

Anssi Maaninen

SÄHKÖN JA LÄMMÖN YHTEISTUOTANTOLAITOS MAASEU- DULLE

SÄHKÖN JA LÄMMÖN YHTEISTUOTANTOLAITOS MAASEU- DULLE

Anssi Maaninen
Opinnäytetyö
Kevät 2019
Energiatekniikan tutkinto-ohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Energiatekniikan tutkinto-ohjelma

Tekijä(t): Anssi Maaninen

Opinnäytetyön nimi suomeksi: Sähkön ja lämmön yhteistuotantolaitos maaseudulle

Opinnäytetyön nimi englanniksi: Cogeneration Plant for Countryside

Työn ohjaaja(t): Veli-Matti Mäkelä

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Kevät 2019

Sivumäärä: 63 + 9 liitettä

Opinnäytetyö liittyy SMARTrenew-hankkeeseen, jossa on tarkoituksena tuoda uusiutuvan energian käyttö- ja varastointiratkaisuja haja-asutusalueille. Työssä suunniteltiin uusiutuvaa energiaa käyttävä voimalaitos ja kaukolämpöverkosto maaseudulle, Raahen alueelle. Tämän jälkeen laskettiin taloudellinen kannattavuus ja takaisinmaksuaika.

Kohdealueen rakennukset määritettiin kaukolämpöverkostoon liitettäviin ja ei-liitettäviin ja niiden energiantarpeet analysoitiin Motivan sivuilta löytyvien kulusarvioiden ja EnergyPlan-energiantuotantojärjestelmien simulointiohjelman avulla. Näiden avulla tehtiin kulutusprofiilit eri rakennuksille Excel-ohjelmaan ja pystyttiin mitoittamaan kaukolämpöputkistot ja kaukolämmön ensiöpuolen pumput. Lisäksi tarkasteltiin lämmönjakokeskusratkaisuja asiakkaille. Tämän jälkeen valittiin sopiva yhteistuotantovoimalaitos tehojen, hyötysuhteiden ja investointikustannusten perusteella.

Ratkaisussa alueen pohjoispuolella on taloja, jotka eivät kuulu kaukolämpöverkostoon ja eteläpuolella verkostoon kuuluvat. Kaukolämpöjohtoa alueelle tehtäisiin noin 4 kilometriä. Alueen lämmön- ja sähköntarpeet päädyttiin lopulta tuottamaan kahdella hakekäyttöisellä polttomoottori-CHP-laitoksella. Nämä ovat saksalaisia LiPRO Energyn valmistamia eri tehoisia yksiköjä. Lisäksi laitokselle mitoitettiin lämmöntuotantoon kolme hakekattilaa.

Järjestelmä maksaisi noin 1 miljoonan euron investointikustannukset takaisin 13 vuodessa. Epävarmuustekijöitä kuitenkin ovat ensinnäkin CHP-yksikköjen toimivuus miehittämättömänä hakkeen aiheuttaman tervaongelman vuoksi sekä ylipäätään niiden huoltamisen ja valvomisen kustannukset. Haja-asutusluonteen vuoksi kaukolämpöverkoston kalliit rakennuskustannukset heikentävät kannattavuutta.

Asiasanat: uusiutuva energia, yhteistuotanto, haja-asutusalue, kestävä kehitys

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Degree programme in Energy Technology

Author(s): Anssi Maaninen
Title of thesis: Cogeneration Plant for Countryside
Supervisor(s): Veli-Matti Mäkelä
Term and year when the thesis was submitted: Spring 2019
Pages: 63 + 9 appendices

This thesis was made as part of the SMARTrenew project, which aims to bring renewable energy use and storage solutions to sparsely populated areas. In this work, a renewable energy power plant was designed for the countryside, near Raahe. District heating network with its most important components was also designed for heat distribution to the village. Finally, the financial profitability and payback period were calculated.

