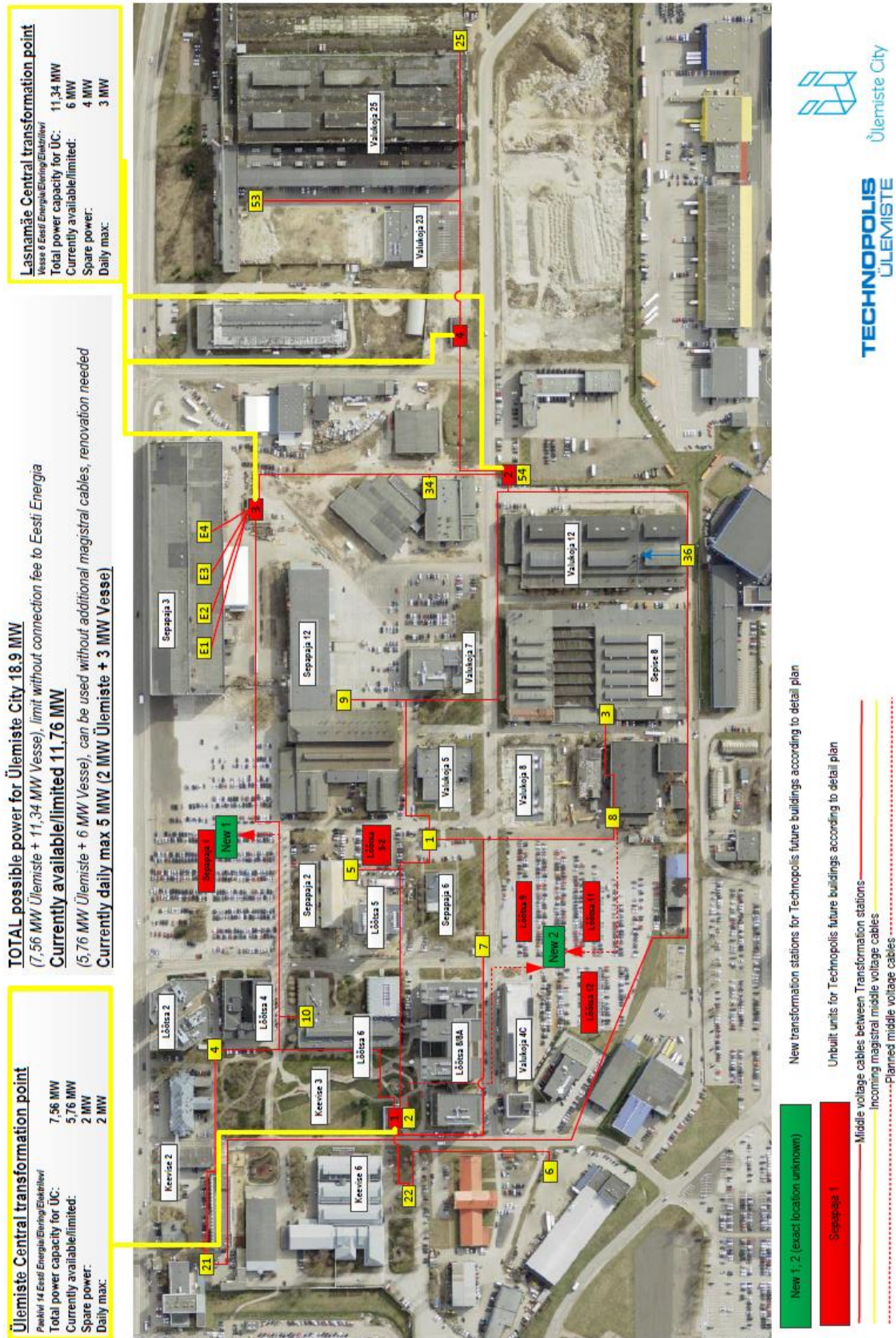
Lisa 2. Ülemiste Citysse planeeritavate hoonete prognoositav elektrienergia koormus

