



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
INSENERITEADUSKOND

TTÜ energiatehnoloogia instituut

BIOMASSIL TÖÖTAVA KOOSTOOTMISJAAMA SOOJUSE AKUMULATSIOONIPAAKIDE PAIGALDAMISE EFEKTIIVSUSE HINDAMINE

THERMAL ENERGY STORAGE ASSESSMENT FOR BIOMASS COMBINED HEAT
AND POWER STATION

MAGISTRITÖÖ

Üliõpilane: Maksim Andrijaškin

Üliõpilaskood: 163031MASM

Juhendaja: Anna Volkova, vanemteadur

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.

“29” mai 2018

Autor:

/ allkiri /

Töö vastab magistritööle esitatud nõuetele

“29” mai 2018

Juhendaja:

/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

“.....”201... .

Kaitsmiskomisjoni esimees

/ nimi ja allkiri /

TTÜ Energiatehnoloogia instituut

LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Üliõpilane: Maksim Andrijaškin, 163031MASM

Õppekava, peeriala: MASM02, Soojusenergeetika

Juhendaja(d): vanemteadur Anna Volkova

Lõputöö teema:

(eesti keeles) BIOMASSIL TÖÖTAVA KOOSTOOTMISJAAMA SOOJUSE AKUMULATSIOONIPAAKIDE PAIGALDAMISE EFEKTIIVSUSE HINDAMINE

(inglise keeles) THERMAL ENERGY STORAGE ASSESSMENT FOR BIOMASS COMBINED HEAT AND POWER STATION

Lõputöö põhieesmärgid:

1. Hinnata akumulatsioonipaakide paigaldamise efektiivsus
- 2.
- 3.

Lõputöö etapid ja ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Tähtaeg
1.	Töö ülesehituse kinnitamine	06.03.2018
2.	Koostootmisjaama ja soojusesalvestamise tehnoloogia kirjeldus	17.04.2018
3.	Tallinna kaugküttesüsteemi kirjeldus ja andmete kogumine	05.05.2018
4.	Kogutud andmete sisestamine	08.05.2018
5.	Analüüs ja järelduste tegemine	23.05.2018
6.	Lõputöö esitamine	29.05.2018

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

Üliõpilane: Maksim Andrijaškin "....."201....a
/alkiri/

Juhendaja: Anna Volkova "....."201....a
/alkiri

SISUKORD

EESSÖNA.....	6
SISSEJUHATUS	7
1. KOOSTOOTMISJAAM.....	9
2. KOOSTOOTMINE JA SOOJUSE SALVESTAMISE TEHNOLOOGIA	13
2.1 Soojuse salvestamise süsteemide tüübid	16
2.1.1 Faasimuutuseeta soojuse salvestamise tehnoloogia	16
2.1.2 Faasimuutusega soojuse salvestamise tehnoloogia	16
2.1.3 Termokeemiline soojuse salvestamise tehnoloogia	17
2.1.4 Soojuse salvestamise tehnoloogia kasutamine kaugküttevõrkudes.....	17
2.1.5 Akumulatsioonipaagi kasutamine kaugküttevõrgus	18
3. EUROOPA PRAKTIKA.....	23
3.1 Herning CHP	25
3.2 Assens CHP	27
3.3 Vienna Simmering	27
4. TALLINNA KAUGKÜTTESÜSTEEMI JA KOOSTOOTMISJAAMA VÄO 2 KIRJELDUS.....	29
4.1 Eesti	29
4.2 Tallinna kaugküttesüsteem	31
4.2.1 Soojuskandja	32
4.2.2 Tallinna kaugküttevõrgu soojusallikad	34
4.2.3 Koostootmisjaamade rajamine	36
4.2.4 Jahutid	37
5. METOODIKA	41
5.1 EnergyPro programm	46
5.3 Majanduslikud näitajad.....	47

5.3.1 Sensitiivanalüüs.....	49
5.2 Keskkonnamõju.....	51
5.4 Andmete sisestamine.....	52
6. TULEMUSED	56
KOKKUVÕTTE.....	61
SUMMARY	62
KASUTATUD KIRJANDUS.....	63
LISA.....	65
Lisa 1. Igakuine keskmine temperatuur eestis.....	65
Lisa 2. Protsentuaalne elanike osakaal, kes kasutavad kaugkütet.....	65

EESSÕNA

Esmalt otsis töö autor sobivat magistriastme lõputöö teemat oma tööandja AS-i Utilitas Tallinn juurest, kuid kuna sel momendil midagi huvitavat pakkuda polnud, pöördus autor TTÜ Energiatehnoloogia Instituudi poole.

Käesoleva töö teema on valitud töö koostaja ja juhendaja initsiatiivil. Töö koostamisest, informatsiooni leidmisest ja spetsialistidega arutlemisest sai autor häid kogemust, mis võib olla kasulik tema igapäevasel tööl.

Selle töö autor avaldab tänu kõigile spetsialistidele ja isikutele, kes jaganud infot ja oma teadmisi. Autor soovib eriliselt tänada vanemteadur Anna Volkova, kes andis pädeva juhendamise abil suure panuse töö valmimisse.

SISSEJUHATUS

Soojusvarustus on äärmiselt oluline riikides, kus on karm ja külm kliima. Kaugküte on populaarne soojusvarustuse liik, mida juba rohkem kui 70 aastat kasutatakse paljudes Euroopa riikides.

Euroopas on umbes 5000 kaugküttesüsteemi, mis varustavad soojusega üle 10% kogu tarbimisest. Eesti puhul statistika näitab, et 2017. aastal oli Eestis kaugkütte osakaal soojuse tootmisel lähenemas 70 protsendini. [1]

Teaduse ja tehnika progress ei seisa paigal, igal aastal tehakse rohkesti avastusi ja tehnoloogias toimuvad muutused, mis aitavad tõsta soojusallikate kasutegurit ning parandada energia kättesaadavust. Kaugküttesüsteemi üks põhilisi probleeme on taastuvenergia tootmine madala temperatuuriga soojusallikast ja kasutatud energia ära kasutamine, ning tuleviku energiasüsteemi integreeritud osaks saamine. Antud probleemi on võimalik lahendada soojuse salvestamise tehnoloogia abil.

Antud töös kirjeldab autor samm-sammult koostootmisjaama VÄO 2 ja Tallinna kaugküttevõrku. Välja on toodud kõik vajalikud parameetrid ja kirjeldatakse kasutatavat tehnoloogiat. Räägitakse soojuse salvestamise tehnoloogiast – selle tüüpidest, liikidest ja võimalustest. Selgitakse, milline on olukord Eestis ja mujal maailmas. On tehtud ka lühike kokkuvõte Euroopas olemasolevatest edukamatest projektidest ja kirjeldatud neist mõnda.

Käesolevas töös räägitakse soojussalvesti kasutamise võimalustest kaugküttesüsteemides ja tulevikuperspektiividest. Selgitatakse, millist tarkvara ja valemide tulemuste saamiseks kasutatakse. Milliseid parameetreid ja andmeid on vaja, et saada vastust küsimusele soojussalvesti rakendamise võimaluste kohta.

Selgitatakse kasutatud meetodikat, kuidas olemasolevad andmed arvutisse sisestati ja missugused tulemused saadi, kasutades spetsiaalset tarkvara. Viimases osas räägib autor saadud tulemustest, tehnoloogia kasutamise võimalustest.

Uurimisobjektid on koostootmisjaam VÄO 2 ja kaugküttevõrk, mis kuulub Utilitas Tallinn AS-ile.

Uurimisaine on koostootmisjaama VÄO 2 efektiivsus.

Selle töö raames uuritakse elektri- ja soojusenergia tootmist koostootmisjaamas VÄO 2 ning võimalusi jaama efektiivsuse tõstmiseks. Lõputöö **eesmärgid** seisnevad selles, et hinnata soojusakumulaatori paigaldamise vajadust ja arvutada välja majanduslik kasu.

Tulenevalt töö eesmärgist püstitati järgmised **lõputöö ülesanded**:

- Tutvuda Utilitas Tallinn AS-i koostootmisjaama VÄO 2 peamiste tehniliste näitajaga.
- Otsustada, kas on olemas vajadus ja võimalus kasutada soojusakumulaatorit.
- Määrata kindlaks soojusakumulaatorite maht.

Magistritöö **põhilised meetodid** on järgmised: matemaatiline, loogiline, praktiline ja teoreetiline.

1. KOOSTOOTMISJAAM

Inimesed kasutavad erinevaid energialiike nagu elektrit ja soojust juba ammu. Tänapäeval on väga raske kujutada oma elu ette ilma nendeta. Tavaliselt kasutatakse elektri- ja soojusenergia tootmiseks järgmisi allikaid:

- Elektriyaam
- Katlamaja

Antud juhul toimub eelnimetatud kahe energialiigi tootmine sõltumatult, ehk teiste sõnadega: iga jaam toodab ainult üht energialiiki. Kuid on olemas ka alternatiiv – kombineeritud elektri- ja soojusenergia tootmine ehk koostootmine.

Nimetatud termin puudutab soojus- ja elektrienergia tootmist, kasutades vaid üht allikat – koostootmisjaama. Inglise keeles on sellise jaama nimetus Cogeneration of heat and power plant, ehk lühidalt CHP.

Koostootmisjaama eelised ja põhilised erinevused traditsioonilise energiatootmisega võrreldes võib jaotada viide gruppi:

1. Majanduslik efektiivsus

Kaasaegse koostootmisjaama kasutegur on juba 90–95%. See tähendab, et kütust põletatakse efektiivsemalt, mis aitab säästa raha ja vähendada püsikulusid. On arvestatud, et kui koostootmisjaam töötab igal aastal umbes 4500 tundi, siis vähenevad tootmiskulud umbes 20–30% võrra. [2]

2. Pikeaelisus

Insenerid ja projekteerijad pööravad tõsist tähelepanu nimetatud energiaallika püsivale tööle. Koostootmisjaama töö peab olema stabiilne ja katkematu, seadmed peavad olema töökindlad ning täitma oma ülesandeid. Koostootmisjaam vastab antud nõuetele ja selle arvutuslik tööiga on umbes 35 aastat.

3. Soojuse utiliseerimine

Elektriyaamas suunatakse aur kateldest turbiini. Pärast tuleb aur gradiiris maha jahutada, et see taas veeldada ja külmana uuesti katlasse pumbata. Antud juhul auru soojusenergia kaotatakse, st seda ei kasutata.

Koostootmisjaamas aga rakendatakse teisi tööprintsippe ja erinevaid tehnoloogilisi uuendusi. Sõltuvalt tehnoloogiast kasutatakse koostootmisjaamas plaatsoojusvaheteid ja aurugeneraatoreid, mis võimaldavad auru soojust utiliseerida, et kuumutada selle abil vett ja tõsta jaama kasutegurit.

Elektrijaamas läheb palju soojust kaotsi väljuvate heitgaasidega. Selleks, et seda soojust ära kasutada, on koostootmisjaamades spetsiaalsed utilisatsioonikatlad või ökonomaiserid. Need võimaldavad vähendada väljuvate heitgaaside temperatuuri, et kuumutada nende abil vett, mis suunatakse soojusvõrku. Rohkem räägitakse neist käesoleva töö kolmandas osas.

4. Keskkonnakaitse

Paratamatult toimub iga päev elukeskkonna saastamine. Elektriijaamades ja katlamajades põletatakse erinevaid kütuseid: gaaskütuseid, vedelkütuseid, pelliteid jm.

Kütuse põlemisel tekivad tahked ja gaasilised heitmed:

- Vääveldioksiidid
- Süsinikdioksiidid
- Süsinikmonooksiidid
- Lämmastikuoksiidid
- Trihapnikud
- Süsivesinikud

Juba ammu otsitakse uusi tehnoloogilisi lahendusi, mille abil vähendada inimtegevuse mõju loodusele. Koostootmine aitab säilitada ümbritsevat keskkonda, kuna primaarenergiat kasutatakse efektiivsemalt.

5. Paindlikkus

CHP on väga paindlik ning seda võib kasutada igas olukorras ja sektoris. Võimalik on kasutada erinevaid kütuseliike: tahkeid, vedelaid või gaasilisi. Antud jaamade soojus- ja elektrienergia tootmisvõimsus võib varieeruda alates 0,100 MW kuni 100 MW. [2]

Igal tehnoloogial on siiski ka omad **puudused**. Antud tehnoloogia puhul on need järgmised:

- Soojus- ja elektrienergia tootmine on üksteisest sõltuvad, st pole võimalik toota rohkem soojust, kui elektrienergia hulk jääb samaks.
- Koostootmisjaamu on võimalik ehitada ainult piirkonnas, kus on olemas tarbijad, kes vajavad alaliselt elektrit, sooja vett ja soojust.
- CHP ehitamine nõuab suuri kapitaalvahutusi.

- Mitte kõik CHP-d ei kasuta taastuenergia allikaid.

CHP koosneb neljast põhielemendist:

1. Tõukejõud
2. Elektrigeneraator
3. Soojusregeneratsiooniga süsteem
4. Kontrollsüsteem

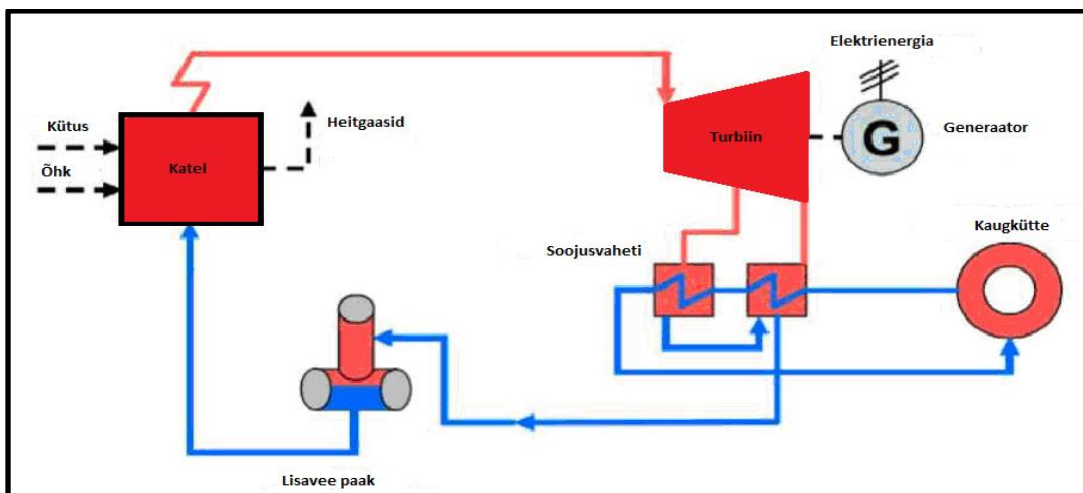
Koostootmisjaamu klassifitseeritakse tavaliselt lähtuvalt kasutamise tüüpidest, tõukejõududest ja kasutatavast kütusest. Tõukejõud on kõige tähtsam element, mis teeb mehaanilist tööd. Tabelis 1.1 on toodud koostootmisjaama 5 põhimõttelist tõukejõudude tüüpi ja nende elektrilised kasutegurid. [2]

Tabel 1.1 Koostootmisjaama põhilised tõukejõudude tüübid

Nr	Tõukejõud	Elektriline kasutegur (%)
1	Sisepõlemismootor	25–40
2	Auruturbiin	77,6 – 82,5
3	Gaasiturbiin	21–36
4	Gaasiturbiin kombineeritud tsükliga	55
5	Stirling mootor, ORC ja kütuseelement	6–55

CHP lihtsustatud tüüpskeem on näidatud joonisel 1.1. Nagu näeme, saab elektri- ja soojusenergia tootmine alguse katlas/sisepõlemismootoris, kus hakatakse kütust põletama. Põlemisprotsessis saadud soojust kasutatakse selleks, et kuumutada ja aurustada vett. Pärast vee aurustamist suunatakse aur turbiini, mis hakkab pöörlema. Pöördemomendi mõjul hakkab generaatori rootor pöörlema ja tootma elektrit. Turbiinidest väljuv aur suunatakse soojusvahetisse, kus see annab oma soojust veele. Soojendatud vesi jõuab torude kaudu klientideni.

Joonis 1.1 Koostootmisjaama lihtsustatud tüüpskeem



Pärast esimese koostootmisjaama valmimist oli võimalik see kohe ühendada olemasoleva soojus- ja elektrivõrguga ning jälgida, kuidas süsteem töötab. Tänapäeval on selliseid jaamu ehitatud palju ja nad on väga hinnatud.

Jaamade kasuteguri tõstmine, olemasolevate puuduste kõrvaldamine, kulude vähendamine, tehnoloogia edasiarendamine veelgi stabiilsemaks ja meie elukeskkonna säilitamine – see kõik on väga tähtis. Suureneb ju pidevalt potentsiaalsete tarbijate arv ning soojuslik ja elektrikoormus.

Et olemasolevat tehnoloogiat täiustada nii, et kõik need tingimused oleksid täidetud, tuleb kasutada soojuse salvestamise tehnoloogiat. Sellest räägib autor töö järgmises osas.

2. KOOSTOOTMINE JA SOOJUSE SALVESTAMISE TEHNOLOOGIA

Eelmises osas räägiti, et koostootmisjaama üheks suureks puuduseks on elektri- ja soojusenergia tootmise omavaheline sõltuvus. See on CHP puhul väga suur probleem ja puudutab suuremal määral sellist CHP-d, mida kasutatakse tippkoormuste katmiseks.

On riike, kus energiasüsteemid, näiteks elektrivõrgud, on üksteisega ühendatud ja sünkroniseeritud. See annab võimaluse kompenseerida energiasüsteemi puudusi, jaamade väikesi võimsusi ja muuta need efektiivsemaks. Ühe sellistest süsteemidest moodustavad Eesti, Leedu, Läti, Valgevene ja Venemaa. See võimaldab müüa ja osta elektrienergiat hulgiturul.

Ühelt poolt: kui elektri hind hulgiturul tõuseb või püsib kõrgel tasemel, on tarvis koostootmisjaamas rohkem elektrit toota ja kohe ka müüa. Teiselt poolt – seda pole võimalik teha, kui soojuse tarbimine jääb samale tasemele.

Mõned aastad tagasi leiti, et kui koostootmisjaamas kasutada soojuse salvestamise tehnoloogiat, siis see annab soovitud tulemusi ja majanduslikku kasu. Nüüd on juba raske kujutada ette ilma soojusakumulaatorita koostootmisjaama.

Pika- ja lühiajalise energia salvestamise tehnoloogia kasutamine koostootmisjaamades pakub võimaluse vähendada sõltuvust elektri- ja soojusenergia tootmise vahel. Kui CHP-s, mis on ühendatud soojusvõrguga, rakendada soojuse salvestamise tehnoloogiat, siis ajal, mil soojusenergia tarbimine ei ole suur, aga elektri hinnad kasvavad, on võimalik suurendada elektrienergia tootmist ning salvestada ülejäänud soojusenergia, mida hetkel ei ole vaja.