The buildings in the target area were first divided into the ones with district heating network and those without it. Their energy requisites were dimensioned using the consumption estimates found on the Motiva website and the EnergyPlan energy production simulation program. With the help of these sources consumption profiles for buildings were made using Excel. Using these profiles, the district heating pipe systems and primary-side district heat pumps were designed. In addition, a suitable district heating substation for customers was considered. After these, a suitable cogeneration power plant was selected based on capacity, efficiency, and investment costs.

The area was eventually divided from the middle to the north, with houses without district heating and the south with district heating. The length of the district heating pipeline in the area would be four kilometers. Heat and electricity for the area were ultimately decided to be produced with two wood chip fueled CHP combustion engines. The manufacturer for these units is German LiPro energy. In addition, three small wood chip boilers were dimensioned.

The system would cost about 1 million euros and payback time is 13 years. However, there are uncertainties. Firstly, the functionality of the CHP units, due to the tar problem caused by wood chips; and secondly the costs of maintaining and controlling them in general. The profitability of district heating network is weakened by high construction costs caused by the dispersed settlement.

Keywords: renewable energy, cogeneration, rural area, sustainable development

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
ABSTRACT	4
SISÄLLYS	5
1 JOHDANTO	6
2 SMARTRENEW-HANKE	7
3 ENERGYPLAN-SIMULOINTIOHJELMA	9
4 KOHDEALUE	11
4.1 Lämmön tarpeet	12
4.2 Sähkön tarpeet	14
4.3 Kulutusprofiilien luonti ja analysointi	16
5 KAUKOLÄMPÖVERKOSTO	21
5.1 Putkiosuuksien mitoitus	22
5.2 Lämmönjakokeskusten suunnittelu	26
5.3 Kaukolämmön ensiöpuolen pumppujen valinta	30
6 TUOTANTOLAITOS	33
6.1 Hakkeen kaasutus	34
6.2 CHP-polttomoottorien ja kattiloiden valinta	36
6.3 Voimalaitoksen lämmönsiirrin	39
6.4 Lämminvesivaraajan mitoitus	40
6.5 Ajomallit voimalaitoksella	42
7 KUSTANNUSARVIOT	48
7.1 Voimalaitoksen investointikustannukset	48
7.2 Hakkeen kulutus ja hinta	50
7.3 Lämmönjakoverkoston kustannukset	51
7.4 Takaisinmaksuaika	52
8 YHTEENVETO	56
LÄHTEET	57
LIITTEET	63

1 JOHDANTO

Suomessa on asetettu pitkän aikavälin tavoitteeksi saavuttaa hiilineutraali yhteiskunta. Kasvihuonepäästöistä noin 73 prosenttia syntyi energiantuotannosta ja -kulutuksesta vuotena 2017. Uusiutuvien energialähteiden osuus energian kokonaiskulutuksesta oli 36 prosenttia. Energia- ja ilmastostrategiassa linjataan konkreettisia toimia ja tavoitteita, joilla Suomi saavuttaa nykyisessä hallitusohjelmassa ja EU:ssa sovitut energia- ja ilmastotavoitteet vuoteen 2030 mennessä. (1.)

Tavoitteeksi asetettiin, että vuonna 2030 Suomessa tulisi uusiutuvan energian osuus loppukulutuksesta yltää 50 prosenttiin ja energian hankinnan omavaraisuus 55 prosenttiin. Opinnäytetyössä on tarkoituksena edistää Suomen energiataloutta näihin tavoitteisiin suunnittelemalla yhteistuotantovoimalaitos haja-asutusalueelle toimimaan uusiutuvalla energialla. (1.)

Opinnäytetyössä suunnitellaan alueellinen kaukolämpöverkosto ja biopolttoainetta käyttävä CHP-voimalaitos kattamaan noin 70 kodin laajuisen haja-asutusalueen lämmön ja sähkön tarpeita. Asutusalueelle tehdään kulutusprofiilit lämmön ja sähkön tarpeille käyttäen apuna EnergyPlan-simulointiohjelmaa. Kaukolämpöverkoston mitoittetaan putkistot, ensiöpuolen lämpöpumput ja talokohtaiset lämmönjakokeskukset.