PROGNOOSITAV ELEKTRIENERGIA KOORMUS [MWh]																		
Aadress	Arendaja	Hoone liik	Valmimisaasta	Korrused	m ²	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	KOKKU
Sepise 7	MÜ	Büroohoone	2022	13	12000	61,6	59,6	63,5	57,9	70,3	67,0	66,2	74,1	68,3	73,6	72,9	70,0	805,0
Sepapaja 10	MÜ	Büroohoone + elukondlik	2026	8+10+13	35000	179,6	173,9	185,2	168,9	205,1	195,4	193,1	216,2	199,1	214,7	212,7	204,1	2 347,9
Valukoja 9	MÜ	Kool-lasteaed	2021	4	6000	30,8	29,8	31,7	29,0	35,2	33,5	33,1	37,1	34,1	36,8	36,5	35,0	402,5
Valukoja 10	MÜ	Büroohoone	2019	7	5700	29,2	28,3	30,2	27,5	33,4	31,8	31,4	35,2	32,4	35,0	34,6	33,2	382,4
Valukoja 10	MÜ	Elukondlik	2019	13	6300	32,3	31,3	33,3	30,4	36,9	35,2	34,7	38,9	35,8	38,6	38,3	36,7	422,6
Valukoja 11	MÜ	Büroo + elukondlik	2028	10	9000	46,2	44,7	47,6	43,4	52,7	50,2	49,6	55,6	51,2	55,2	54,7	52,5	603,7
Valukoja 12-1	MÜ	Büroohoone	2030	9-13	10000	51,3	49,7	52,9	48,3	58,6	55,8	55,2	61,8	56,9	61,3	60,8	58,3	670,8
Valukoja 12-2	MÜ	Büroohoone	2030	9-14	10000	51,3	49,7	52,9	48,3	58,6	55,8	55,2	61,8	56,9	61,3	60,8	58,3	670,8
Sepise 12/SuurSõjamäe 3	MÜ	1-etapp (äri- ja büroohoone)	2032	13-14	12000	61,6	59,6	63,5	57,9	70,3	67,0	66,2	74,1	68,3	73,6	72,9	70,0	805,0
Sepise 12/SuurSõjamäe 3	MÜ	2-etapp (äri- ja büroohoone)	2034	13-14	12000	61,6	59,6	63,5	57,9	70,3	67,0	66,2	74,1	68,3	73,6	72,9	70,0	805,0
Sepise 12/SuurSõjamäe 3	MÜ	3-etapp (äri- ja büroohoone)	2036	13-14	12000	61,6	59,6	63,5	57,9	70,3	67,0	66,2	74,1	68,3	73,6	72,9	70,0	805,0
Löötsa 5/2	TÜ	Büroohoone	2023	10	13833	147,9	125,9	146,8	135,8	154,7	154,0	159,5	165,5	154,5	152,8	149,2	146,6	1 793,2
Löötsa 9	TÜ	Büroohoone	2023	13	23550	251,8	214,3	249,9	231,2	263,3	262,2	271,6	281,8	263,1	260,1	253,9	249,5	3 052,8
Sepapaja 1	TÜ	Büroohoone	2025	6x13	57224,2	611,8	520,8	607,3	561,7	639,9	637,2	660,0	684,8	639,2	632,1	617,1	606,3	7 418,1
Sepapaja 1/1	TÜ	Büroohoone	2020	13	12775,8	136,6	116,3	135,6	125,4	142,9	142,3	147,3	152,9	142,7	141,1	137,8	135,4	1 656,2
Keevise 3	TÜ	Büroohoone	2028	3	11241	120,2	102,3	119,3	110,3	125,7	125,2	129,6	134,5	125,6	124,2	121,2	119,1	1 457,2
KOKKU						1 935,2	1 725,6	1 946,7	1 791,8	2 088,3	2 046,7	2 085,1	2 222,6	2 064,5	2 107,6	2 069,1	2 015,0	24 098,3