Samal ajal – kui aga juhtub nii, et elektri hind langeb, ent soojuslik koormus suureneb, saab kasutada soojust, mis oli varem salvestatud. See tähendab, et koostootmisjaamas pole vaja soojus- ja elektrienergia tootmist suurendada. Tootmine jääb samale tasemele, aga tippkoormuste katmiseks on võimalik kasutada salvestatud soojust.

Sõna “akumulaator” on tulnud ladinakeelsest sõnast *accumulator*, mis tähendab “korilane”. Tehnikas nimetatakse akumulaatoriks seadeldist, mis võimaldab salvestada energiat edaspidiseks kasutamiseks. Akumulaatorid võivad olla pneumaatilised, hüdraulilised, elektrilised ja lõpuks ka soojuslikud. Soojusakumulaatori ingliskeelne nimetus on *Thermal Energy Storage*, lühidalt TES.

Energia salvestamine põhineb kolmel põhiprintsiibil:

1. Akumulaatori laadimine
2. Energia salvestamine
3. Akumulaatori tühjakslaadimine

Spetsiaalsed tehnoloogiad annavad võimaluse salvestada soojusenergiat ja kasutada seda olgu tunni, päeva või mõne kuu jooksul. Sõltumata sellest, kas objektideks on üks maja, linn või suurem piirkond.

Tavaliselt kasutatakse TES-i sellistes tehnoloogilistes protsessides nagu soojusvarustus. Soojuse tarbimine võib suuresti kõikuda ning sõltub näiteks aastaajast, ajavahemikust ja tarbijate arvust.

Antud tehnoloogia järgi kasutatakse Skandinaavia riikide kaugküttesüsteemides soojusakumulaatoreid juba üle 30 aasta. Soojussalvestamise tehnoloogia kasutamisel on järgmised tugevad küljed:

1. Aitab süsteemides balansseerida energeetilist nõudlust.
2. Koostootmisjaam katab ainult soojuse tarbimise põhikoormuse, tippkoormuse puhul lülitatakse sisse lisakatlad, mis asuvad katlamajades. Neid katlaid aga on võimalik asendada soojuse salvestamise tehnoloogia kasutamisega.
3. Vähendab soojus- ja elektrienergia tootmise omavahelist sõltuvust.
4. Soojusakumulaatorite kasutamine Euroopas annab suurt kasu. On arvatud, et salvestatud võib olla umbes 1,4 miljonit GWh energiat ja lisaks sellele ei saasta 400 miljonit tonni CO² ümbritsevat keskkonda. [3]
5. TES võimaldab säilitada energiat kaugküttesüsteemides, kus kütteallikaks on biomassil töötavad katlad. Need katlad töötavad suure kasuteguriga ja nende tööiga on pikk.
6. Koostootmisjaam töötab ökonoomsemalt ja efektiivsemalt.
7. Salvestatud soojust on võimalik kasutada tipukatlamaja asemel, mida sel juhul polegi tarvis sisse lülitada.

Ent teisalt on TES tehnoloogiate puhul järgmisi probleeme:

1. Projektid ja tehnoloogiad on väga kallid.
2. Mõned tehnoloogiad vajavad veel täiustamist, et need saaks tootmises kasutada.
3. Infrastruktuur peab olema valmis ja hästi toimiv.

Igal soojusenergia salvesti tüübil on oma parameetrid, tööprintsüübid ja plussid. Kõiki soojussalvestuse süsteeme on võimalik kirjeldada järgmiste parameetrite alusel:

1. Soojusmahtuvus

Soojussalvesti olulisimaks füüsiliseks suuruseks on soojusmahtuvus. Soojusmahtuvuseks nimetatakse soojushulka, mis on vajalik antud ainekoguse temperatuuri tõstmiseks 1 kraadi võrra. Kõik TES-ide tootjad püüavad antud parameetrit mitmekordistada, et saaks rohkem soojust salvestada ja ruumi võita.

2. Töö kestus

Annab informatsiooni, kui kiiresti toimub soojusakumulaatori laadimine ja tühjakslaadimine.

3. Kasutegur

Antud parameeter näitab tarbijale suunatud energia ja akumulaatori laadimiseks kuluva energia protsentuaalset suhet. Lisaks näitab antud parameeter energiakadu laadimise ja tühjakslaadimise ajal.

4. Salvestamise periood

Näitab, kui kaua energia võib olla salvestatud.

5. Laadimise ja tühjakslaadimise aeg

Näitab, kui palju aega kulub soojusakumulaatori laadimiseks või tühjaks laadimiseks.

6. Maksumus

Näitab, kui palju maksab salvestussüsteemi mahtuvus (€/kWh) või võimsus (€/kW). See sõltub ka akumulaatori kapitaalse ja operatsiooni väärtusest ning tsüklite arvust.

7. Soojuskaod

Näitab soojushulka (kWh), mis on läbi välispiirete (nt seinad) kandunud väliskeskkonda. [3]

2.1 Soojuse salvestamise süsteemide tüübid

On olemas kolm TES süsteemide tüüpi, sõltuvalt sellest, millist soojuse salvestamise tehnoloogiat kasutatakse. Soojusenergiat on võimalik salvestada erinevates temperatuuridiapsoonides, alates -40 kuni +400 °C, kasutades järgmisi tehnoloogiaid: faasimuutuseta (nn ilmne soojus); faasimuutusega (lühidalt PCM), ning termokeemiline (lühidalt TCS).

2.1.1 Faasimuutuseta soojuse salvestamise tehnoloogia

Antud tehnoloogia on kõige levinum ja odavam soojuse salvestamise viis. Soojust salvestatakse suures reservuaaris, mis on väga hästi ja kindlalt isoleeritud. Seda reservuaari nimetatakse ka akumulatsioonipaagiks, millest autor räägib järgmises osas.

Soojust säilitatakse säilituskeskkonna temperatuuri ehk siseenergia suurendamise abil. Toodetud soojust on võimalik säilitada päeva, nädala või ka mitme kuu jooksul. Salvestatud energia hulk on proportsionaalne temperatuuri tõusuga, keskkonna erisoojusega ja aine massiga.

Säilituskeskkonna valimine põhineb üldjuhul keskkonna erisoojusel, temperatuuri diapsoonil, milles soojusakumulaator peab töötama ja kui palju on selle jaoks ettenähtud ruumi. Soojust on võimalik säilitada kas tahketes ainetes – kivimid, tellised, betoon ja liiv, või vedelates ainetes – vesi, õhk, õli ja sulatatud sool.

Antud tehnoloogiat kasutatakse rohkem kaugküttesüsteemides ja tööstuses. Säilituskeskkonna madala erisoojuse tõttu nõuab faasimuutuseta soojuse salvestamise tehnoloogia rakendamine rohkem mahtu. Lisaks on tarvis õigeid konstruktsioonilisi lahendusi, et akumulaatori tühjakslaadimine toimuks konstantsel temperatuuril.

2.1.2 Faasimuutusega soojuse salvestamise tehnoloogia

Igal ainel on kolm olekut: tahke, vedel ja gaasiline. Füüsikaseaduste kohaselt põhjustab aine oleku muutusi temperatuuri ja rõhu muutumine. Faasimuutusega soojuse salvestamise tehnoloogia ehk PCM on, nagu on näha nimetusest, seotud materjalide agregaatoleku muutustega.

Kui toimub soojusenergia salvestamine ehk säilituskeskkonna soojendamine ja akumulaatori säilituskeskkonnaks on tahke aine, siis see hakkab sulama, vedel aine aga aurustuma. Selle lihtsa tehnoloogia abil on võimalik soojust salvestada ja pärast õigel ajal kasutada. Tuleb ka mainida, et tahke aine muutmist vedelaks kasutatakse maailmas rohkem.

Viimased PCM tehnoloogiate testid on näidanud, et ühest küljest on materjalide faasi muutustel järgmised eelised: soojusmahtuvus on suurem kui faasimuutuseta tehnoloogia puhul, see võimaldab salvestada rohkem soojust. Lisaks võimaldab PCM täpselt määrata tühjakslaadimise temperatuuri. Teisest küljest on sel tehnoloogial järgmine puudus: kõik soojuse salvestamisel kasutatavad ained hakkavad kaotama oma soojusmahtuvust. Antud tehnoloogia järgi on võimalik säilitada soojust tunni, päeva, nädala või mitme kuu jooksul.

2.1.3 Termokeemiline soojuse salvestamise tehnoloogia

Kui keemilise reaktsiooni abil saadud aineid on võimalik eraldi säilitada ja reaktsiooni käigus salvestatud soojust saab vabastada pöördreaktsioonidega, saab seda reaktsiooni kasutada TES tehnoloogia puhul. Antud tehnoloogiat nimetatakse termokeemiliseks. Selle tehnoloogia võib jagada keemiliseks reaktsiooniks ja sorptsiooni süsteemideks.

Keemilised süsteemid pakuvad suuremat soojusmahtuvust kui faasimuutuseta ja faasimuutusega soojuse salvestamise süsteemid. Termokeemilise soojuse salvestamise tehnoloogia peamine eelis võrreldes eelnimetatud tehnoloogiatega on, et kaod tekivad ainult laadimise ja tühjendamise ajal, kuid mitte säilitamise aja jooksul, mistõttu need süsteemid sobivad rohkem soojuse pikaajaliseks säilitamiseks. Antud tehnoloogia abil on võimalik säilitada soojust tunni või päeva jooksul.

2.1.4 Soojuse salvestamise tehnoloogia kasutamine kaugküttevõrkudes

Maailma praktika näitab, et praegu on kaugküttevõrkudes võimalik kasutada vaid faasimuutuseta soojuse salvestamise tehnoloogiat. Ent teadlased veel testivad ja arendavad edasi muidki eelpool nimetatud tehnoloogiaid nagu TCS ja PCM, et neid saaks rohkem rakendada.

Tabelis 2.1 on toodud ligikaudsed arvud. Need projektid, kus kasutatakse faasimuutuseta soojuse salvestamise tehnoloogiat, on mahuga kuni 10–50 kWh/t, võimsusega 0,001–10 MW ja kasuteguriga 50–90 %, mis sõltub salvestamise ajast ja isolatsioonimaterjalidest. PCM tehnoloogia pakub isegi suuremat soojusmahtuvust: 100 kWh/t, võimsust 0,001–1 MW ja kasutegurit 75–90 %. TCS-d võivad saavutada soojusmahtuvuse kuni 250 kWh/t, võimsuse 0,01–1 MW, ning nende kasutegur võib olla koguni 97 %. [3]

Kõikide projektide maksumus sõltub järgmistest faktoritest: tehnoloogiast, mahust ja rakendusala. Faasimuutuseta tehnoloogia maksab 0.1-10 EUR/kWh. PCS ja TCS tehnoloogiad maksavad isegi rohkem: 10-50 EUR/kWh ja 8-100 EUR/kWh. [3]

Tabel 2.1 TES tüübid

Nr	TES tüübid	Tehnoloogiad	Soojus- mahtuvus (kWh/m ³)	Kasu- tegur (%)	Salvestamise periood	Maksumus (€/kWh)
1	Faasimuutuseta soojuse salvestamise tehnoloogia	Akumulatsioonipaak Puurkaevudes salvestamine Veekogu ääres salvestamine Maa-alune salvestamine	10–50	50–90	Päevad/kuud	0,1–10
2	Faasimuutusega soojuse salvestamise tehnoloogia	Orgaaniline Anorgaaniline Eutektikum	50–150	75–90	Tunnid/kuud	10–50
3	Termokeemiline soojuse salvestamise tehnoloogia	Keemilistel reaktsioonidel põhinev; Termokeemilised protsessid (sorptsioon)	120–250	75–100	Tunnid/päevad	8–100

2.1.5 Akumulatsioonipaagi kasutamine kaugküttevõrgus

Suurte reservuaaride kasutamine, mida nimetatakse soojuse salvestamise paagiks või akumulatsioonipaagiks, on kõige efektiivsem ja tuntuim kaugküttesüsteemides kasutatav meetod.

Tabelis 2.2 on toodud akumulatsioonipaakide põhilised parameetrid, valemid ja omadused.

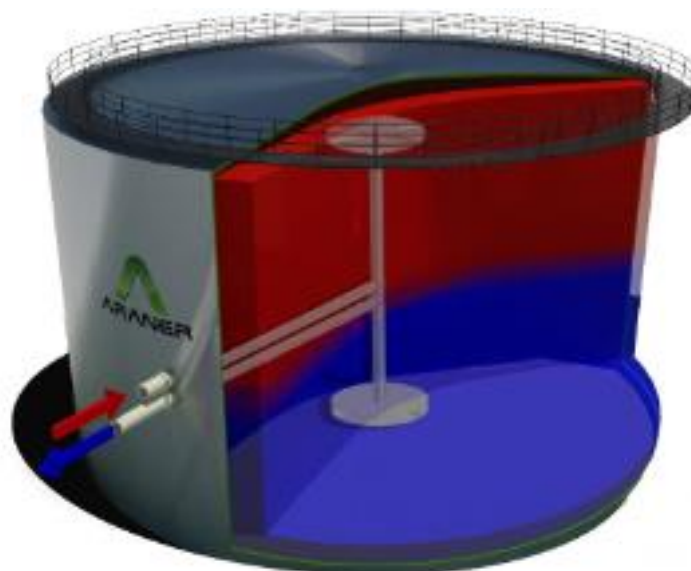
Tabel 2.2 Akumulatsioonipaakide põhilised parameetrid, valemid ja omadused

Nr	Nimetus	Valem	Kirjeldus	Ühik	Piirkond
1	Paigaldusmeetod	-	Paaki on võimalik paigaldada nii vertikaalselt kui horisontaalselt	-	-
2	Stratifikatsioon	-	Nähtus, mille puhul veekogus toimub vertikaalsihis erinevate keemiliste ja/või füüsikaliste omadustega kihtide tekkimine ehk kihitumine	m	3–4
3	Paakide kogus	-	-	tk	1–4
4	Soojustus	-	Soojustuseks kasutatakse mineraalvilla	mm	300–450
5	Paakide materjal	-	Metall, betoon või klaaskiududega tugevdatud plast	-	-
6	Salvestamise periood	-	Tunnid, päevad, kuud	-	-
7	Sisetemperatuur	-	Temperatuur paakides	°C	50–100
7	Temperatuur väljas	-	Õhu temperatuur väljas	°C	-20 – +20
9	Soojuskao koefitsient	-	-	J/s	-
10	Paagi kõrgus	h	-	m	10 - 80
11	Paagi läbimõõt	d	-	m	10 - 30
12	Maht	$V = h \times d$ Kus h = paagi kõrgus (m), d = paagi läbimõõt (m)	-	m ³	750 – 50 000
13	Soojuskaod	$Q = k \times (T_s - T_v) \times V$ kus k = soojuskao koefitsient, J/S, T _s = temperatuur paagis (°C), T _v = temperatuur väljas (°C), V = paagi maht (m ³)	-	J/s	
14	Erisoojusmahtuvus	$C = \frac{Q}{m \times \Delta T}$ kus Q = soojusenergia (J), m = mass (kg), ΔT = temperatuuride vahe (K)	-	J*kg ⁻¹ . K ⁻¹	Sõltub kasutatud ainest

Akumulatsioonipaagid võivad olla paigaldatud vertikaalselt või horisontaalselt. Nende vahel on konstruktiivsed ja kasuteguri erinevused. Vertikaalsete paakide kasutegur on suurem kui horisontaalsetel.

Kui olemasolevate tingimuste tõttu pole võimalik paigaldada paaki vertikaalselt, tuleb paigaldada horisontaalne paak. Kaugküttesüsteemides on võimalik paigaldada rohkem kui 1 paagi, kõik sõltub konkreetsetest oludest ja tingimustest. Joonisel 2.1 on skemaatiliselt kujutatud vertikaalset akumulatsioonipaaki, mida on võimalik kasutada soojusvõrgus erinevate temperatuuri- ja hüdraulilise režiimidega. [4]

Joonis 2.1 Vertikaalne akumulatsioonipaak



Allikas: [17]

Soojussalvestuspaake kasutatakse kaugküttesüsteemides palju ka koos päikesepaneeli ja/või koostootmisjaamaga. Tänu soodsale hinnale on need paagid väga ökonoomsed ja efektiivsed. Tulevikus on võimalik neid paake veelgi täiustada, kasutades tõhusamat soojustust ja uusi materjale.

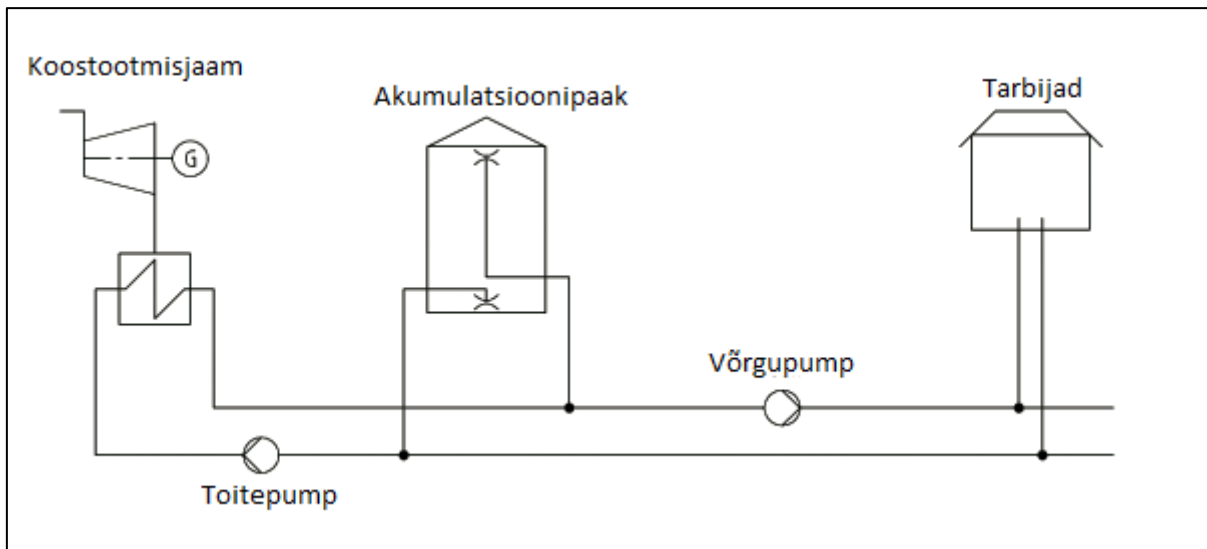
Paagi standardne konstruktsioon koosneb kolmest kihist. Väliskihtideks on pressitud mustriaga alumiinium, mis kaitseb paaki mehaaniliste vigastuse eest. Sisemistel kihtidel on kogu süsteemis soojusisolatsiooni funktsioon. Esimene kiht koosneb fooliumitest ja teine EPDM kummidest. Vajaduse korral paigaldatakse veel täiendav soojustuskiht. [18]

Joonisel 2.2 on skemaatiliselt näidatud, kuidas paiknevad kõik kaugküttesüsteemides kasutatavad põhilised elemendid ning kuidas akumulatsioonipaak on ühendatud. Antud süsteem koosneb järgmistest funktsionaalsetest osadest:

- 1) Soojusallikad
- 2) Soojusvõrk

- 3) Akumulatsioonipaak
- 4) Soojussõlm

Joonis 2.2 Soojusvõrgu põhilised elemendid ja akumulatsioonipaak. [5]



Kaugküttesüsteemis võivad soojusallikateks olla kas koostootmisjaamad või katlamajad. Nende peamine ülesanne on soojusenergia tootmine. Tavaliselt kasutatakse soojuskandjana kas veeauru või vett.