Tavoitteena on mitoittaa ja suunnitella hakekaasutukseen perustuva yhteistuotantolaitos alueelle tuotantolaitokseksi. Työssä tutkitaan hakekaasua käyttävän pienen kokoluokan CHP-laitoksen toimintaperiaatetta lyhyesti ja taloudellista kannattavuutta. Vuosien saatossa laitosten yleistyminen on osoittautunut vähäiseksi heikon kannattavuuden ja teknisten ongelmien vuoksi.

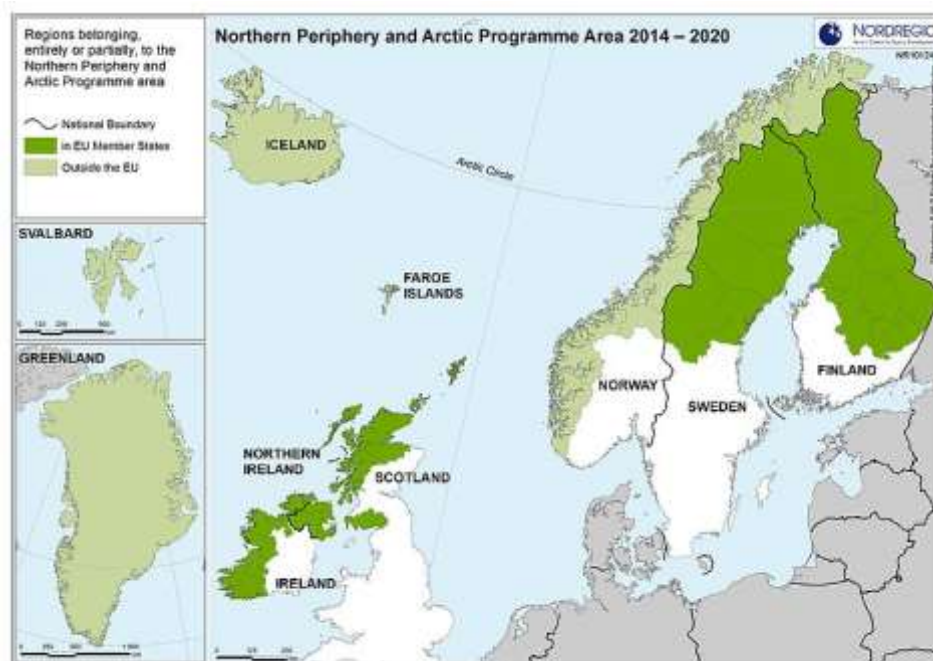
Opinnäytetyö liittyy SMARTrenew-hankkeeseen, jossa pyritään kehittämään ja lisäämään uusiutuvien energialähteiden käyttöä ja varastointia NPA:n eli Pohjoisen periferian ja Arktiksen (Northern Periphery and Arctic) haja-asutusalueilla.

2 SMARTRENEW-HANKE

Pohjoinen periferia ja Arktis on valtioiden välinen yhteistyöohjelma, johon SMARTrenew-hanke kuuluu. Ohjelma-alueeseen kuuluu alueita Suomesta, Ruotsista, Norjasta, Skotlannista ja Irlannista sekä Pohjois-Irlanti, Islanti, Färsaa-ret, Huippuvuoret ja Grönlanti kokonaisuudessaan (kuva 1). Yhdistävänä tekijänä on harva asutus ja syrjäinen sijainti. Ohjelmassa painotetaan arktisen yhteistyön tukemista. (2.)

Ohjelman toimintalinjoja ja niiden erityistavoitteita ovat

- innovaatio (lisääntynyt innovointi ja uuden teknologian siirto, lisääntynyt innovointi julkisten palvelujen tuottamisessa)
- yrittäjyys (tukijärjestelmät pk-yrityksille, markkinoiden laajentaminen)
- energia (energiatehokkuuden ja uusiutuvien energiaratkaisujen lisääntynyt käyttö asumisessa ja julkisissa infrastruktuureissa)
- kestävä kehitys (syrjäisten ja harvaan asuttujen alueiden lisääntynyt kapasiteetti kestävään ympäristön hallinnointiin) (2).