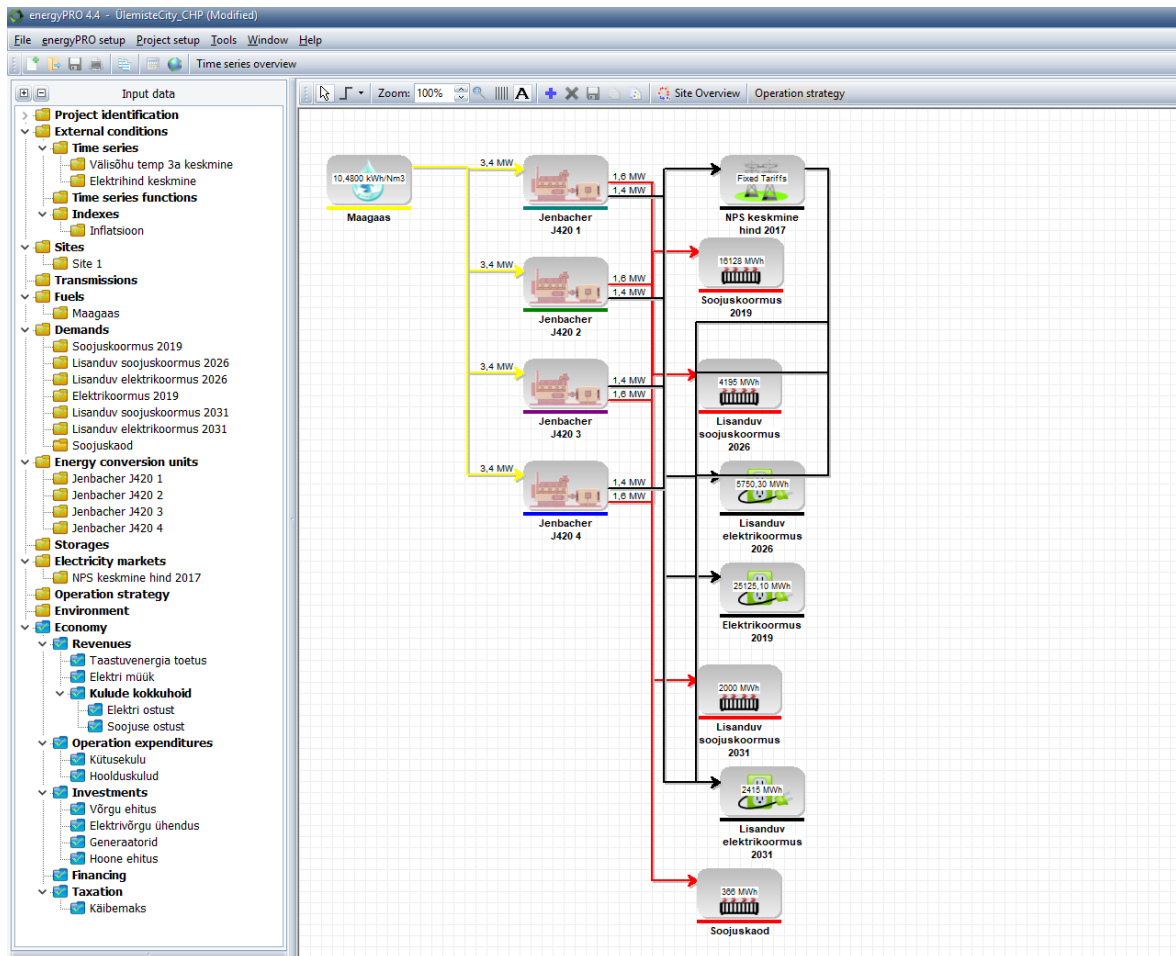
Lisa 3. Ülemiste City ühendus tsentraalse gaasitrassiga



Lisa 4. Ülemiste City elektriühendused tsentraalse elektrivõrguga



Lisa 5. Modelleerimistarkvara EnergyPRO töölaud



Lisa 6. Koostootmisjaama kulud ja tulud kogu jaama eluea vältel

(All amounts in €)