Kõige vaevanõudvam ja kallim tsentraliseeritud küttesüsteemi komponent on soojusvõrk. See koosneb erinevatest struktuuridest ja elementidest. Peamised neist on: terastorud, pumbad, sulg- ja reguleerklapid, statsionaarsed ja liikuvad toed, radiaalsed ja telgkompensaatorid, õhu- ja väljalaskeklapid.

Soojusvõrgu põhiülesanne on soojuskandja ülekanne kuni tarbija soojussõlmeni. Soojusvõrgul on inimeste elus tähtis koht. Soojusvõrgu seisundit tuleb pidevalt jälgida ja teha vajalikke hooldustöid. Akumulatsioonipaakidest räägib autor põhjalikumalt allpool.

Soojussõlm on hoone spetsiaalses ruumis paiknev tööstuslikult toodetud ja paigaldatud seadmestik, mille abil tarbijad on ühendatud soojusvõrguga. Soojussõlm koosneb erinevatest elementidest: soojusvahetid, torustikud, mõõteseadmed, pumbad, reguleerimisseadmed, ventiilid ning armatuurid. Soojussõlme ülesanne on kanda kaugküttevõrgust saadav soojusenergia üle hoone kütte- ja sooja tarbevee süsteemi, ning reguleerida temperatuuri vastavalt tarbijate vajadusele.

Olemasolevate paakide igapäevased soojus- ja rõhukaod, kui vee temperatuur 90 °C, on umbes 0,01 W/mK ning 0,1 mbar. Nende maht võib olla alates 500 m³, kui objekt on väike maja, ja kuni 73 000 m³, kui objektiks on suur linn. [3]

Antud paakide tööpõhimõtte baseerub vee stratifikatsioonil. Vee stratifikatsioon ehk kihistumine toimub seetõttu, et külma vee tihedus on natuke suurem kui kuuma oma. Külma vesi jääb paagi alumisse osasse, samal ajal kuum vesi asub ülemises osas.

Kuuma ja külma vee vahel asuvaid veekihte nimetatakse termokliinideks. Termokliini teke johtub paagi geomeetriast, hüdrodünaamikast ja vee termilistest omadustest. [6]

Liigne soojus ehk kuum vesi temperatuuriga 96 °C säilib paagi ülemises osas, samal ajal võetakse sama veehulk paagi alumisest osast ning suunatakse vajaduse korral kaugküttevõrku.

3. EUROOPA PRAKTIKA

Meetodiks, mida kasutati vajaliku info kogumiseks akumulatsioonipaakide kasutamise kohta Euroopa riikide kaugküttevõrkudes, oli metaanalüüs. Metaanalüüs (*meta-analysis*) on uuringu liik, kus analüüsitakse erinevate varasemate uurimuste tulemusi. Kõik allikaid olid valitud erinevate kriteeriumide alusel.

Tänases Euroopas on rakendatud mitmeid erinevaid projekte, kus koostootmisjaamades kasutatakse soojusenergia salvestamise tehnoloogiat. Näiteks Rootsis saadakse soojussalvestuspaakidest umbes 75% soojust, samal ajal kui Taanis soojusallikate juures on paigaldatud umbes 280 akumulatsioonipaaki. [7]

Töö koostaja, kasutades kättesaadavaid tehnika- ja teadusartikleid, leidis infot 74 koostootmisjaamade kohta. Vaadeldavad riigid on Saksamaa, Holland, Rootsi, Taani, Soome, Austria, Horvaatia ja Poola. Allpool, tabelis 3.1 on esitatud objektide jaotumus.

Tabel 3.1 Euroopas asuvate objektide jaotumus

Nr	Riigid	Objektid (arv)
1	Taani	27
2	Rootsi	20
3	Saksamaa	11
4	Soome	7
5	Austria	4
6	Holland	2
7	Poola	2
8	Horvaatia	1

Kõigi 74 objekti puhul kasutatakse tehnoloogiat, kus koostootmisjaam töötab koos akumulatsioonipaagiga. Tabelis 3.2 on näidatud, kuidas jagunevad projektid kahte gruppi.

Esimesse gruppi kuuluvad objektid, kus akumulatsioonipaake kasutatakse selleks, et tagada soojusvarustus vähemalt 5 tunni jooksul, ehk koormuse võnkumisperiodi balansseerimiseks.

Teises grupis on objektid, kus paake kasutatakse selleks, et tagada soojusvarustus rohkem kui 5 tunni jooksul. Antud paake gruppide temperatuuride vahe on umbes 40 °C.

Kasutatavate paakide mahtuvus võib varieeruda alates 750 m³ kuni 50 000 m³. CHP jaamade soojusvõimsus varieerub 2,8 MW kuni 918 MW, ning elektriline võimsus 0.5 MW kuni 793 MW.

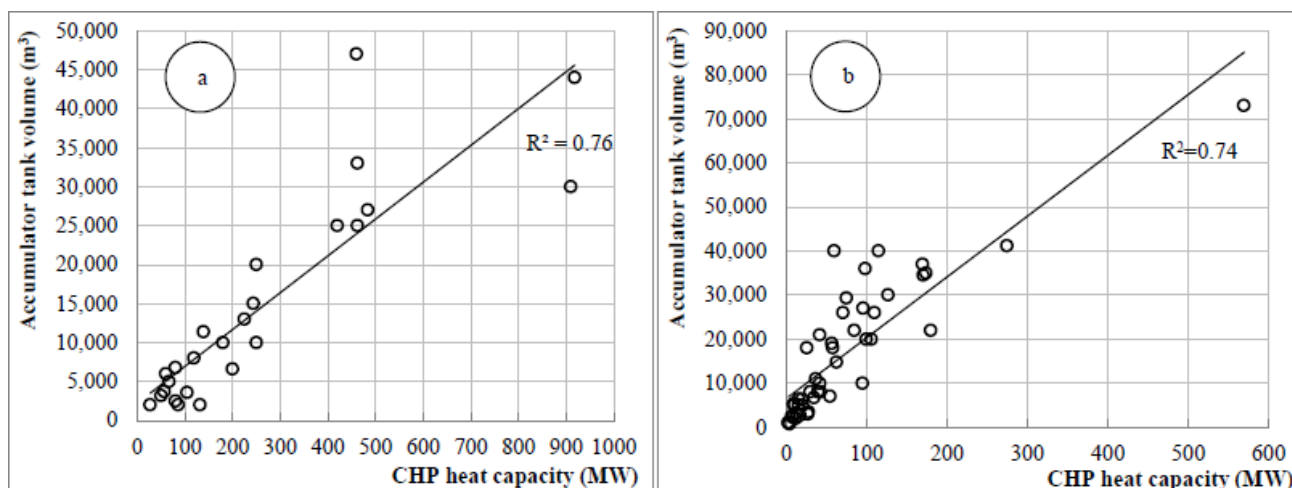
Tabel 3.2 Analüüsitud projektid, kus CHP jaama kasutatakse koos akumulatsioonipaakidega.

Nr	Võrreldavad aspektid	Esimene grupp	Teine grupp
1	Aeg, mille jooksul CHP jaam ilma paakita võib tagada soojusvarustuse	< 4.8 h	> 4.8 h
2	Projektide arv	26	47
3	CHP võimsuse diapsoon	27–918	2,8–370
4	TES kogumaht	1000–47 000	750–50000

Kahjuks Eestit selles nimekirjas ei ole, kuna meil selliseid projekte pole. Autori arvates on praegu uue tehnoloogia rakendamiseks väga hea aeg. Selleks aga tuleb analüüsida mujal juba toimivaid projekte ja pakkuda välja talitluskeem.

Akumulatsioonipaakide mahu valimine on olulise tähtsusega. On erinevaid meetodeid, kuidas seda teha, kõik sõltub CHP tehnoloogiast, soojuskoormusest, TES-i eesmärkidest. Antud töös analüüsitud koostootmisjaamades kasutatakse erinevaid kütuseliike (puit, gaas, kivisüsi, biogaas), erinevaid tehnoloogilisi lahendusi (auruturbiin, gaasimootor, gaasiturbiin). Graafikud 3.1a ja 3.1b näitavad sõltuvust CHP jaamade võimsuse ja TES-i kogumahu vahel. [7]

Graafik 3.1 Sõltuvus CHP jaamade võimsuse ja TES kogumahu vahel



Vaatamata sellele, et kasutatakse erinevaid CHP tehnoloogiaid ja kütuseliike, sõltub TES rohkem koostootmisjaama võimsusest, mida näitab korrelatsioon. Esimese grupi korrelatsioonikordaja on

0.76 ja teise grupi puhul 0.74. Regressioonarvutus tõendas, et sõltuvus CHP võimsuste ja TES mahtude vahel võrdub 1:

$$V_{1TES}=137,97Q_{1CHP}+6493.1$$

ja projektide teise grupi jaoks koostati teine võrrand:

$$V_{2TES}=47,20Q_{2CHP}+2262$$

kus V_{iTES} = akumulatsioonipaakide maht (m^3),

Q_{iCHP} = CHP võimsus (MW),

i = projekti grupi number. [7]

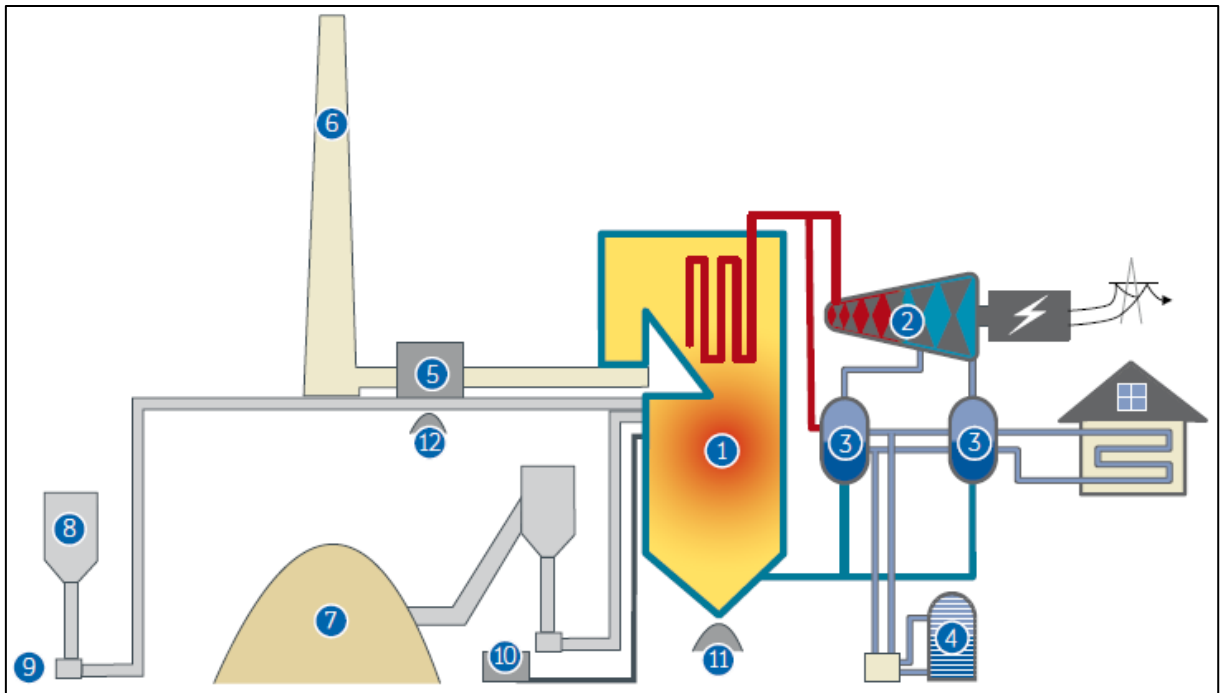
Allpool on toodud andmed kolme projekti kohta: Herning CHP, Assens CHP ja Vienna Simmering.

3.1 Herning CHP

Taanis kasutatakse TES tehnoloogiat juba ammu. Üks CHP jaam on väga sarnane Tallinnas asuva jaamaga, ent on siiski üks peamine erinevus – see on akumulatsioonipaakide kasutamine. Allpool on toodud kogu vajalik teave selle jaama kohta.

DONG Energy ettevõtte ehitas 1982. aastal Herningi koostootmisjaama, mis varustab soojusenergiaga Herningi linna. Kõnealuse jaama kasutegur on umbes 87%. Kütuseks kasutatakse Herningi jaamas biokütust: hakkepuitu ja puidupelleteid. Soojuslik võimsus on 174 MW ja elektriline võimsus 89 MW. Joonisel 3.1 on toodud Herning CHP jaama skeem. [8]

Joonis 3.1 Herning CHP



- 1) Katel
- 2) Auruturbiin
- 3) Soojusvaheti
- 4) Akumulatsioonipaak
- 5) Elektrifilter
- 6) Korsten
- 7) Hakkepuidu hoidla
- 8) Puidupelletite hoidla
- 9) Peenesti
- 10) Gaasihoidla
- 11) Tuhk
- 12) Tolm

Akumulatsioonipaagi maht on 35 000 m³. Antud paaki kasutatakse selleks, et salvestada soojust juhuks, kui on vaja elektrienergia tootmist suurendada. Kui soojuskoormus on maksimaalne, toimub paagi tühjakslaadimine 6–7 tunni jooksul. [8]

3.2 Assens CHP

Assens CHP ehitati 1999. aastal ja see asub samuti Taanis. Kütusena on võimalik kasutada puukütust. Jaama soojuslik võimsus on 17,3 MW ja elektriline võimsus 4,7 MW. Koostootmisjaama keskmine kasutegur on 80 %.

Aasta jooksul toodab vaadeldav CHP jaam 54 GWh soojusenergiat ja 25 GWh elektrienergiat. Jaam varustab soojus- ja elektrienergiaga 400 tarbijat. Assens CHP juurde on paigaldatud 2 akumulatsioonipaaki. Iga paagi maht on 2500 m³. Joonisel 3.2 on need paagid hästi näha. [9]

Joonis 3.2 Assens CHP



Allikas: [19]

3.3 Vienna Simmering

Austria pealinna Viini varustavad soojusega 17 erinevat allikat, nii CHP jaamad kui ka katlamajad. Üks koostootmisjaam kannab nime Vienna Simmering ja see ehitati 2006. aastal. Jaama soojuslik võimsus on 37 MW ja elektriline võimsus 16,2 MW. Kütusena on võimalik kasutada puukütust.

2013. aasta alguses ehitati jaama juurde 2 akumulatsioonipaaki, mida näeme joonisel 3.3. Paagid on ühendatud kaugküttevõrguga, nende kogumaht on 11 000 m³ ja võimsus kokku on 850 MWh.

Kuum vesi suunatakse kõikidest CHP jaamadest antud paakidesse 2200 tunni jooksul aastas. Paake kasutatakse selleks, et vajaduse korral katta tippkoormust, tänu millele tuleb vähem kasutada boilereid ja väheneb heitgaaside hulk. [10]

Joonis 3.3 Vienna Simmering



Allikas: [20]

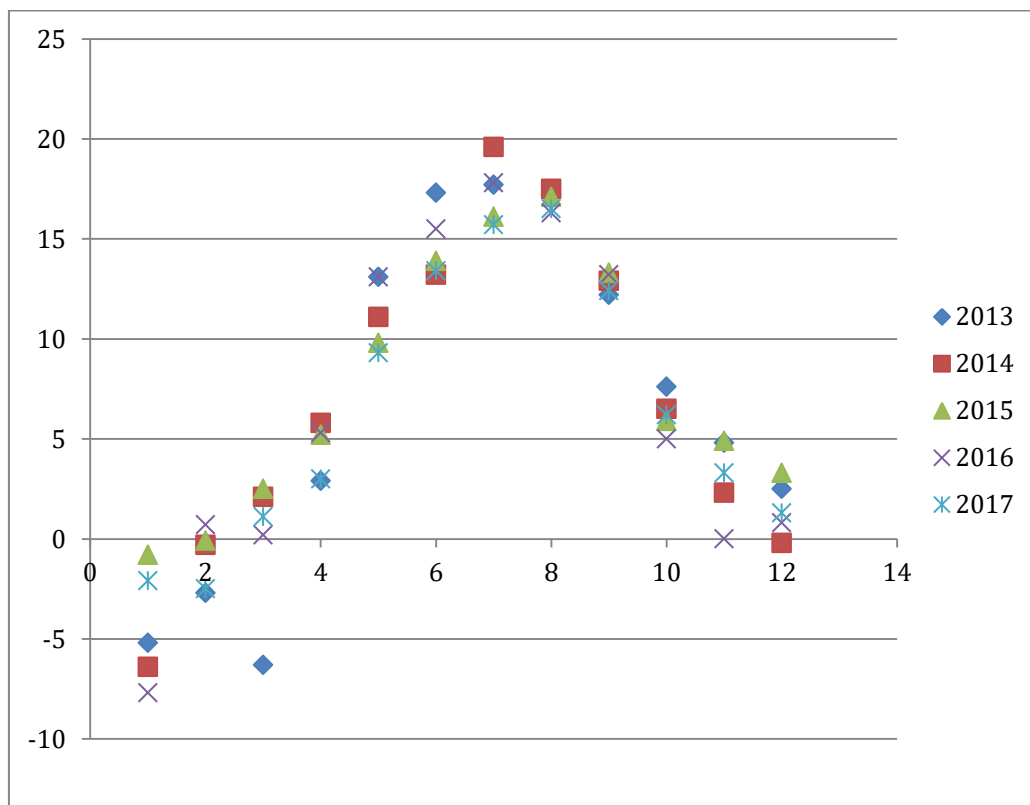
4. TALLINNA KAUGKÜTTESÜSTEEMI JA KOOSTOOTMISJAAMA VÄO 2 KIRJELDUS

4.1 Eesti

Eestile on omased järsud temperatuurimuutused ja vahelduvad ilmastikuolud. Eesti asub Läänemere idakaldal. Siin on parasvöötme üleminekuline kliima, mis mõjutab ilmastikutingimusi.