KUVA 1. NPA-alueet (2)

SMARTrenew-hankkeen tavoitteena on tuoda uusiutuvan energian käyttöön ja sen varastointiin liittyviä monipuolisia ratkaisuja NPA:n haja-asutusalueille. Muutamilla hankealueilla käytetään uusiutuvan energian tuotannon ja varastoinnin ratkaisuja tehokkaasti sekä monipuolisesti, kun taas joillain hankealueilla ei ole käytössä mitään ratkaisuja. Tavoitteena on lisätä paikallisten päättäjien ja viranomaisten tietoon uusiutuvan energian ratkaisuja ja mahdollisuuksia alueilla. Iso osa hanketta on tiedon jakaminen ja sidosryhmätoiminta. Näin mahdollistetaan ja edistetään sidosryhmien verkostoitumista kansallisesti ja kansainvälisesti. (3.)

Hankkeen yhteiset alueelliset haasteet ovat fossiilisilla polttoaineilla pääosin toimivat kalliit sähkön- ja lämmöntuotantomuodot, syrjäisyys, alhainen väestötiheys, kylmä ilmasto ja uusiutuvien energialähteiden käytön vähäisyys, mitkä johtavat joissakin maissa energiaköyhyyteen ja energiavarmuuden puuttumiseen yhdistettynä huonoon verkostoon syrjäisillä alueilla. Energiaköyhyys tarkoittaa tilannetta, jossa on vaikeuksia ylläpitää tai tyydyttää energian perustarpeita energiakustannusten takia. (3.)

Hanke koskee kuutta NPA-aluetta, joiden uusiutuvien energialähteiden saataavuus on vaihtelevaa. Näitä alueita ovat Suomen lisäksi Irlanti, Pohjois-Irlanti, Norja, Färsaaret ja Islanti. Kumppanuuteen kuuluu seitsemän eri organisaatiota mukaan lukien akateeminen osasto, tutkimuskeskus, paikallisviranomainen, pk-yritys ja kansallinen energiajärjestö, joilla kaikilla on toisiaan täydentäviä taitoja ja kokemusta uusiutuvista energiaratkaisuista. (3.)

Hankkeen tuloksena lisätään yhteisöjen ja paikallisten viranomaisten tietoa hankkeen aiheista, siihen liittyvistä haasteista ja mahdollisuuksista. Lisäksi tavoitteena ovat uusiutuvan energian ratkaisut ja toimet, joilla haja-asutusalueiden energiavarmuus parantuu. Hankkeen vaikutusten pysyvyyden ja jatkuvuuden varmistamiseksi halutaan saada sidosryhmät verkostoitumaan keskenään ja motivoida heidät toteuttamaan hankkeen mukaista toimintaa hankeajan päätyttyäkin. (3.)

3 ENERGYPLAN-SIMULIOINTIOHJELMA

EnergyPlan-energiantuotantojärjestelmien simulointiohjelma on tanskalaisen Aalborgin yliopiston kehittämä FreeWare-tyyppinen ohjelmisto. Sillä voidaan simuloida erilaisten energiaskenaarioiden, sähkön, lämmön, jäähdytyksen ja liikenteen energiankulutusta ja tuotantoa. Ohjelman tietokannassa on saatavilla valmiita kulutusprofiileja sähkön- ja lämmönkulutuksesta vuoden jokaiselle tunnille. Lisäksi tietokannassa on kustannustietoja ja erilaisia tuotantoprofiileja esimerkiksi aurinko- ja tuulivoimalle. (4.)

Arctic Energy -projekti on kehittänyt ohjelmaan pohjoisen olosuhteisiin vastaavia kulutus- ja tuotantoprofiileja. Projektin tavoitteena on kehittää malli omavaraisesta, hiilivapaasta yhteisöstä pohjoisen olosuhteissa. Mallissa huomioidaan uusiutuvien energialähteiden vaihtoehdot ja resurssit projektialueella sekä energian varastoinnin ja älyverkkojen mahdollisuudet energiantuotannon optimoinnissa. Älyverkolla eli älykkäällä sähköjärjestelmällä tarkoitetaan laajasti digitalisaatiota hyödyntävää sähköjärjestelmää. (5.)