	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041
Revenues																							
Taastuenergia loetus	15	45	45	45	45	49	48	62	62	63	62	61	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Elektri müük	15 518	48 507	49 707	51 472	53 002	58 416	59 455	78 415	81 119	85 361	85 610	88 200	188 811	197 090	202 165	208 098	213 230	274 452	281 285	289 508	299 015	310 409	316 261
Kulude kokkuhoid																							
Elektri ostust	1 053 288	1 106 422	1 133 023	1 166 328	1 201 353	1 246 210	1 277 244	1 638 468	1 688 743	1 743 993	1 790 587	1 844 251	1 850 361	1 913 126	1 958 413	2 017 496	2 080 794	2 021 781	2 089 951	2 132 586	2 194 511	2 271 759	2 330 585
Soojuse ostust	805 755	834 899	854 825	880 470	906 884	939 461	962 113	1 248 737	1 288 199	1 332 398	1 364 528	1 405 484	1 590 090	1 647 204	1 686 926	1 737 534	1 789 680	1 853 943	1 898 650	1 955 610	2 014 278	2 086 629	2 136 948
Kulude kokkuhoid Total	1 859 043	1 941 321	1 987 848	2 046 798	2 108 237	2 185 671	2 239 357	2 887 205	2 972 941	3 076 392	3 155 115	3 249 715	3 440 451	3 560 331	3 645 340	3 755 030	3 870 454	3 875 723	3 968 601	4 088 197	4 208 790	4 358 387	4 467 513
Total Revenues	1 874 576	1 989 673	2 037 600	2 098 316	2 161 285	2 244 136	2 298 860	2 965 681	3 054 123	3 161 816	3 240 787	3 337 976	3 629 262	3 757 421	3 847 504	3 963 127	4 083 684	4 150 176	4 249 886	4 377 705	4 507 805	4 668 797	4 783 774
Operating Expenditures																							
Küsituskulu	1 039 661	1 168 898	1 196 878	1 232 784	1 269 788	1 325 347	1 357 382	1 748 347	1 798 738	1 863 329	1 908 281	1 965 529	2 210 617	2 290 822	2 345 244	2 415 601	2 488 089	2 577 485	2 639 593	2 718 781	2 800 344	2 900 982	2 970 885
Hoolduskulud	185 178	247 786	247 786	247 786	247 786	330 355	330 355	330 355	330 355	330 355	330 355	330 355	330 355	330 355	330 355	330 355	330 355	330 355	330 355	330 355	330 355	330 355	330 355
Total Operating Expenditures	1 204 839	1 416 684	1 444 664	1 480 570	1 517 574	1 655 703	1 687 737	2 076 702	2 129 093	2 193 684	2 238 636	2 295 884	2 540 972	2 620 417	2 675 599	2 745 957	2 818 425	2 907 840	2 969 948	3 049 136	3 130 699	3 231 337	3 301 240
Net Cash from Operation	669 737	572 989	592 756	617 746	643 751	588 433	611 142	888 979	925 030	968 131	1 002 151	1 042 092	1 088 289	1 137 004	1 171 905	1 217 171	1 265 260	1 242 336	1 279 938	1 328 569	1 377 106	1 437 459	1 482 534
Investments																							
Võrgu ehitus	900 000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	90 000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	90 000	0	0
Elektrivõrgu ühendus	900 000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Generatorid	2 840 000	1 420 000	0	0	0	1 420 000	0	0	0	0	1 986 000	994 000	0	0	0	994 000	0	0	0	0	0	0	0
Hoone ehitus	70 000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total Investments	4 710 000	1 420 000	0	0	0	1 420 000	0	0	0	0	2 076 000	994 000	0	0	0	994 000	0	0	0	0	90 000	0	0
Tax payments																							
Käibemaks	0	586	249	289	339	391	0	41	597	669	755	989	1 154	1 247	1 344	1 414	1 590	1 686	1 640	1 715	1 812	2 303	2 622
Total Tax payments	0	586	249	289	339	391	0	41	597	669	755	989	1 154	1 247	1 344	1 414	1 590	1 686	1 640	1 715	1 812	2 303	2 622
Total Interest on Cash Account	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cash Surplus	-4 040 263	-847 379	592 707	617 477	643 413	-831 957	611 142	888 937	924 433	967 462	1 076 604	47 103	1 087 135	1 135 757	1 170 561	221 757	1 263 670	1 240 650	1 278 298	1 326 854	1 285 293	1 435 157	1 479 912
Cash Account	-4 040 263	4 887 641	4 294 935	3 677 458	3 034 045	3 866 003	3 254 860	2 365 923	1 441 490	-474 028	1 550 632	1 503 529	-416 394	719 363	1 889 924	2 111 681	3 375 351	4 616 001	5 854 299	7 221 153	8 506 446	9 941 603	11 421 515