Aasta jooksul võib välisõhu temperatuur varieeruda vahemikus -18,0...18,0 °C. Kõige külmem kuu on tavaliselt veebruar, kõige soojem enamasti juuli. Graafikul 4.1 on näidatud viimase viie aasta igakuine keskmine temperatuur.

Graafik 4.1 Igakuine keskmine temperatuur Eestis



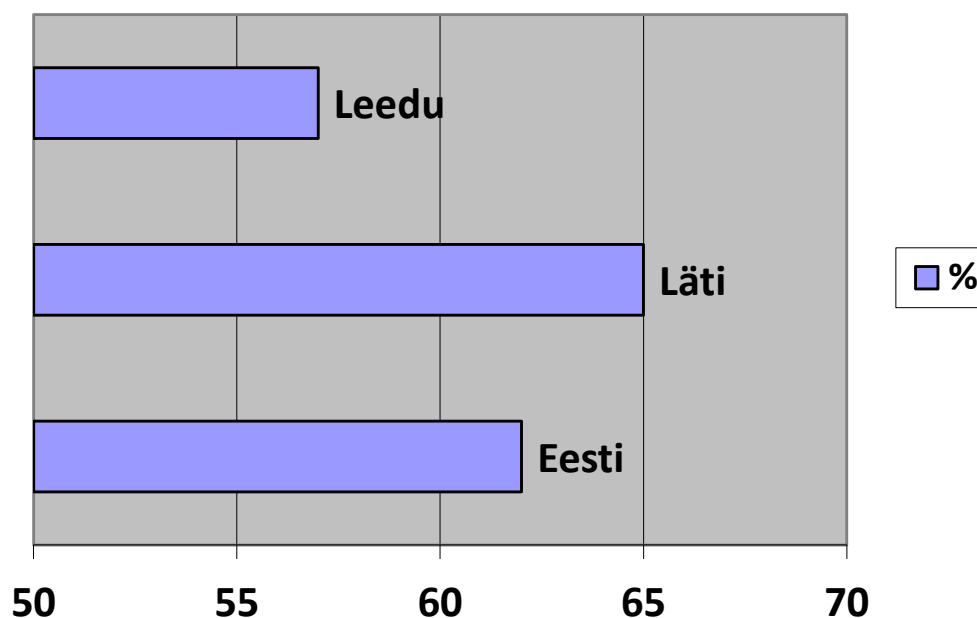
Allikas: LISA 1

Suurtes Eesti linnades on väga levinud mitmekorterilised elamud, kus elab palju inimesi. Et eluruumide ja majade sisekliimale esitatavad nõuded oleks täidetud, tuleb tagada hoonete soojusvarustus vähemalt 8 kuu jooksul aastas.

1998. aastal ühines Eesti Kyoto protokolliga, mille kohaselt tuleb kasvuhoonegaaside emissiooni atmosfääri vähendada või hoida 1990. aasta tasemel. Igal aastal peavad protokolliga ühinenud riigid esitama kindlad andmed, kus on ka kirjas, milliseid meetmeid on rakendatud. Soojusvarustus on üks problemaatilisest valdkondadest, mida tuleb jälgida ja kui vähegi võimalik, vähendada lokaalkütte kasutamist.

Kõige nõutavam, efektiivsem, mugavam ja keskkonnasäästlikum kütteviis antud eesmärkide saavutamiseks on kaugküte. Kaugküte on Eestis väga levinud, nagu näha graafikul 4.2, kus Eestit võrreldakse teiste Balti riikidega (Läti ja Leedu). Näeme, et kaugkütet kasutab Eestis umbes 62 % kogu elanikkonnast. [11]

Graafik 4.2 Protsentuaalne elanike osakaal, kes kasutavad kaugkütet



Allikas: LISA 2

Põhjamaades on kaugkütet kogu aeg palju kasutatud, ja ka Eestis jätkub kaugküttevõrkude laiendamine. Selleks on järgmised põhjused: karm kliima, ajalooliselt väljakujunenud infrastruktuur, elukeskkonna kvaliteedi säilitamine ja uute mitmekorruseliste majade ehitamine.

Statistikaameti andmete põhjal on tabelis 4.1 näidatud soojustarbimist kaugkütte baasil 5 aasta jooksul, 2010. aastast kuni aastani 2016. Näeme, et tarbitud soojus on püsinud üldjoontes samal tasemel.

Tabel 4.1. Soojustarbimine kaugkütte baasil

Aasta	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Kaugküte (GWh)	7 097	6 357	6 798	6 396	6 059	5 890	6 650

Allikas: [21]

Eestis on 33 töötavat koostootmisjaama, ent mitte üheski neist ei kasutata soojussalvesteid.

Tabelis 4.2 on näidatud CHP jaamad, kuhu on võimalik paigaldada akumulatsioonipaak.

Tabel 4.2 Eestis töötavad CHP jaamad, mille juurde on võimalik paigaldada akumulatsioonipaak

Nr	CHP	Soojusvõimsus (MW)	Elektriline võimsus (MW)	Koormuse tüüp
1	VÄO 1	67	25	Baaskoormus
2	Iru elektrijaam	50	17	Baaskoormus
3	VÄO 2	76.5	21.4	Poolkoormus
4	Tartu CHP	65	25	Baaskoormus
5	Pärnu CHP	48	24	Baaskoormus
6	Pogi CHP	8	2	Baaskoormus
7	Sillamäe CHP	94	18	Baaskoormus
8	Kuresaare CHP	9.6	2.4	Baaskoormus

Antud nimekirjas on ainult üks koostootmisjaam, mis töötab poolkoormusega, see on VÄO 2. Selleks, et tõsta koostootmisjaama kasutegurit ja olla konkurentsivõimeline, tuleb leida ning kasutusele võtta uus tehnoloogia. Lahenduseks võibki olla soojuse salvestamine ehk akumulatsioonipaakide paigaldamine ja kasutamine koostootmisjaamades.

Töö järgmises osas püüab autor hinnata soojuse salvestamise vajadust ning pakkuda VÄO 2 koostootmisjaama jaoks välja soojusakumulaatori sobiva mahu, ning analüüsib, kuidas suurendaks akumulatsioonipaagi kasutamise jaama majanduslikku efektiivsust.

4.2 Tallinna kaugküttesüsteem

Kaugkütet kasutatakse kõikides suurtes Eesti linnades nagu Pärnu, Narva, Tartu ja Tallinn. Igal aastal ehitatakse nii meie pealinnas kui ka teistes linnades rohkesti hooneid, mis tuleb kaugküttevõrku ühendada.

Tallinnas on viimase 10 aasta jooksul ehitatud 2 kõrgtehnoloogilist koostootmisjaama, mis varustavad linlasi soojus- ja elektrienergiaga. Praegu ehitatakse Mustamäe piirkonda veel üht jaama. Need faktid lubavad autoril väita, et kaugküttele on helge tulevik ja head arenguperspektiivid.

Tallinna kaugküttesüsteemil on enam kui 50 aasta pikkune ajalugu. Mõnede andmete kohaselt pärineb kaugküte Eesti pealinnas 1959. aastast, mil kaugküttega ühendati esimene maja Kentmanni tänaval. Nüüdseks on Kentmanni tänaval ühendatud kaugküttevõrguga kõik majad.

Suurim ettevõtte, mis pakub Tallinnas kaugkütteenust, on AS Utilitas Tallinn. Ettevõttele kuulub 438 kilomeetrit soojusvõrku ning soojusenergiaga varustatakse ligikaudu kaht kolmandikku Tallinna linnast ja ka Maardu linna, ehk kokku umbes 3873 maja.

Lihtsama hoolduse ja kontrolli tagamiseks ning kaugküttesüsteemi olukorra jälgimiseks on Tallinna linna soojusvõrgud jaotatud järgmisteks osadeks: Lääne piirkonna soojusvõrgud (SVLP), Kesklinna soojusvõrgud (KSVR), Lasnamäe soojusvõrgud (LSVR). Kõik piirkonnad on üksteisega seotud, tänu millele on võimalik transportida soojust ühest piirkonnast teise.

Kui võtta aluseks, et torustiku kogupikkus 438 km on 100%, siis 59,8% neist on paigaldatud kanalisse, 36% on eelisooleeritud torud ja ülejäänud 4,2% on õhutrassid. Juba rohkem kui 20 aastat kasutab AS Utilitas Tallinn eelisooleeritud torusid. See uudne toruisolatsioon viis võimaldab vähendada soojuskadusid poole võrra.

Keskmine soojuse tarbimine on umbes 0,2 MWh/m². Selleks, et toota nii suurt hulka soojusenergiat, peab olema tagatud koostootmisjaamade ja katlamajade ladus töö ning pidev reguleerimine vastavalt muutuvatele vajadustele. Soojusvõrgu parameetrite reguleerimiseks kasutatakse kvalitatiivseid ja kvantitatiivseid meetodeid, st reguleerimine toimub temperatuuri ja vee kulu abil. Antud meetodeid kasutades on võimalik planeerida ja reguleerida süsteemi, sh ka soojusallikaid.

4.2.1 Soojuskandja

Vett kasutatakse Tallinna kaugküttevõrkudes alatest nende rajamise esimesest päevast. Vett on me maal väga palju, sel on head füüsikalised omadused ja – mis kõige tähtsam – vesiküte on keskkonnasäästlik.

Vee kõige tähtsam omadus on erisoojus. Erisoojus (ka erisoojusmahtuvus) on füüsikas soojushulk, mis on vajalik ühikulise massiga ainekoguse temperatuuri tõstmiseks 1 kraadi võrra. Vesi võib absorbeerida palju soojust. Vee erisoojus on umbes 4200 J/(kg*°C), see on üks suurimaist näitajatest teiste vedelikega võrreldes.

Selles töös käsitleb autor üksnes neid akumulatsioonpaake, milles on võimalik kasutada soojuskandjana kuuma deaereeritud vett. Akumulatsioonipaagid valmistatakse metallidest. Selleks, et valida akupaagi valmistamiseks õige materjal, peab teadma, millised vee parameetrid on olulisimad.

Tabelis 4.3 on toodud AS Utilitas Tallinn veerežiimi normid. Kõige tähtsamad parameetrid on karedus, rauaühendid, hõljumi sisaldus, süsihappegaas, hapnik, happesus ja karbonaatne indeks.

Tabel 4.3 AS Utilitas Tallinn veerežiimi normid

Nr	Parameeter	Ühik	Lisavesi	Võrguvesi
1	Karedus	mg-ekv/l	< 0,02	< 0,036
2	Rauaühendid	mg/l	< 0,5	< 0,5
3	Hõljumi sisaldus	mg/l	< 0,5	< 1,0
4	Süsihappegaas	mg/l	0	0
5	Hapnik	mg/l	< 0,02	< 0,02
6	pH (happesus)		9,0 – 10,0	9,0 – 10,0
7	Karbonaatne indeks	(mg-ekv/l) ²	≤ 0,5	≤ 0,5

ALLIKAS: (Lisa 3)

Tabelis 4.4 on toodud koostootmisjaamadest ja katlamajadest väljuva vee keskmised temperatuurid, sõltuvalt välistemperatuuridest. Antud tabelist näeme, et maksimaalse ja minimaalse veetemperatuuri vahe on 62 °C.

Tabel 4.4 Keskmine veetemperatuur sõltuvalt õhutemperatuuridest

Õhutemperatuur (°C)	Veetemperatuur (°C)
15	73
0	78
-22	118
-32	135

ALLIKAS: (Lisa 4)

4.2.2 Tallinna kaugküttevõrgu soojusallikad

Tabelis 4.5 on toodud kõik Tallinna linna kaugküttevõrgu soojusallikad ja nende lühiiseloostus. Tallinna kaugküttesüsteemi soojusallikateks on kolm suurt katlamaja: Kristiine, Mustamäe ja Ülemiste. Ülemiste katlamaja on praegu konserveeritud ja hetkel ei tööta.

Tabel 4.5 Tallinna linna kaugküttevõrgu soojusallikad ja nende lühiiseloostus

Nr	Soojusallikas	Soojuslik võimsus (MW)	Kasutegur (%)	Kütus	Tootmise algus (aasta)
1	Mustamäe katlamaja	416	93,5	Gaas	1963
2	Kristiine katlamaja	295	95	Gaas	1973
3	Ülemiste katlamaja	238	90,7	Gaas	1962
4	koostootmisjaam VÄO 1	67	85	Puiduhake ja freesturvas	2009
5	koostootmisjaam VÄO 2	76,5	85	Puiduhake ja freesturvas	2016
6	Iru Elektriijaam	50	95	Olmejäätmed ja gaas	1978

ALLIKAS: (Lisa 1)

Ülejäänud katlamajad toodavad 43% kogu soojuse tarbimisest. Soojust, mis on vajalik ülejäänud koormuse katmiseks, ostab ettevõtte AS Utilitas Tallinn VÄO 1 ja VÄO 2 koostootmisjaamadest, Iru Elektriijaamast ja Iru prügiplokkidest. Selleks on kindel järjekord:

1. VÄO 1
2. Iru prügiplakk
3. VÄO 2
4. Katlamajad (Kristiine ja Mustamäe) ja Iru Elektriijaam

Tallinna kaugküttesüsteemides kasutatakse järgmised soojusallika liigid:

- Jaamad, mis töötavad põhikoormusega, ehk kogu aasta, sh Iru prügiplakk ja koostootmisjaam VÄO 1.
- Jaamad, mis töötavad tippkoormusega (Iru Elektriijaam, Mustamäe ja Kristiine katlamajad).
- VÄO 2 koostootmisjaam, mis on näha fotol 4.1. See jaam ei tööta kogu aasta põhikoormusega ning toodab soojust ainult kevadel, sügisel ja talvel.

Praegu plaanib AS Utilitas Tallinn paigaldada CHP VÄO 2 juurde jahutid, et oleks võimalik töötada baaskoormusega ka suvel. Jahutitest räägitakse töö järgmises osas.

Foto 4.1 Vão 2 koostootmisjaam



Allikas: [22]

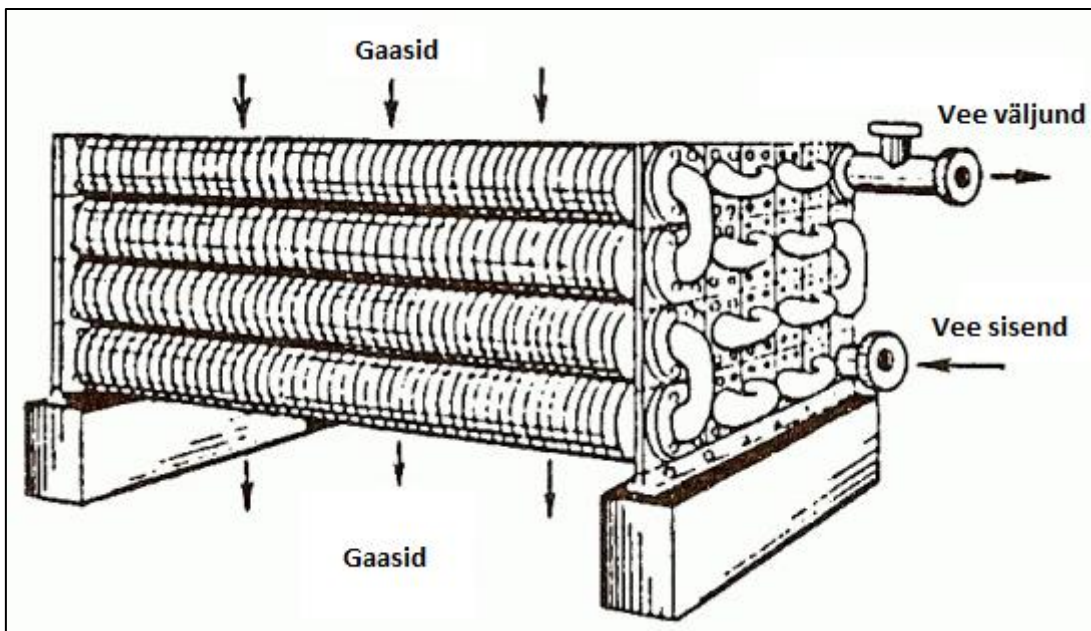
Esimene hakkepuitu kasutatav elektri ja soojuse koostootmisjaam VÄO 1 ehitati 2009. aastal. Jaama soojuslik võimsus on 67 MW ja elektriline võimsus 25 MW. Teine koostootmisjaam VÄO 2 valmis 2016. aasta sügisel. Jaama soojuslik võimsus koos ökonomaiseriga on 76,5 MW ja elektriline võimsus 21,4 MW.

Kokku katavad need kaks jaama ligi 45 % Tallinna kaugküttevõrgu aastasest vajadusest. Sama protsessi käigus toodetud elektrist piisab enam kui 130 000, ehk kõigi Tallinna kaugküttevõrguga ühendatud korteri elektritarbimise rahuldamiseks.

VÄO 2 koostootmisjaama on paigaldatud ökonomaiser ehk toitevee eelsoojendi. Ökonomaiser lisab soojusvõimsust kuni 18 MW. Ökonomaiser on katlaagregaadi element, milles väljuva põlemisgaasiga soojendatakse tagastuvat vett, enne kui see katlasse jõuab.

Joonisel 4.1 on näidatud, mis ökonomaiser endast täpsemalt kujutab. Mitu toru on ühendatud kimpu. Vesi siseneb ja voolab torudes, mida samal ajal kuumad gaasid kuumutavad. Vesi võtab selle soojuse vastu ja suunatakse katlasse.

Joonis 4.1 Ökonomaiser



Allikas: [23]

4.2.3 Koostootmisjaamade rajamine

Veel 10 aastat tagasi polnud koostootmisjaamade rajamine soojus- ja elektrienergia üheaegseks tootmiseks Eestis nii populaarne kui tänasel päeval. Probleem oli selles, et 2008. aastal olid toetused nende ehitamiseks väikesed.

CHP jaamades toodetud elektrienergia hind oli 51,77 EUR/MWh, mis sisuliselt võrdub tootmiskuludega. See oli peamine põhjus, miks nende kahe olulisima energialiigi tootmiseks ei rajatud koostootmisjaamu.

Euroopa Liidu eesmärgid ja poliitika on suunatud taastuvenergiaallikate kasutamise suurendamisele. Vastavalt Euroopa Liidu arendusplaanidele peab Eestis 2020. aastal olema 20% kogu tarbitud elektrienergiast toodetud taastuvenergia ressursse kasutades.