Lähtötietoina ohjelman simulointiin tulee tietää kohdealueen vuoden energiankulutus sähkölle ja lämmölle. Alueen rakennuskannan perusteella pystytään arvioimaan kulutusta riittävällä tarkkuudella. Lisäksi lähtötiedoiksi tarvitaan energian tuotantomuoto ja lämmitys- ja sähköteho. Sinällään pysyvyyskäyrää tai muuta tehontarpeiden ajallista vaihtelua ei ohjelmaan lähtötietoina tarvita vaan voidaan käyttää ohjelman omia kulutusprofiileja. Simuloinnin luotettavuuden parantamiseksi alueiden omat kulutusprofiilit ovat suositeltavia. (4.)

Simuloinnin tuloksena ohjelmalla saadaan kulutusprofiilit kohdealueelle. Näiden perusteella raportista selviää energiantuotannon jakautuminen eri tuotantomuodoille kuukausittain, hiilidioksidipäästöt, investointikustannukset, polttoainekustannukset sekä käyttö- ja huoltokustannukset. (4.)

Ohjelmalla pystyy siis muodostamaan erilaisia tuotantomuotoskenaarioita fossiilisia polttoaineita käyttävistä voimalaitoksista monenlaisiin uusiutuviin energialähteisiin ja vertailemaan niiden kustannusten ja päästöjen muutoksia eri simu-

lointeja tekemällä. Tässä opinnäytetyössä ohjelman avulla luodaan kulutusprofiilit lämmön- ja sähkönkulutukselle arvioitujen vuosikulutusten perusteella mutta käytetään omia arvoja investointi-, polttoaine-, käyttö- ja huoltokustannuksille.

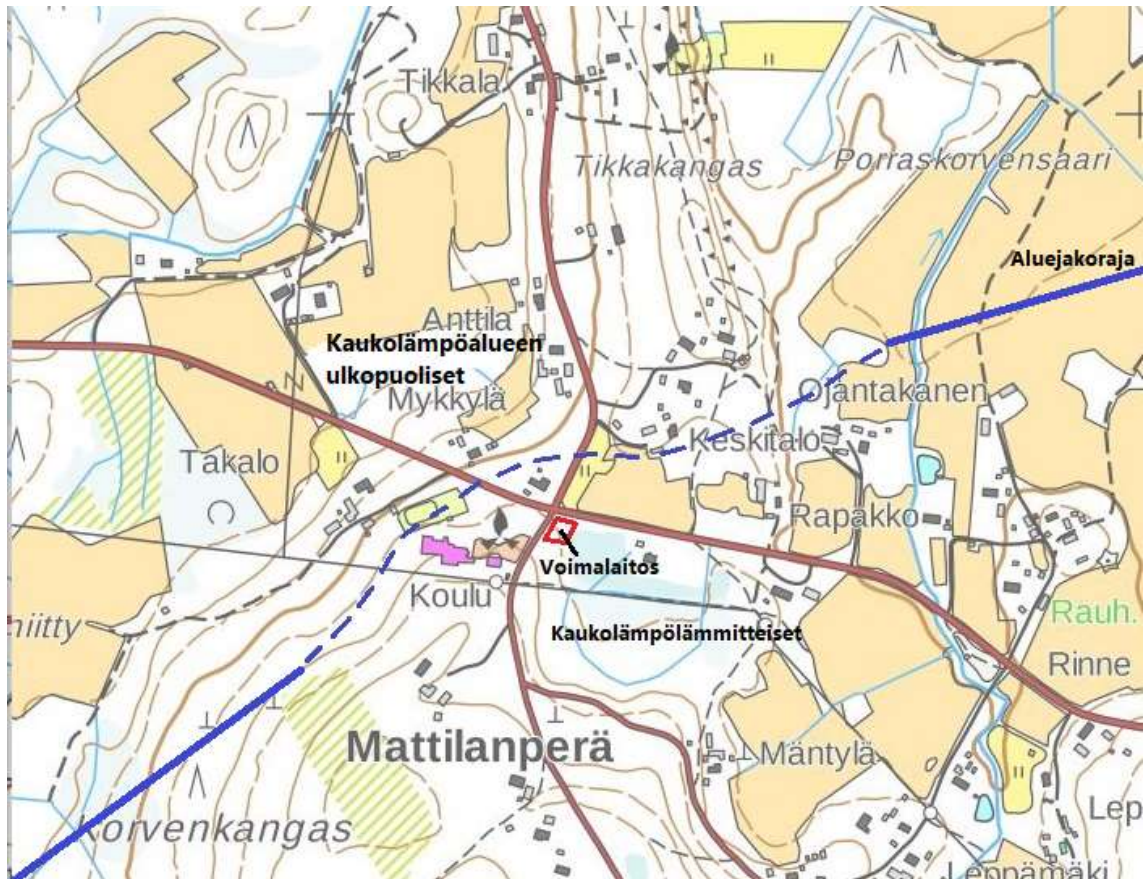
(4.)