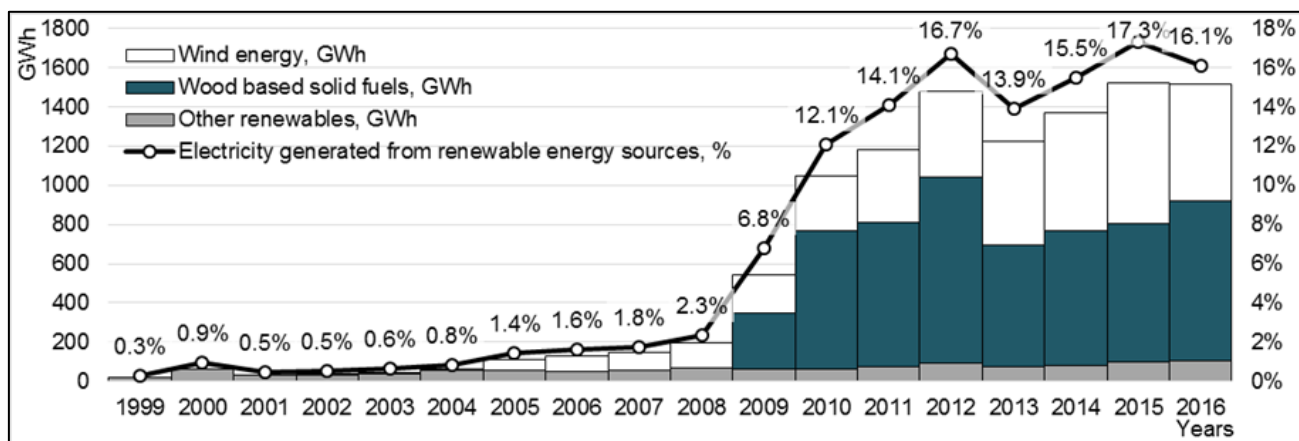
Nimetatud eesmärgi saavutamiseks tuli aga toetuspoliitika üle vaadata. Eesti Vabariigi valitsus otsustas teha toetuskeemides muudatusi. Pärast 2007. aastat tehti toetuskeemides vajalikud muudatused, mis puudutasid elektrienergia tootmist kasutades taastuvenergiaallikaid ja ehitades koostootmisjaamu.

Seoses uute toetuskeemidega müüakse elektrienergiat, mis on toodetud kasutades taastuvaid kütuseid (sh biokütusel töötav CHP), börsil. Tootja saab müüdud energia eest raha ja lisaks preemiat, 0,0537 €/kWh.

Muudatuse efekt oli üsna suur, taastuvenergia allikate kasutamine suurenes 14 % võrra: aastal 2008 oli see näitaja 2,3 %, 2016. aastal aga juba 16,1 %. Statistiliste andmete kohaselt oli sama näitaja 2007. aastal 1,8 %. Koostootmisjaamades kasvas soojusenergia tootmine 2007–2016 aastatel 1800 GWh. Samal ajal muutus taastuvkütuse kasutamine katmajades ja koostootmisjaamades. Kui 2007 aastal taastuvkütuse kasutamine oli 26 % ja 6 %, siis 2014. aastal olid samad näitajad 34 % ja 50 %. [12]

Suurtes Eesti linnades, kus kasutatakse kaugkütet ja soojust tarbitakse palju, olid ehitatud uued koostootmisjaamad. Graafikult 4.3 näeme, kuidas toimus elektrienergia tootmise muutumine taastuvenergia allikaid kasutades.

Graafik 4.3 Energiakogus, mis toodeti kasutades taastuvenergia allikaid



4.2.4 Jahutid

Käesoleva töö teises osas räägiti sellest, et kui CHP jaamas on kasutatud soojuse salvestamise tehnoloogia, annab see suurt majanduslikku kasu. Ent on ka teine meetod, kuidas vähendada soojuse ja elektri tootmise omavahelist sõltuvust – selleks on suure jahuti või soojusvaheti kasutamine.

On olukordi, mil jahuti kasutamine on õigustatud: elektri börsihind on väga kõrge, soojuse tarbimine on väga väike, või ka mingi muu põhjus. Sellisteks juhtudeks on võimalik paigaldada

koostootmisjaama suured õhk-vesi soojusvahetid, et alandada tagastuva vee temperatuuri. See lahendus võimaldab soojust utiliseerida, kui seda parajasti vaja ei ole, samas kui elektri tootmine jäetakse samale tasemele.

Eestis on üks CHP jaam (Pärnus), kuhu 2010. aastal paigaldati spetsiaalsed jahutid võimsusega 36,5 MW. Koostootmisjaama kasutegur sõltub kasutatava vee temperatuuridest, kui temperatuur on liiga suur, siis tuleb koormust vähendada.

Suvel, kui soojuste tarbimine ei ole nii suur, kasutatakse jahuteid tagastuva vee temperatuuri alandamiseks. Kui jahutid on töös, siis võib koostootmisjaam töötada kogu aasta täiskoormusega ja toota maksimaalse hulga elektrienergiat. Fotol 4.2 näemegi neid jahuteid. [13]

Foto 4.2 Pärnu CHP jahutid



Allikas: [24]

Kõik süsteemid vajavad uuendamist, et suudaksid tulevikus konkureerida teiste süsteemide ja tehnoloogiatega, seega tuleb pidevalt uuendada ka kaugküttesüsteemi. Kaugküttesüsteemide puhul on palju konkurente, kes kasutavad gaaskütet, lokaalkütet või elektrikütet.

Viimase nelja aasta jooksul on teadusringkondades räägitud palju sellest, et tulevikus kavandatakse rakendada neljanda põlvkonna kaugkütet, sh nutikaid soojusvõrke. Neil on oluline roll tuleviku küttesüsteemides, kus eesmärgiks on saada kogu vajaminev energia taastuvenergiaallikatest. Sellistes süsteemides on erilisel kohal koostootmisjaamad. Linnade ja väiksemate asulate soojusvarustus peab olema tagatud, kasutades vastavalt vajadusele üht või enam CHP jaama. [14]

Vaatamata sellele, et TES tehnoloogia on efektiivne ja äraproovitud, ei kasutata seda sugugi kõikides riikides, kus on olemas CHP jaamad ja laiali kasutatakse kaugkütte, näiteks Eestis, Lätis ja Leedus.

Kõik andmete analüüsid näitavad, et soojuse salvestamise tehnoloogia pakub suurt ökoloogilist ja majanduslikku kasu. Viimastel aastatel on Eesti energiakontserni huvi TES tehnoloogia vastu küll kasvanud, ent mitte ühtki akumulatsioonipaaki veel paigaldatud ei ole. Praegune situatsioon näitab, et TES-i integratsioon CHP jaamas vajab veel aega ja korralikku selgitustööd.

Soojuse salvestamise tehnoloogiat kasutatakse CHP jaamas üksnes juhul, kui jaam ei tööta baaskoormusega. Eesti pealinnas oleks perioodiks, millal kasutada akumulatsioonipaaki VÄO 2 koostootmisjaama efektiivsuse tõstmiseks, aeg, mil õhu temperatuur järsult muutub. Siis muutub ju ka soojuse tootmine ja tarbimine. Eestis on perioodid, mil temperatuur järsult langeb ja tõuseb, mai ja oktoober.

Selleks, et paigaldada koostootmisjaama juurde TES, peab olema teada võrgu tähtsaim parameeter: soojuskoormuse muutumine iga päeva ja kuu jooksul. Antud koormusi tuleb analüüsida selleks, et valida optimaalseim paakide maht.

Hooajalised koormused võivad erineda, kuna suviste ja talviste välisõhu temperatuuride vahe on tohutu. Seoses Eesti kliimaatiliste tingimustega võib välisõhu temperatuuride vahemik ühe päeva jooksul olla üle 10 kraadi. Päevane koormus varieerub seoses päikesekiirgusega ja välisõhu temperatuuriga, ent oleneb ka majade elanike harjumustest. Välisõhu temperatuur on öösel väiksem, see põhjustab soojuskoormuse muutumise. On olemas järgmised päevakoormuse karakteristikud:

- Kolm tipukoormust: päeval, hommikul ja õhtul.
- Soojuskoormus langeb keskpäeval, seoses välisõhu temperatuuri tõusuga. Antud muutused toimuvad peamiselt sügisel ja kevadel.
- Soojuskoormused ei muutu seoses nädalapäeva muutumisega.

Soojuse tootmise analüüsid näitavad, et hooajalised soojuskoormuse muutused on kõige suuremad. Keskmiselt võib sesoonne muutumine jõuda kuni 65%-ni. [15] Suurem sesoonne kõikumine toimub suvel ja talvel, st suvel on soojuse tarbimine väiksem, talvel aga suurem, võrreldes keskmise aastase soojusetarbimisega. Antud soojusenergeetilised vajadused mõjutavad soojustootmise efektiivsusele. Kõige stabiilsem periood on suvi, mil soojust kasutatakse tarbevee soojendamiseks. Kevad-suvise perioodi koormusi pole TES-i mahu arvutamisel vaja arvestada, sest need on ettearvamatud ning seepärast raske analüüsida.

Töö eelmises osas räägiti, et VÄO 2 koostootmisjaama kavatsetakse paigaldada jahutid, järgmises osas püüab autor analüüsida, kas on majanduslikult otstarbekas kasutada neid jahuteid koos akumulatsioonipaakidega.

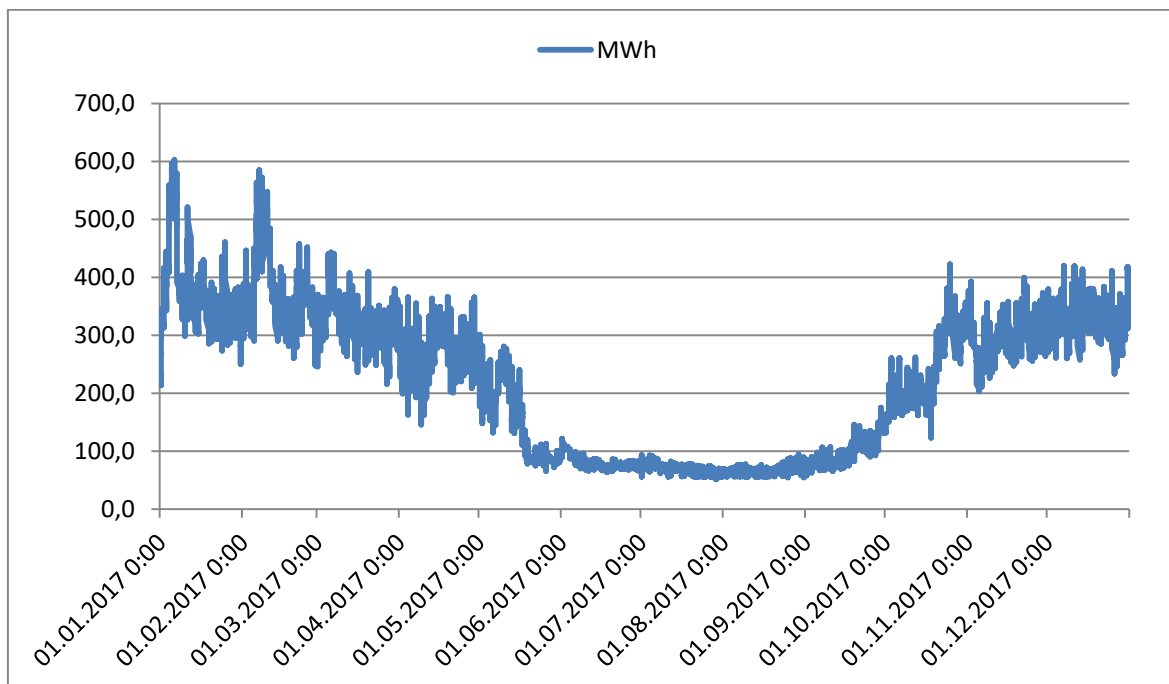
5. METOODIKA

Selleks, et saada tulemused oli vaja teha simulatsioon, kasutades spetsiaalne tarkvara. Simulatsiooni tegemiseks oli ülevaadatud ja analüseeritud neli erinevat situatsiooni: 1) CHP ilma akumulatsioonpaakita ja ilma jahutiga; 2) CHP ilma akumulatsioonpaakita ja koos jahutiga; 3) CHP koos akumulatsioonpaakiga ja jahutiga. 4) CHP akumulatsioonpaakiga ja ilma jahutiga. Simulatsioon on baseeritud järgmisel parameetril:

1. Soojusallikate igatunnine soojuskoormus, 2017 aasta jooksul (graafik 5.1)
2. Elektri igatunnine börsihind, 2017 aasta jooksul (graafik 5.2)
3. Akumulatsioonpaakide maksumus (graafik 5.3)
4. Kaugküttevõrgu plokkskeem (skeem 5.1)
5. Soojusallika käitumise järjekorras (antud tabelis 5.1, töö 4 osas)

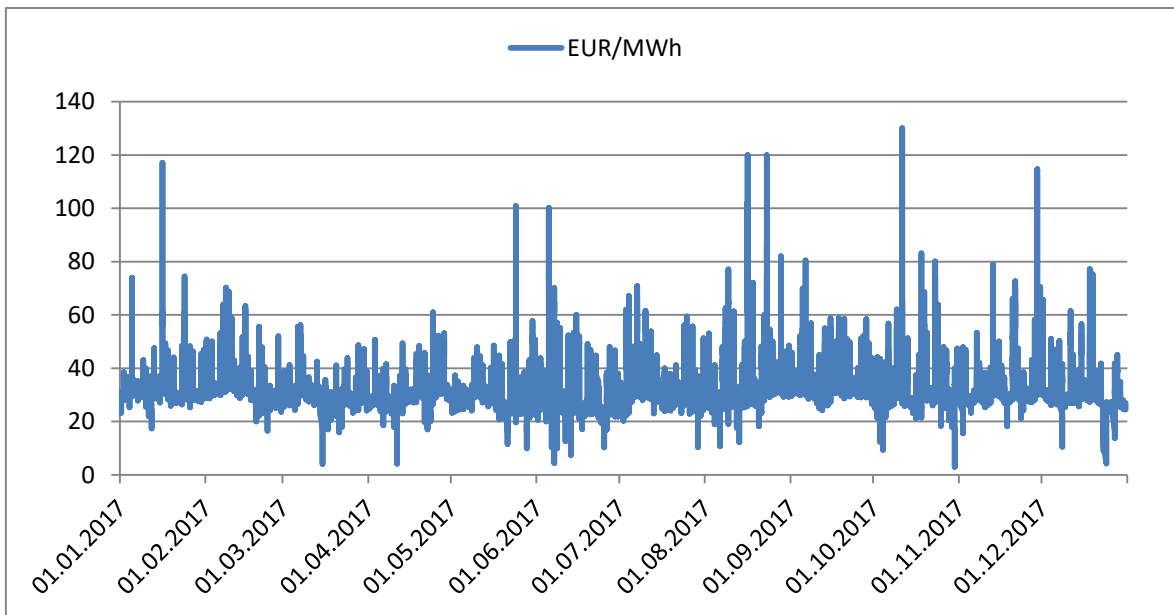
Graafikus 5.1 on näidatud Tallinna soojusvõrgu allikate igatunnine soojuskoormus. On võimalik ütelda, et kui soojusenergia tootmine on suurunenud, siis tarbimisega toimub samsugune protsess. Antud graafiku järgi on hästi näha, et soojusenergia tarbimine on kõrgel tasemel alates oktoobrist kuni aprillini. Pärast soojuskoormus järsult muutub. Koormus langenud kahekordselt.

Graafik 5.1 Iगतunnine soojuskoormus, 2017 aasta jooksul



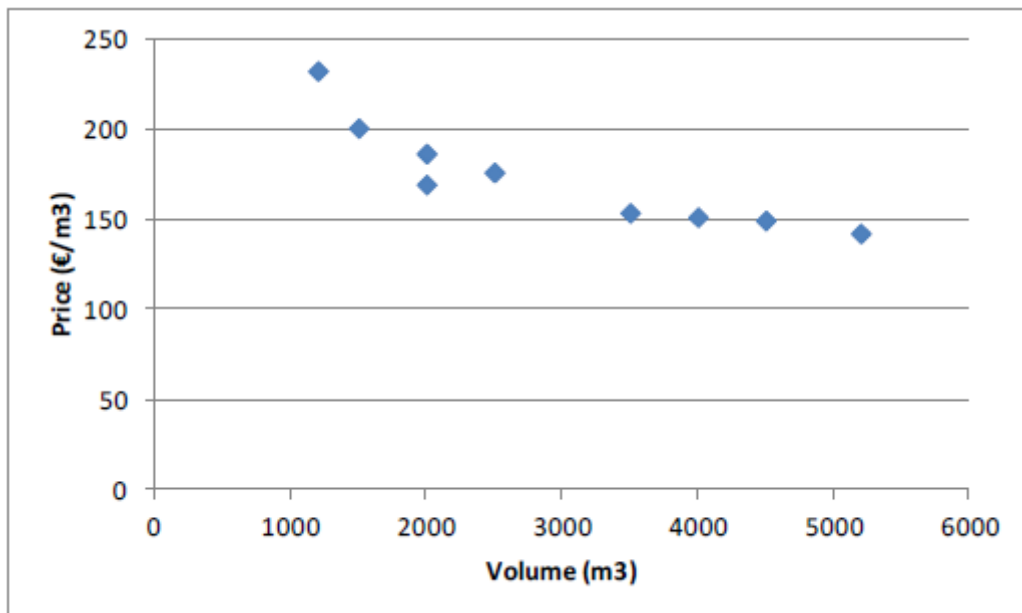
Graafikus 5.2 on näidatud elektri igatunnine börsihind, 2017 aasta jooksul. On võimalik ütelda, et minimaalne hind on umbes 3 EUR/MWh ja maksimaalne 130 EUR/MWh.

Graafik 5.2 Elektri igatunnine börsihind



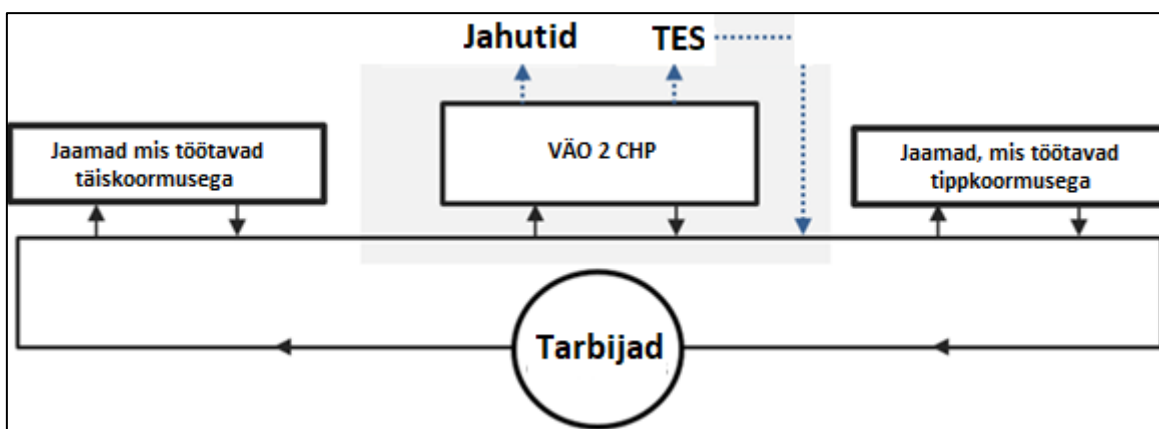
Graafikus 5.3 on näidatud akumulatsioonipaakide maksumus, mis sõltub paakide mahust. On võimalik näha, et hinnad varieeruvad, kui paakide maht on väike siis hind on umbes 230 EUR/m³. Kui paakide maht suur, siis hind väheneb ja võib võrduda 145 EUR/m³. [16]

Graafik 5.3 Akumulatsioonipaakide maksumus EUR/m³



Skeemis 5.1 on antud kaugküttevõrgu plokk skeem, kui jahutid on paigaldatud. Antud skeem oli kirjeldatud 4 osas ja tabelis 5.1.

Skeem 5.1 Kaugküttevõrgu plokk skeem



Skeemis 5.1 on võimalik näha kaugküttevõrgu plokk skeem. Antud kaugkütte süsteemidele oli käsitletud kaks stsenaariumid: A ja B

A. Elektrienergia, mis on toodetud CHP jaamas kasutades taastuvenergia allikad on toetatakse olemasoleva tariifi järgi. Kõik toodetud soojus, mis ei saa kasutada või salvestada tuleb utiliseerida kasutades jahutid. Antud stsenaariumi lühikirjeldus on näidatud tabelis number 10. Tabeli järgi on näha, et on olemas 3 koormuse tüüpid: tippkoormus, baaskoormus ja poolkoormus.

Tabel 5.1 A stsenaariumi lühikirjeldus

No	Koormus	Akupaak			Strateegia	Jahutid	Tipukatlad
		Täis	Pooltäis	Tühi			
1	Tippkoormus	Jah	-	-	CHP töötab baaskoormusega, toimub akupaakide tühjakslaadimine	Ei	Ei
2	Tippkoormus	-	Jah	-	CHP töötab baaskoormusega, toimub akupaakide tühjakslaadimine. Kui paak on tühi, siis kasutatakse tipukatlad	Ei	Ei/Jah
3	Tippkoormus	-	-	Jah	CHP töötab baaskoormusega, kasutatakse tipukatlad	Ei	Jah

4	Baaskoormus		-	-	CHP töötab baaskoormusega, akupaak ei kasuta	Ei	Ei
5	Baaskoormus	-	Jah	-	CHP töötab baaskoormusega, akupaak ei kasuta	Ei	Ei
6	Baaskoormus	-		Jah	CHP töötab baaskoormusega, akupaak ei kasuta	Ei	Ei
7	Poolkoormus	Jah		-	CHP töötab baaskoormusega, kasutatakse jahutid	Jah	Ei
8	Poolkoormus	-	Jah	-	CHP töötab baaskoormusega, toimub akupaaki laadimine. Kui akupaak on täis siis kasutatakse jahutid	Ei/Jah	Ei
9	Poolkoormus	-		Jah	CHP töötab baaskoormusega, toimub akupaaki laadimine	Ei	Ei

1. Vaatame üle antud tabel, positsioonid 1, 2 ja 3. Kui Tallinna linna hoonete soojuskoormus on suurem, kui CHP tootmis ja akumulatsioonipaak on täis, siis on võimalik kasutada salvestatud soojust ja ei ole vaja sisse lülitada tipukatlad. Kui akumulatsioonipaak on tühi, siis tuleb lülitada sisse katlamajad. Juhul, kui akumulatsioonipaak on pooltäis on võimalik seda kasutada ja pärast lülitada sisse tipukatlad.

2. Vaatame üle antud tabel, positsioonid 4, 5 ja 6. Kui Tallinna linna hoonete soojuskoormus võrdub CHP tootmisega ja akumulatsioonipaak on täis, siis paaki, jahutid ja tippukatlad ei kasuta. Kui akumulatsioonipaak on tühi, siis paaki, jahutid ja tippukatlad ei kasuta. Juhul, kui akumulatsioonipaak on pooltäis, siis seda ka ei kasuta.

3. Vaatame üle antud tabel, positsioonid 7, 8 ja 9. Kui Tallinna linna hoonete soojuskoormus on väiksem, kui CHP tootmis ja akumulatsioonipaak on täis, siis jaam jätkab oma töö baaskoormusega, aga ülejäänud soojust utiliseeritakse kasutades jahutid. Kui akumulatsioonipaak on tühi, siis on võimalik ülejaanud soojust salvestada. Juhul, kui akumulatsioonipaak on pooltäis, siis on võimalik seda laadima ja pärast laadimist tuleb kasutada jahutid.

B. Toodetud elektrienergia toetakse ainult juhul, kui kasutatakse kõik toodetud soojus. Antud juhul CHP jaam võib töötada juhul, kui soojusenergia on võimalik kasutada või salvestada. Antud stsenaariumi lühikirjeldus on näidatud tabelis 5.2.

Tabel 5.2 B stsenaariumi lühikirjeldus

No	Koormus	Akupaak			Strateegia	Tipukatlad
		Täis	Pooltäis	Tühi		
1	Tippkoormus	Jah	-	-	CHP töötab baaskoormusega, toimub akupaakide tühjakslaadimine	Ei
2	Tippkoormus	-	Jah	-	CHP töötab baaskoormusega, toimub akupaakide tühjakslaadimine. Kui akupaak on tühi, siis lülitakse sisse tipukatlad	Ei/Jah
3	Tippkoormus	-	-	Jah	CHP töötab baaskoormusega, kasutatakse tipukatlad	Jah
4	Baaskoormus	Jah	-	-	CHP töötab baaskoormusega, akupaak ei kasuta	Ei
5	Baaskoormus	-	Jah	-	CHP töötab baaskoormusega, akupaak ei kasuta	Ei
6	Baaskoormus	-	-	Jah	CHP töötab baaskoormusega, akupaak ei kasuta	Ei
7	Poolkoormus	Jah	-	-	CHP koormus tuleb madalada akumulatsioonipaaki ei kasuta	Ei
8	Poolkoormus	-	Jah	-	CHP töötab baaskoormusega, toimub akumulaatori laadimine. Kui akupaak on täis siis tuleb CHP koormus madalada	Ei
9	Poolkoormus	-	-	Jah	CHP võib töötada baaskoormusega, toimub akumulaatori laadimine	Ei

1. Vaatame üle antud tabel, positsioonid 1, 2 ja 3. Kui Tallinna linna hoonete soojuskoormus on suurem, kui CHP tootmis ja akumulatsioonipaak on täis, siis on võimalik kasutada salvestatud soojust ja ei ole vaja sisse lülitada tipukatlad. Kui akumulatsioonipaak on tühi, siis tuleb lülitada sisse katlamajad. Kui paak on pooltäis, siis on võimalik kasutada salvestatud soojust ja pärast lülitada sisse tipukatlad.

2. Vaatame üle antud tabel, positsioonid 4, 5 ja 6. Kui Tallinna linna hoonete soojuskoormus võrdub CHP tootmisega ja akumulatsioonipaak on täis, siis paaki ja tippukatlad ei kasuta. Kui akumulatsioonipaak on tühi, siis paaki ja tippukatlad ei kasuta. Kui paak on pooltäis, siis seda ei kasuta.

3. Vaatame üle antud tabel, positsioonid 7, 8 ja 9. Kui Tallinna linna hoonete soojuskoormus on väiksem, kui CHP tootmis ja akumulatsioonipaak on täis, siis jaama koormus tuleb madalada. Antud juhul akumulatsioonipaak ja tipukatlad ei kasuta. Kui akumulatsioonipaak on tühi, siis CHP võib töötada baaskoormusega, ning toimub paakide laadimine. Kui akumulatsioonipaak on pooltäis, siis on võimalik seda laadima ja pärast madalada CHP soojuskoormus.

5.1 EnergyPro programm

Selleks, et ülevaadata akumulatsioonipaakide kasutus VÄO 2 koostootmisjaamas ja Eesti suuremas kaugküttevõrgus, oli kasutatud EnergyPro programm. Simulatsiooni jaoks olid võtnud kõik vajalik võrgu ja CHP andmed, ning parameetrid.

EnergyPro on spetsiaalne ja kasulik programm, mis kasutatakse selleks, et modeleerida, optimeerida ja analüüsida erinevaid jaamad (katlamajad, elektrijaamad, koostootmisjaamad), muud seaded (jahutid, soojuspumbad, tuulikud, päikesepatareid ja akumulaatoreid), ning süsteemid (kaugküttesüsteem ja elektrienergiastüsteem).

EnergyPro programmi abil on võimalik teha koostootmisjaama tehnilise-majanduslik analüüs. Samal ajal seal on võimalik arvutada erinevaid salvestamise tehnoloogiad (soojust, elektrit, külma ja kütust).

Selleks, et oli lihtsam informatsiooni lisada, on olemas järgmised põhilised moodulid. Antud moodulite abil on võimalik visualiseerida erinevaid jaamade tüüpe, mis kasutavad fossiilne kütus, või taastuvad energiaallikad:

- Disain – kasutatakse selleks, et teha energeetilised teisendused ja arvutama aastatulu
- Finantsid – kasutades investitsioonid ja projekti maksumus, on võimalik teha projektide majanduslikud arvutused ja rahavoogude aruanded
- Arved – kasutatakse selleks, et arvutada projektiga seotud põhivara amortisatsiooni ja erinevaid maksud, ning annab detailine informatsioon projekti tuludest ja kuludest.

Operatsioon – antud modul kasutatakse selleks, et modelleerida erinevaid süsteemid ja uurida kuidas toimub koostootmisjaama töö. Samal ajal on võimalik muuta sisestatud andmed, et optimeerida protsessid.

5.3 Majanduslikud näitajad

Kasutades simulatsiooni tulemused oli saadud põhilised majanduslikud näitajad: tulud ja kulud. Allpool esitatud asjaoludest lähtuvalt on võimalik võrrelda erinevaid stsenaariumid. Projektide realiseerimine on aega- ja vaevanõudev töö ja enne kui investeerima raha, tuleb analüüsida ja hinnata tehnilised, sotsiaalsed, ökoloogilised, finantsilised ja majanduslikku aspektid. Projektide analüüs on peamine uurimistöö, mis peab tegema projekti algataja. Projektide analüüsi eesmärgid on:

1. Riskide hindamine
2. Projekti mõistlikkuse määramine
3. Eelarve koostamine
4. Optimaalse investeeringute summa valimine

Analüüside meetodid jagunevad kaheks gruppideks: dünaamilised ja staatilised. Tavaliselt nende tulemused ja kasutatud muutujad põimuvad, vaid on olemas ka erinevused. Meetodi valem on seotud olemasoleva ajaga, projekti keerulisega ja välisfaktoritega.

Tavaliselt, selleks et uurima kas tulevikku projekt on võimalik realiseerida või mitte, tuleb rakendada kaks nimetatud meetodid. Saadud analüüs on mugavam, informatiivsem ja kasulikum. Uurimise protsess võib võtta aastaid.

Staatilised meetodid on lihtsamad, mis seletab nende laialdane kasutamine. Siin kasutatakse kõik arusaadav ja selged näitajad. Staatilises meetodis ei arvesta ajafaktorit ja tulevad tulemused on teoreetilised.

Iga projekt iseloomustatakse järgmise parameetrite järgi:

1. Eesmärk
2. Maksumus ja eelarve
3. Elutsükkel

Projekti võib vastu võtta, kui ta toob tulu. Enne, kui raha kätte saada, tuleb need kulutada, ehk investeerida. Investeerimine on pikaajaline raha kogumine, mille põhieesmärgiks on teenida paigutatud raha arvel täiendavat tulu. Kõik investeeringud on võimalik jagada kahte gruppi:

1. Finantsinvesteeringud (nt. väärtpaberit)
2. Reaalinvesteeringud (nt. põhivara, käibevara, kinnisvara)

Kõige vajalik informatsioon investorite jaoks on, kas ja millal nad tagastavad oma investeeringud, ning saavad tulu. Tabelis 5.3 on antud finantsmeetodite valemid, mis oli kasutatud selleks, et arvutada projekti mõistlikkus. Selleks, et arvestama, kas projekti investeerimine on ratsionaalne või mitte, kasutavad järgmised finantsmeetodid:

1. Tasuvusaeg (PP)
2. Arvestusliku rentaabluse meetod (ARR)
3. Nüüdispuhasväärtus (NPV)
4. Kasumiindeks (PI)
5. Sisemine rentaablus (IRR)

Tabel 5.3 Finantsmeetodite põhilised parameetrid, valemid ja omadused

No	Nimetus	Kirjeldus	Valem
1	C _{Ft}	Rahavoog antud aegadel t	
2	I ₀	Investeeringute algsumma	
3	CF _{cr}	Puhas tulu	
4	NCF	Puhas rahavoog antud momentides	
5	d	Diskontmäär	
6	n	Ajavahemik	

7	Tasuvusaeg (PP)	Aeg mille jooksul investorid tagastavad investeeritud raha	$PP = \frac{I_0}{CF_{cr}}$ kus I_0 – investeringu algsumma, EUR, CF_{cr} – puhas tulu, EUR
8	Arvestusliku rentabluse meetod (ARR)	Näitab, kui palju annab investeringu keskmist tuluinvesteringu kogu kasuliku eluea jooksul	$ARR = \frac{CF_{cr}}{I_0}$ kus I_0 – investeringu algsumma, EUR, CF_{cr} – puhas tulu, EUR
9	Nüüdispuhasväärtus (NPV)	See on tagastuvate puhasrahavoogude summa ja investeringu esialgsete kulude vahe	$NPV = \sum_{i=1}^n \frac{NCF}{(1-d)^i}$ kus NCF – Puhas rahavoog antud momentides, EUR, d – diskontmäär %
10	Kasumiindeks (PI)	See on tulevaste rahavoogude nüüdisväärtuse suhe investeringu algsuurusse.	$\frac{IL}{1+d}$ kus IL – investeringult laekuv rahavo summa, EUR, d – vastav diskontomäär, %
11	Sisemine tasuvuslävi (IRR)	Näitab, kui suurt tulu saab investee-ringuobjekti paigutatud rahalt	$\sum_{t=0}^n \frac{CF_t}{(1+IRR)^t} = 0$ kus CF_t – rahavoog antud aegadel, EUR,

5.3.1 Sensitiivanalüüs

Igal projektil on olemas algarvanded, mille abil saavad lõpptulemused. On olemas üks meetod, mis annab võimalust hindada kuidas projekti lähteandmete muutmine mõjutab saadud andmete, sel tingimustel, kui kõik ülejäänud andmed on muutumatud. Seda meetod nimetatakse sensitiivanalüüsiks. Analüüsi eesmärkideks on:

1. Testida projekt, kui olukord muutub.
2. Paremini mõista projekt.
3. Otsida projektide nõrgad küljed.

Sensitiivanalüüsi teostamises tuleb järgida algoritmi:

1. On vaja arvestada baasstsenaariumi lõpptulemused.
2. On vaja arvestada lõpptulemused, kui üks parameeter on muutunud.
3. On vaja arvestada kuidas protsentuaalselt muutusid algarvanded ja lõpptulemus baasstsenaariumi suhtes.

4. On vaja arvestada sensitiivsuse aste kasutades spetsiaalne valem.

Sensitiivanalüüsi valem on järgmine:

$$Se = \frac{Am}{Lm}$$

kus Se – sensitiivus, %,

Am – Algparameetrite protsentuaalne muutumine, %,

Lm – Lõpptulemuste protsentuaalne muutmine, %.

Akumulatsioonipaakide paigaldus peab olema mõistlik ja hästi arvestatud. Algparameetrik on võimalik võtta soojuse hinnad lõpptarbijatele, aga lõpptulemuseks paakide tasuvusaeg. Soojuse hinnad võivad kiiresti muuta, sest et nad sõltuvad erinevatest parameetritest. Praegu kooskõlastatud soojuse piirhind võrdub 52,64 EUR/MWh (hind on antud käibemaksuta). Antud töös oli otsustanud teha sensitiivanalüüsi igale stsenaariumile (A ja B):

1. Kuidas muutub puhastulu, kui toimub soojuse piirhindade 10, 20, 30, 40 ja 50 protsendiline suurenemine.

2. Kuidas muutub puhastulu, kui toimub soojuse piirhindade 10, 20, 30, 40 ja 50 protsendiline vähenemine.

Selleks, et teha antud analüüsi oli kasutatud järgmised andmed, mis on toodud tabelis 5.4a kui paigaldatud akumulatsioonipaak ja jahutid, ning tabelis 5.4b kui paigaldatud ainult akumulatsioonipaak.

Tabel 5.4a Ökonoomilised näitajad, kui on paigaldatud akumulatsioonipaak ja jahutid

Paakide maht	1000	2000	3000	5000	7000	18000	30000
Müüdud elektrienergia EUR	6 093 251	6 093 251	6 093 251	6 093 251	6 093 251	6 093 251	6 093 251
Müüdud soojus EUR	13 937 439	13 963 128	13 981 163	14 010 540	14 032 810	14 083 220	14 121 763
Toetused EUR	9 849 711	9 849 711	9 849 711	9 849 711	9 849 711	9 849 711	9 849 711
Tulud kokku EUR	29 060 552	29 084 730	29 101 704	29 129 353	29 150 313	29 197 757	29 234 033
Hakkepuidu hind EUR	9 120 384	9 120 384	9 120 384	9 120 384	9 120 384	9 120 384	9 120 384
CHP 2 Operatsiooni kulud EUR	5 066 880	5 066 880	5 066 880	5 066 880	5 066 880	5 066 880	5 066 880
Kulud kokku EUR	14 187 264	14 187 264	14 187 264	14 187 264	14 187 264	14 187 264	14 187 264
Puhastulud EUR	14 873 288	14 897 466	14 914 440	14 942 089	14 963 049	15 010 493	15 046 769

Tabel 5.4b Ökonoomilised näitajad, kui on paigaldatud ainult akumulatsioonipaak

Paakide maht	1000	2000	3000	5000	7000	18000	30000
Müüdüd elektrienergia EUR	3 704 125	3 707 589	3 711 192	3 716 710	3 720 950	3 730 002	3 740 965
Müüdüd soojus EUR	13 937 439	13 963 128	13 981 163	14 010 540	14 032 810	14 083 220	14 121 763
Toetused EUR	6 078 117	6 084 596	6 091 334	6 101 724	6 109 447	6 126 054	6 145 712
Tulud kokku EUR	22 899 832	22 933 953	22 961 268	23 004 825	23 037 748	23 110 851	23 177 748
Hakkepuudu hind EUR	5 691 421	5 694 936	5 698 643	5 704 667	5 709 148	5 719 343	5 732 005
CHP 2 Operatsiooni kulud EUR	3 161 900	3 163 853	3 165 913	3 169 259	3 171 749	3 177 413	3 184 447
Kulud kokku EUR	8 853 321	8 858 790	8 864 555	8 873 926	8 880 896	8 896 756	8 916 452
Puhastulud EUR	14 046 511	14 075 163	14 096 713	14 130 899	14 156 852	14 214 095	14 261 296

5.2 Keskkonnamõju

Europa Liidus kasutatakse spetsiaalne faktor mille nimi on: primaarenergia faktor või lühidalt PEF. Antud faktor kasutatakse selleks, et võrrelda primaarenergia tarbimine, kui toimub erinevate energia liiki tootmine. Samal ajal, primaarenergia faktor näitab side primaarenergia ja saadud energia vahel.