4 KOHDEALUE

Opinnäytetyön mallikohteeksi valikoitui Mattilanperän kylä, joka sijaitsee maantieteellisesti Raahen kaupungista noin 15 kilometriä kaakon suuntaan. Merenranta sijaitsee reilun 10 kilometrin päässä lännessä linnuntietä. Maastoltaan seudulla on runsaasti peltoja, metsikköä, hakkuuaukioita sekä syrjempänä suokosteikkoa.

Kylä on harvaanasuttua maaseutua, joka soveltuu mainiosti SMARTrenew-hankkeen tutkittavaksi kohteeksi. Tutkittava alue kattaa noin 70 omakotitaloa ja koulun sekä päiväkodin. Tutkittava alue kokonaisuudessaan on esitettyä liitteessä 1. Alueen rakennusten lämmön ja sähkön vuosittaiset tarpeet arvioidaan Motivan laskureiden ja verkkosivuston kulutusarvioiden avulla.

Alue rajattiin siten, että kaukolämpöalueen ulkopuolelle jäävät talot sijaitsevat niin sanotun pääristeyksen länsi- ja pohjoissuunnalla pois lukien risteyksen kohdalla sijaitseva talo. Loput etelä- ja itäsuunnalla sijaitsevat talot sijaitsevat kaukolämpöalueella. Kaukolämpöalueen ulkopuoliset 29 rakennusta lasketaan tässä työssä sähkölämmitteisinä. Voimalaitoksen sijainti tulee olemaan ”pääristeyksen” vieressä kaakkoissuunnassa. (Kuva 2.)



KUVA 2. Kohdealueen jako kaukolämmityspiiriin kuuluviin rakennuksiin

4.1 Lämmön tarpeet

Kaukolämpöalueelle tulevia lämmitettäviä rakennuksia on kohdealueella 41. Näihin on laskettu myös koulu ja päiväkoti. Työssä käytettiin Motivan pientalojen lämmitystapojen vertailulaskuria apuna EnergyPlan-simulointiohjelmaan rakennusten lämmitysenergian tuntisien kulutuksien arvioimiseen. (6.)

Motivan lämmitysenergian kulutuslaskuriin tarvitaan rakennusten sisäpuolinen lämmitetty pinta-ala, huonekorkeus, rakennuksen energiatehokkuus tai ikä sekä rakennuksen sijainti. Lisäksi laskuriin syötetään lämpimän käyttöveden lämmitysenergian tarve vuoden ajalta. (6.) Työssä tehdään neljä erilaista talotyyppiä tämän laskurin avulla.

Rakennusten lämmitettäväksi pinta-aloiksi laskuriin syötetään tyyppillisten omakotitalojen keskiarvoja 120–150 m² (7). Motivan laskurin mukaan huoneen korkeus on keskimäärin asuintaloissa 2,4 - 2,8 metriä (6). Rakennuskannaksi arvioidaan

laskuriin alueelle 1970-, 1980-, 1990- ja 2000-luvun rakennuksia. Sijainnin valinnassa vaihtoehdot ovat Etelä-Suomi, maan keskiosat ja Lappi Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D3 tekemän säävyöhykejaotelman mukaisesti (8, s. 29). Tähän syötettiin sijainnin perusteella maan keskiosat. Lämpimän käyttöveden lämmitysenergiaksi vuodelle valitaan Motivan kodin energiaoppaan mukainen 3600 kWh vuodessa (9).

Vertailun vuoksi energiantarpeet laskettiin myös Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehon tarpeen laskentaohjeen D5 mukaisesti tehdyllä Excel-laskurilla. Laskuriin syötettiin pohjan pinta-alaksi samat arvot kuin mitä käytetään Motivan laskurissa. Laskuriin arvoiksi otetaan seinien pinta-alaksi viisi kuudosesaa, ikkunoille koillis- ja lounaissuuntiin kymmenysosa sekä oville viidestoistaosa pohjan pinta-alasta. Laskurissa rakennuksen lämmönläpäisykertoimina eli U-arvoina käytetään seinille sekä ylä- ja alapohjille arvoa 0,2 W/m²K. Oville ja ikkunoille puolestaan syötettiin U-arvoiksi 1,0 W/m²K. (10, s. 15–25.)

Lisäksi vuotuisten energiamäärien vertailuun käytettiin Hybridijärjestelmät-kursilla annettua Jyväskylän alueelle sijoittuvaa omakotitaloista ja rivitaloista koostettua aluetta. Tässä vuotuiset energiantarpeet saadaan selville laskemalla alueen rakennustyypeille annetut tuntiset tehot yhteen. Asutusalueen karttapiirroksista voidaan laskea alueella sijaitsevien eri kokoisten omakotitalojen lämmitettäväksi pinta-aloiksi noin 120–180 m². (11.) Taulukossa 1 on esitettynä tulokset eri laskureiden tuloksista.

TAULUKKO 1. Motivan energiankulutuslaskuriin syötetyt arvot ja tulokset

Motivan laskuriin syötettyjä talotyyppejä:	1.	2.	3.	4.
Rakennuksen lämmitettävä pinta-ala (m ²)	130	150	120	140
Huonekorkeus (m)	2,6	2,6	2,6	2,6
Lämpimän käyttöveden lämmitysenergian tarve (MWh/a)	3,6	3,6	3,6	3,6
Rakennuksen ikä (vuosikymmen)	1980	1990	1970	2000
Rakennuksen lämmitysenergian tarve vuodessa (kWh)	25908	25830	24816	22164
Rakennuksen energiankulutus D5 laskuriin syötettyjä talotyyppejä:	1.	2.	3.	4.
Rakennuksen lämmitettävä pinta-ala (m ²)	130	150	120	140
Rakennuksen lämmitysenergian tarve vuodessa (kWh)	22929	25364	21712	24146
"Hybridijärjestelmät" -kurssin omakotitalot:	1.	2.	3.	4.
Rakennuksen lämmitettävä pinta-ala (m ²)	120	140	160	180
Rakennuksen lämmitysenergian tarve vuodessa (kWh)	19240	19240	19240	19795

Kohdealueelle valmistui vuonna 1991 uusi koulu sekä viereen vuotena 2002 päiväkot. Koulun ja päiväkodin energiankulutusta arvioidaan käyttämällä Annu Ruusalan vuonna 2015 tekemää diplomityötä ”Koulujen ja päiväkotien laskennallinen ja toteutunut energiankulutus”. Ruusala on tehnyt tässä kulutusten tilastointia yli 200 eri koulu- tai päiväkotirakennuksen keskimääräisestä lämmitysenergian tarpeesta. Näille on laskettu lämmitysenergiankulutukset bruttoneliometriä kohden ja jaoteltu ne rakennusvuosien mukaan. Lämmöntarve sisältäen lämpimän käyttöveden tarpeen on siis vuonna 1991 rakennetulle koululle 174,3 kWh/bm² vuodessa ja vastaavasti 2002 rakennetulle päiväkodille 179,4 kWh/bm² vuodessa. (12, s. 50.)