Sekundaarenergia on toodetud kasutades erinevaid kütuse liigid:

- Fossiilne (gaas/ õli/ kivisüsi)
- Tuumaenergia
- Taastuvenergia (hüdroenergia/ päikeseenergia/ tuuleenergia/ puit)

Eestis, igale erinevate konfiguratsiooniga kaugküttesüsteemidele, PEF kalkulatsioonid on baseeritud printsiipil, mis on kirjeldatud standardis EVS-EN 15316-4-5:2007. Selleks, et teostada antud kalkulatsioonid on vaja leida ja ülevaadata kõik vajalik informatsioon statistikaametis. Kõik saadud tulemused analüseeritakse ja võrreldakse olemasoleva primaarenergia faktoriga.

Kasutades primaarenergia faktor on võimalik hindada ja võrrelda erinevad kaugkütte süsteemid. Antud faktor arvestab soojustorustiku soojuskaod ja kõik muud energia kulud, mis oli kasutatud selleks, et kütust kaevandada, ette valmistada, puhastada, töödelda ja transporteerida, et tootma soojust. [11]

On olemas side primaarenergia ja CO₂ emissioonide vahel. Emissioonide faktor ühendab, emissioonide hulk atmosfääridesse koos tegevusega, mis on seotud emissioonidega. Tabelis 5.5 on näidatud faktorite suurused.

Tabel 5.5 Emissioonide faktorite suurused

No	Allikad	Primaarenergia faktor	CO ₂ emissioonide faktor tCO ₂ /MWh
1	Maagaas	1	0.198
2	Biomass	0.75	0
3	Elekter	2	1.1

Töö eelmises peatükis, oli räägitud, et Tallinnas on olemas 3 suurt katlamajad, kus kütuseks kasutavad gaas. Kütuse põletamisel reageerib süsinik õhuhapnikuga ja tekib CO₂. CO₂ emissioonid väga halvasti mõjutavad meie elukeskkonnale.

Tippkoormuse ajal töötavad katlad on võimalik vähem kasutada, kui rakendada VÄO 2 jaamades soojusakumulaatorid. Antud ettepanek lahendab 3 suuremad probleemi: Süsihappegaasi emissioonide vähendamine, CHP jaama VÄO 2 töö stabiliseerimine ja kütusena gaasi kasutamine vähendamine.

5.4 Andmete sisestamine

Sisestatud andmed ja eeldused on järgmised:

1. VÄO 2 CHP: soojusvõimsus 58MW (Ökonomaiseriga 76MW), elektrienergia võimsus: 21MW, kütus: hakkepuid, sisaldud kütus: 87 MW. Tipukatlamajade summaarne soojusvõimsus: 900 MW, kütus: naturaalne gaas, kasutegur: 85 %.
2. Baas koormusega jaamad: VÄO 1 CHP mis töötab biomassil: soojusvõimsus 50 MW (Ökonomaiseriga 67 MW), elektrienergia võimsus: 25 MW, Iru Olmejäätmete plokk: soojusvõimsus: 50 MW.

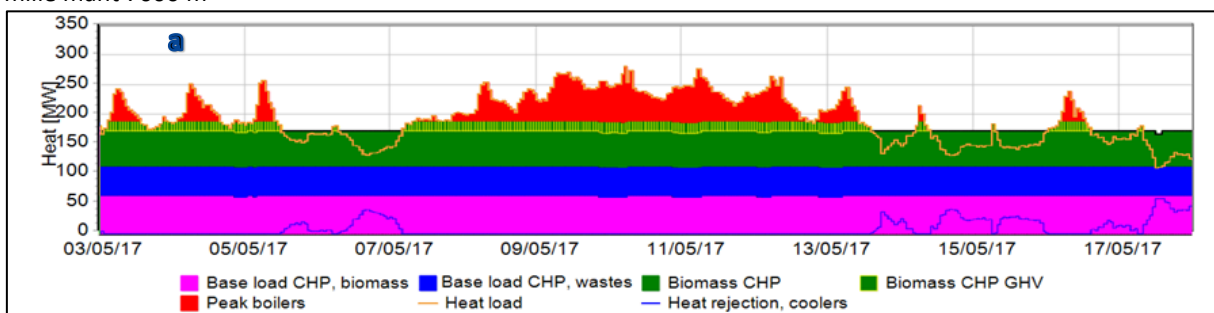
3. Soojuskormus: oli kasutatud Tallinna kaugküttevõrgu ajaloolised andmed ja on samasuugused igale stsenaariumile.
4. Akumulatsioonipaak: maht: 1000 m³ kuni 30000 m³, temperatuur paakide ülemises osas 90 °C, temperatuur paakide alumises osas 50 °C, isolatsiooni paksus 300 mm, soojusjuhtivus 0,037 W/m°C.
5. Ökonoomilised andmed: elektrienergia turuhinnad on baseeritud Nordpool ajaloolistel andmetel, FIP on 53.7 EUR/MWhel, hakkepuidu hind 12 EUR/MWhkütus, operatsiooni hind on 10 Euro/MWhth, toodetud soojuse hind on 34 EUR/MWhth, NPV oli arvatud, kui IRR = 7 % , ning arvutuse periood on 12 aastad. Paakide paigaldamise hind baseeritud on (Danish Energy Agency 2012).

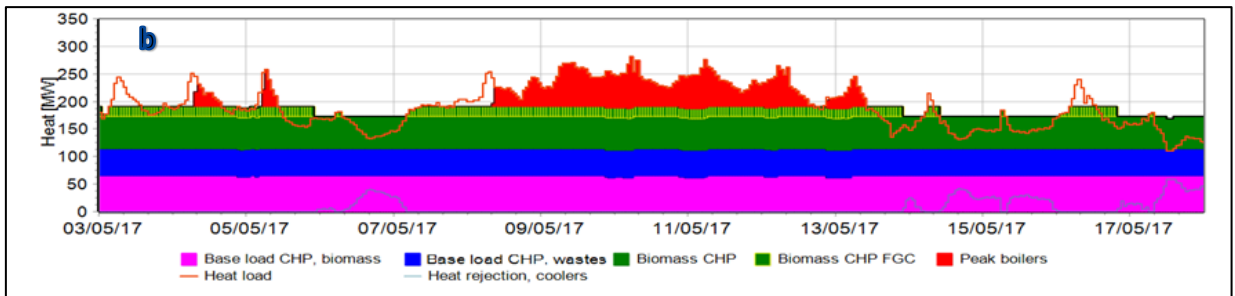
Graafikus 5.4 on näidatud, kuidas töötab CHP jaam, kui kõik toodetud elektrienergia on subsideeritud (A stsenaarium). Antud juhul, jahutid on paigaldatud selleks, et utiliseerida mittetarbitud soojust ja suurendada elektrienergia tootmine.

Kasutades EnergyPro tarkvara oli simuleeritud situatsioon, mis toimub kahe nädala jooksul mai kuus. Sellel simulatsioonil koostootmisjaam opereerib koos akumulatsioonipaakiga, või ilma akumulatsioonipaakita, mille maht on 7000 m³. Situatsioon ilma akumulatsioonipaakita on näidatud graafikus 5.4(a).

Kui koostootmisjaama juures paigaldatakse akumulatsioonipaak, graafik 5.4(b), siis on võimalik kasutada salvestatud soojust kaugküttevõrgus. See annab võimalust vähendada soojusenergia hulk, mis on utiliseeritud ja suurendada soojuse hulk, mis suunatakse kaugküttevõrku. Samal ajal, on hästi näha, et tipukatlamajad vähem kasutatakse.

Graafik 5.4 Kuidas CHP jaam opereerib ilma soojuskaumulaatorita (a) ja koos (b) soojuskaumulaatoritega, mille maht 7000 m³



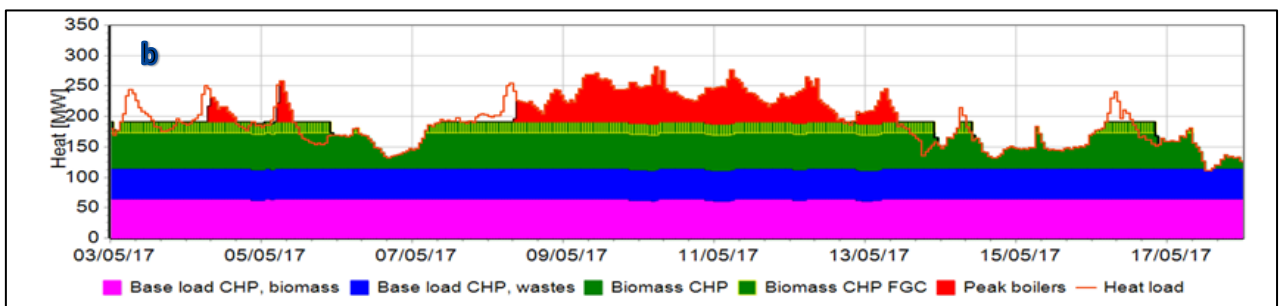
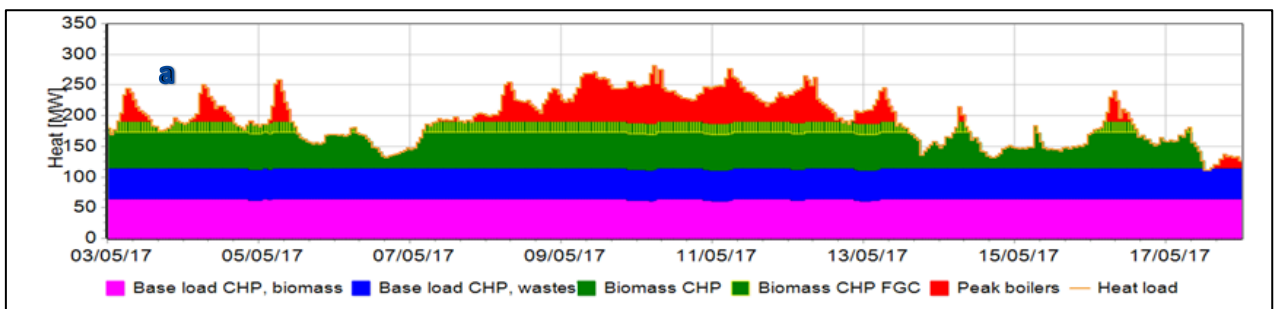


Graafik 5.5 näitab situatsioonid, kui toodetud elektrienergia on subsideeritud ainult juhul, kui jahutid ei ole paigaldatud ja kõik toodetud soojus peab olema kasutatud või salvestatud (B stsenaarium).

Kui ei ole võimalik salvestada toodetud soojust, ehk akumulatsioonpaak ei ole paigaldatud, graafik 5.5(a). Siis kaugküttevõrgu dispetšer muudab jaama soojus- ja elektrienergia tootmine. Juhul, kui soojuskoormus on suurem lülitakse sisse tipukatlamajad.

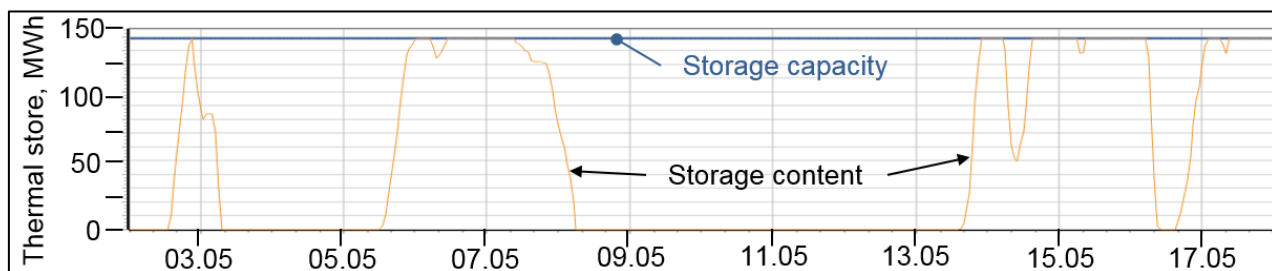
Graafik 5.5(b) näitab, kuidas antud protsess võib olla paremini toimida, kui kasutatakse TES, mille maht on 3000 m³. Kui soojuskormus on väiksem, kui koostootsijaama tootmine, siis soojust suunatakse soojuse salvestamiseks mõeldud paake. Pärast, kui soojuskoormus on suurem, kui CHP jaama võimsus, akumulatsioon paak tühjaks laaditakse. Antud protsess, annab võimalus vähem kasutada tipukatlamajad.

Graafik 5.5 Kuidas CHP jaam opireerib ilma soojuskaumulaatorita (a) ja koos (b) soojusakumulaatoritega (B stsenaarium)



Graafik 5.6 näitab kuidas toimub akumulaatorite (7000 m³) laadimine ja tühjakslaadimine. Antud näide sobib mõlemale stsenaariumile A ja B.

Graafik 5.6 Akumulaatorite laadimine ja tühjakslaadimine



6. TULEMUSED

Sedaage kalkulatsioonid baseeruvad faktidel, et TES omab positiivne efekt kogu süstemidele, seoses võimalusega salvestada soojust, kui koormused järsult muutuvad. On olemas veel variantid, millal akumulatsioonipaaki kasutamine annab kasu.

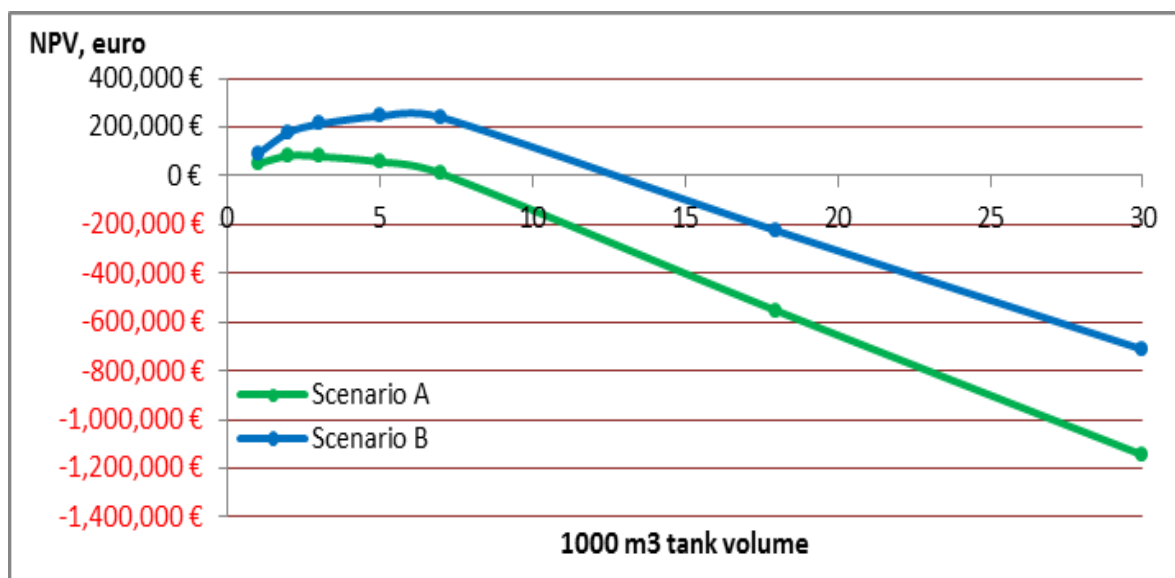
Näiteks, soojussalvestamise tehnoloogia kasutamine annab võimalust madalada koormuse muutmine, mis toimub päeva jooksul. Samal ajal kasvab kaugküttesüsteemi stabiilsus, koostootmisjaama töö muutub paindlikumaks ja efektiivsemaks.

CHP tootmine on võimalik lihtsalt muuta, kui elektrienergia böörsihinnad muutuvad. Kõik need positiivsed efektid annavad võimalused säästa kütust ja madaldama kõik teised operatsiooni kulud. Igaastane primaarenergiasääst võib jõudma 12 % ja tootmise kulude vähenemine umbes 5 %. Kasutades akumulatsioonipaakid CO₂ emissioon võib vähendada 6 %. [15]

Kõik vajalikud andmed oli sisestatud arvutisse ja antud stsenaariumid oli simuleeritud. NPV ja IRR oli välja arvatud. On võimalik näha, et A stsenaariumi järgi, akumulatsioonipaakide paigaldamine on võimalik ja mõistlik. Graafikus 6.1 on hästi näha, et paakide optimaalne maht on 2000 m³.

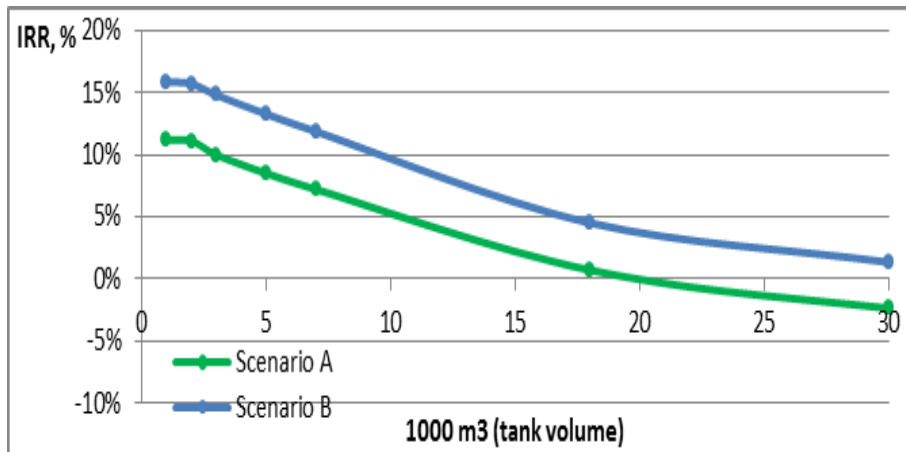
Maailma praktika näitab, et samasuguse võimsusega CHP juures, tavaliselt paigaldatakse paak mille maht on 3500 m³. Kui vaadata üle B stsenaarium, kui subsideeritud ainult elektrienergia, mis toodetakse CHP režiimis. Optimaalne TESI maht on umbes 7000 m³.

Graafik 6.1 Majanduslik indikaator NPV



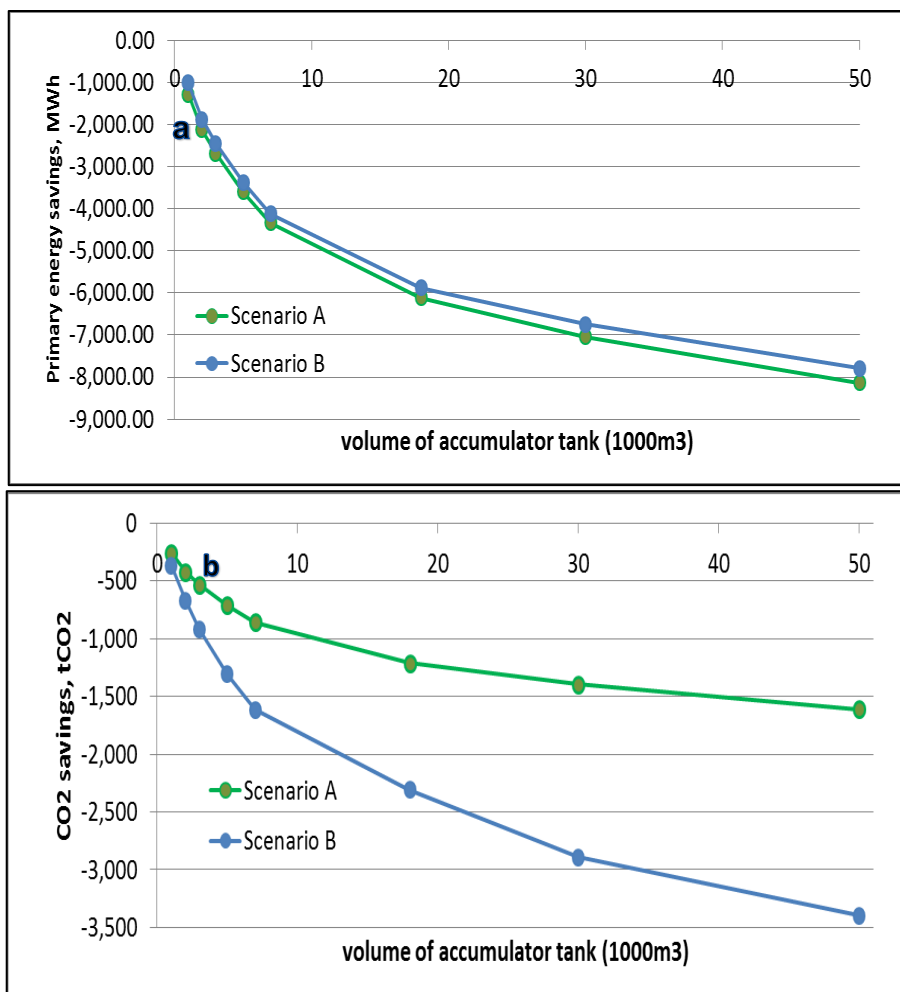
Graafikus 6.2 on näidatud iga stsenaariumi IRR. Kui võrrelda A ja B stsenaariumid, siis on näha, et B stsenaariumi IRR on suurem, kui A stsenaariumi järgi. B stsenaariumi järgi, soojus mis ei olnud utiliseeritud kasutades jahutid, aga oli salvestatud, on võimalik pärast müüa ja saada raha kätte. Samal ajal, B stsenaariumi tulu on suurem, sest et on võimalik müüa soojust, elektrit ja lisaks sellele saada preemiat müüdüd elektri eest.

Graafik 6.2 Majanduslik indikaator IRR



Graafikus 6.3(a) on näha, kuidas on võimalik salvestada primaarenergiat. Graafikus 6.3(b) on näha, kui palju CO₂ emissiooni tonnides on võimalik salvestada, kui rajada akumulatsioonpaak. Kõik andmed on antud A ja B stsenaariumi jaoks.

Graafik 6.3 Ökoloogilised indikaatorid



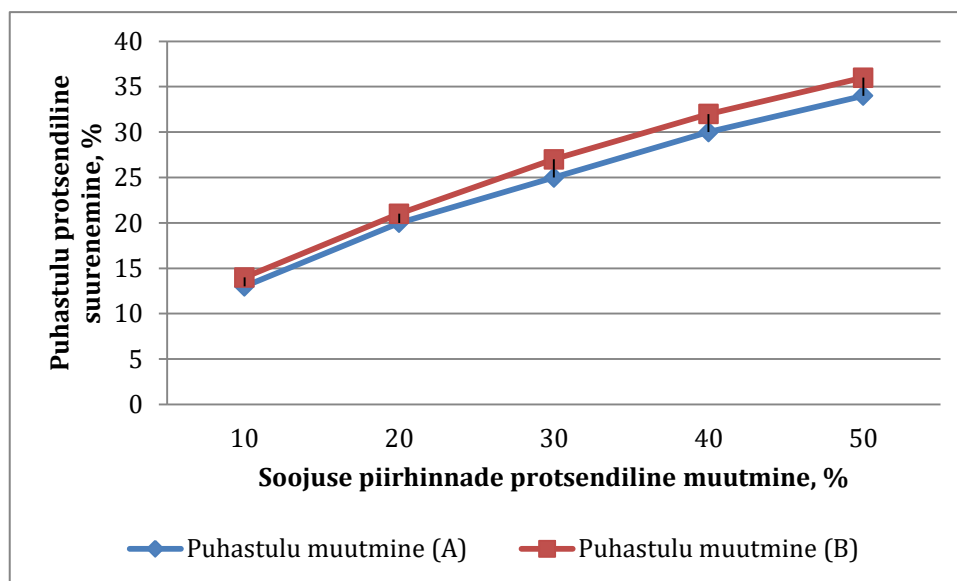
Kui vaadata B stsenaariumi üle, siis on näha, et kui akumulatsioonipaak on paigaldatud siis on võimalik toota rohkem elektri- ja soojusenergiat. Samal juhul, see tähendab, et CO² emissioonid võivad väheneda, sest et katlamajad ei kasuta selleks et toota soojust ja elektrijaamad ei kasuta selleks et toota elektrit.

Kui vaadata A stsenaariumi üle, kus CHP toodab elektrit ja ülejäänud soojus utiliseeritakse jahuti abil, siis CO² emissioonide salvestamine on vähem. Mis puudutab primaarenergia salvestamist, kui soojust on utiliseeritud, siis soojuse salvestamise tehnoloogia kasutus, annab võimalust salvestada ülejäänud soojust ja vähendada maagaasi tarbimist. Toodetud elektrienergia ja tarbitud biomass ei mõju soojusakumulaatori mahtu valimisele. Iga kord, maht jaab sama. On võimalik näha, et primaarenergia salvestamise näidud on enam-vähem võrdsad.

Graafikus 6.4 on näidatud kuidas protsentides muutub puhastulu, kui toimub soojuse piirhindade suurenemine. On hästi näha, et A stsenaariumi ja B stsenaariumi vahel on olemas erinevused. B

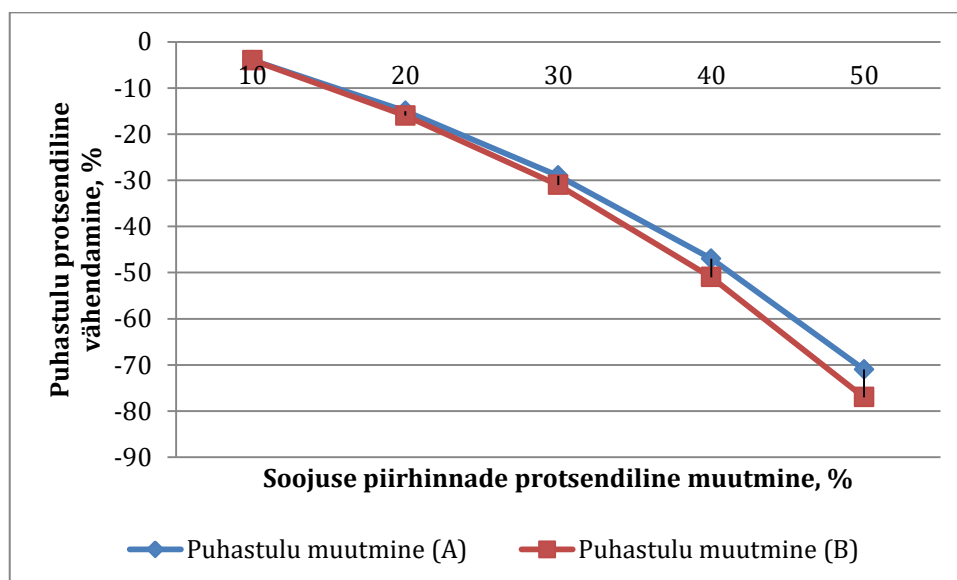
stsenarium näitab, et kui toimub soojuse piirhindade tõusemine, siis puhastulu kasvamine on suurem, kui A stsenaariumi järgi.

Graafik 6.4 Puhastulu protsendiline suurenemine



Graafikus 6.5 on näidatud kuidas protsentides muutub puhastulu, kui toimub soojuse piirhindade vähenemine. A stsenaariumi ja B stsenaariumi vahel on olemas erinevused. B stsenaarium näitab, et kui toimub soojuse piirhindade madalamine, siis puhastulu langus on suurem, kui A stsenaariumi järgi. On võimalik ütelda, et B stsenaarium on tundlikum, kui A stsenaarium.

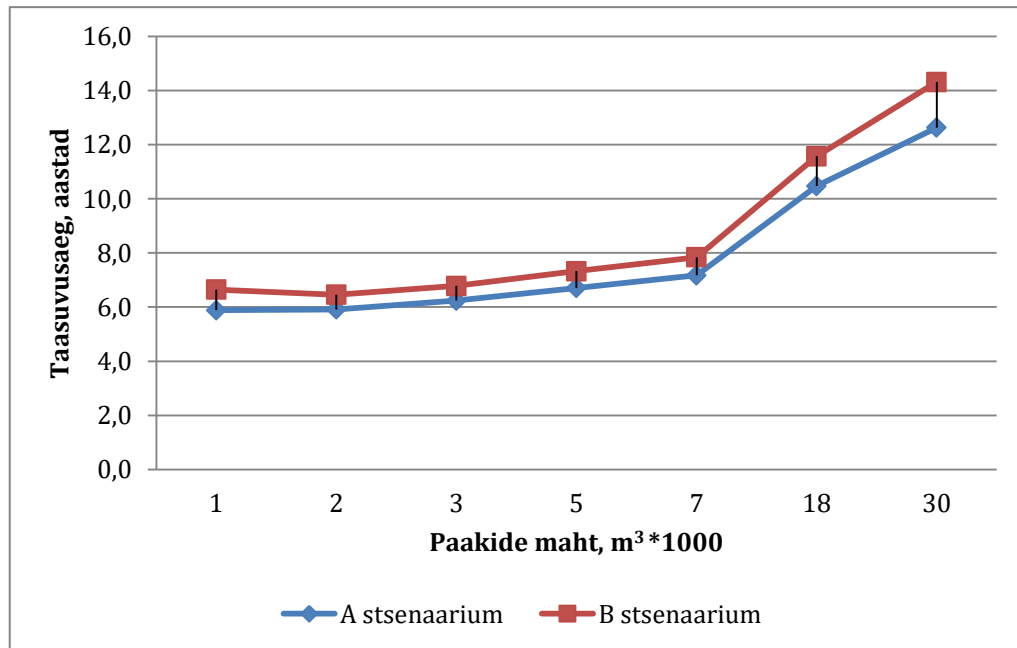
Graafik 6.5 Puhastulu protsendiline vähendamine



Graafikus 6.6 on näidatud projekti ligikaudne tasuvusaeg A ja B stsenaariumile. Kasutades valemi, mis oli näidatud tabelis 5.3. Olid saadud järgmised arvud. On võimalik näha, et projektide

taasuvusaeg kasvab, kui kasvab paakide maht. Graafiku järgi kõige optimaalne maht on alates 1000 m³ kuni 7000m³.

Graafik 6.6 Projektide tasuvusaeg



KOKKUVÕTTE

Euroopa riikides akumulatsioonipaakid on laiali kasutatud et parandada biomassil töötava koostootmisjaama töö. Seoses spetsiaalsete toetusega, viimase 10 aasta jooksul väga palju uut CHP jaamad alustasid oma töö. Samal ajal, mitte ühtegi akumulatsioonipaaki ei olnud paigaldatud.

Olemasolevad elektrienergia toetused annavad võimalust elektrienergia tootmisele CHP režiimil, ülejaanud soojust utiliseeritakse kasutades jahutid, kui soojuskoormus on väike.

Antud tööde ülesanne oli uurida, kuidas Eestis määratud toetused mõjutavad TESi integreerimisele kaugküttevõrgus. Tallinna linna kaugküttevõrk oli analüseeritud ja kasutades spetsiaalne programm modeleeritud. Oli simuleeritud kaks stsenaariumid:

- Esimene stsenaarium, kui subsideeritakse kogu elektrienergia, mis on toodetud biomassil töötav CHP jaamas.
- Teine stsenaarium, kui subsideeritakse ainult elektrienergia, mis oli toodetud CHP režiimil.

Oli saadud järgmine tulemus, kui toetuse skeem jaab samaks, siis TES integratsioon ei ole mõistlik, ainult kahanevad CO₂ emissioonid, kui võrrelda situatsiooniga, millal CHP töötab ainult CHP režiimil. Kui subsideeritakse ainult elektrienergia, mis oli toodud CHP režiimil, siis akumulatsioonipaaki integratsioon mõjutab positiivsemal kogu jaamale. NPV on positiivne ja IRR on suur. Antud situatsioonil toimub CO₂ emissioonide suur kahanemine.

SUMMARY

Accumulator tanks are widely used to improve the biomass CHP operation process in Europe. Due to the FIP scheme, many new biomass CHPs were launched in Estonia, without the integration of TES into a CHP-based DH system.

The existing FIP support scheme allows the DH operator to produce electricity by CHP and reject the heat when the heat load is not sufficient. The aim of the research was to evaluate how the FIP support scheme in Estonia influences the feasibility of the TES integration into the DH system. A large DH system (Tallinn, Estonia) was used in case study, a model of the system was built with two scenarios simulated: the first scenario with the FIP support scheme, where all electricity produced by biomass CHP is subsidised and the second scenario, where only the electricity produced in the CHP mode is subsidised. The study found that under the conditions of the FIP support scheme, the TES integration is less reliable; in addition, the reduction of CO₂ emissions is lower, as compared to the case, where CHP cannot reject the heat to the atmosphere. When only the electricity produced in the CHP mode is subsidised, the accumulator tank integration has a positive effect on the economic parameters: NPV is positive and IRR is high. CO₂ savings are much higher for this type of support.

KASUTATUD KIRJANDUS

- [1] Euroheat. District Heating and Cooling Statistics 2015 2015:2013.
- [2] Carbon Trust. Introducing combined heat and power. Technol Guid 2010:59. doi:ctv044.
- [3] Zhou D, Zhao CY, Tian Y, Lott MC, Kim S-I, Eames P, et al. Technology Roadmap. SpringerReference 2013;92:24. doi:10.1007/SpringerReference_7300.
- [4] Europe P. Heat Storages for CHP Optimisation Jan de Wit , Denmark 2007.
- [5] Aagaard J. Heat accumulators. News from DBDH 2004:1–4.
- [6] Streckiene G, Miseviciute V, Energetics B, Technical VG. Research of Operation Modes of Heat Storage Tank in CHP Plant Using Numerical Simulation 2011;6:91–9. doi:10.2478/v10145-011-0013-3.
- [7] Volkova A, Latõšov E, Andrijaškin M, Siirde A. The potential of thermal energy storage technologies in district heating system in Estonia. Energy Procedia, 2017 (in Press 2017;0:1–8.
- [8] Herning CHP Power Plant Denmark n.d.
- [9] Plants P. 8 . CHP- and Power Plants. Production 1995:34–42.
- [10] energy innovation austria Tomorrow's heating networks Austrian system solutions energy supply in urban areas 2015:1–8.
- [11] Latõšov E, Volkova A, Siirde A, Kurnitski J, Thalfeldt M. Primary energy factor for district heating networks in European Union member states. Energy Procedia 2017;116:69–77. doi:10.1016/j.egypro.2017.05.056.
- [12] Latõšov E, Kurnitski J, Thalfeldt M, Volkova A. Primary Energy Factors for Different District Heating Networks: An Estonian Example. Energy Procedia 2016;96:674–84. doi:10.1016/j.egypro.2016.09.126.
- [13] Case study factsheet Eastern region , ESTONIA Pärnu CHP plant 2010:2010.
- [14] Lund H, Werner S, Wiltshire R, Svendsen S, Thorsen JE, Hvelplund F, et al. 4th

- Generation District Heating (4GDH). Integrating smart thermal grids into future sustainable energy systems. *Energy* 2014;68:1–11. doi:10.1016/j.energy.2014.02.089.
- [15] Pakere I, Purina D, Blumberga D, Bolonina A. Evaluation of Thermal Energy Storage Capacity by Heat Load Analyses. *Energy Procedia* 2016;95:377–84. doi:10.1016/j.egypro.2016.09.040.
- [16] Danish Energy Authority, Energinet.dk. Technology Data for Energy Plants. vol. 978-87–784. 2012. doi:ISBN: 978-87-7844-857-6.
- [17] <http://www.araner.com/blog/stratified-thermal-energy-storage-tanks/>
- [18] <http://www.hydroflexsystems.com/index.php?page=tanks-3>
- [19] <https://bio-chp.force.dk/downloads/chp-plants-key-figures/assens-district-heating-denmark/>
- [20] <https://www.energy-innovation-austria.at/article/mehr-energieeffizienz-durch-waermespeicherung/?lang=en>
- [21] <https://www.stat.ee/34175>
- [22] <https://www.err.ee/632855/uus-koostootmisjaam-katab-viiendiku-tallinna-kaugkutte-vajadusest>
- [23] <https://parkotel.com.ua/kotelnoe-oborudovanie/ekonomajzery-chugunnye-eb/>
- [24] <https://www.scanweld.ee/references-equipments-fortum-termest.php>

LISA

Lisa 1. Igakuine keskmine temperatuur eestis

	Jaanu ar	Veebr uar	Mär ts	Apr ill	M ai	Juu ni	Juu li	Augu st	Septem ber	Oktoo ber	Novem ber	Detsem ber
2013	-5,2	-2,7	-6,3	2,9	13, 1	17, 3	17, 7	17,2	12,2	7,6	4,8	2,5
2014	-6,4	-0,3	2,1	5,8	11, 1	13, 2	19, 6	17,5	12,9	6,5	2,3	-0,2
2015	-0,8	-0,1	2,5	5,2	9,8	13, 9	16, 1	17,1	13,3	5,9	4,9	3,3
2016	-7,7	0,7	0,2	5,3	13, 1	15, 5	17, 8	16,3	13,2	5	0	0,8
2017	-2,1	-2,5	1,1	3	9,3	13, 4	15, 7	16,5	12,4	6,2	3,3	1,3
Keskmi ne	-5,2	-2,7	-6,3	2,9	13, 1	17, 3	17, 7	17,2	12,2	7,6	4,8	2,5

Lisa 2. Protsentuaalne elanike osakaal, kes kasutavad kaugkütet

Riik	%
Eesti	62
Läti	65
Leedu	57