Rakennuksen bruttopinta-ala kuvaa koko rakennuksen laajuutta. Bruttoala lasketaan rakennuksen kaikkien kerrostasojen kerrostasoalojen summana riippumatta huoneiden käyttötarkoituksista tai siitä, ovatko huoneet kylmiä vai lämpimiä. (13.) Maanmittauslaitoksen karttapaikkapalvelulla mitatuksi bruttoalaksi koululle saadaan noin 1100 m² ja päiväkodille noin 150 m² (14). Taulukossa 2 on esitettyinä lämmitysenergian tarpeet alueelle vuoden ajalle.

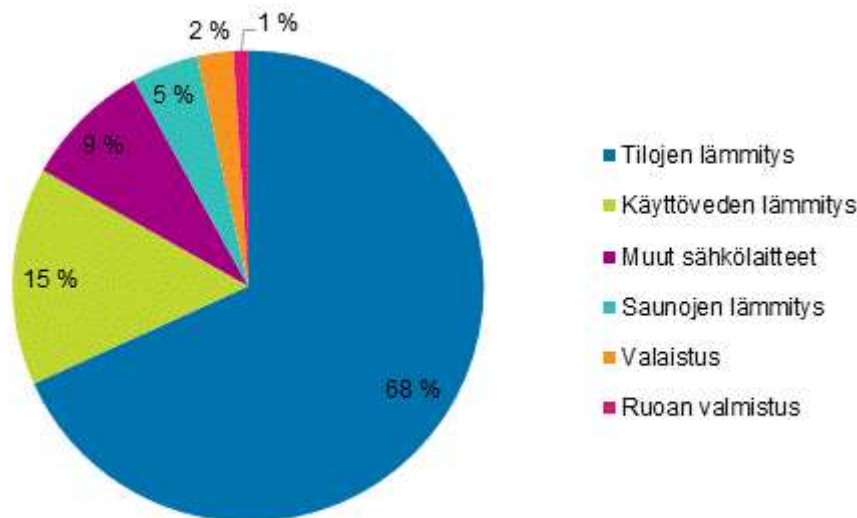
TAULUKKO 2. Alueen lämmitysenergian tarpeet vuodessa

	Energiantarpeet vuodessa MWh
Omakotitalot (39 rakennusta)	962,5
Koulu	191,7
Päiväkot	26,9
Kokoalue	1181,1

4.2 Sähkön tarpeet

Alueen taloista pääristeyksen itä- ja pohjoissuunnalla olevat jaoteltiin kaukolämpöalueen ulkopuolisiksi taloiksi, mutta kaikki rakennukset tällä alueella lasketaan kuitenkin tässä työssä sähkölämmitteisiksi ja niihin toimitetaan tuotettua sähköä. Tämä jako tehtiin sillä perusteella, että saadaan kaukolämpöverkoston kustannuksia leikattua. Omakotitaloja alueella on 29 kappaletta. (Kuva 2.)

Koko kohdealueen kotitaloussähkön kulutukset arvioitiin samaksi kaikille omakotitaloille. Kotitaloussähkö muodostuu muun muassa ruoan valmistuksesta ja säilytyksestä, astian- ja pyykinpesusta, valaistuksesta, viihde- ja pienlaitteista, saunasta sekä auton lämmityksestä. (Kuva 3.)



KUVA 3. Asumisen energian kulutus käyttökohteittain (15.)

Tämän työn omakotitalon kotitaloussähkön vuotuiseksi tarpeena käytettiin Motivan kodin energiaoppaan mukaisesti 5500 kWh vuodessa (9). Tätä laskennassa käytettyä kotitaloussähkön kulutusta vertailtiin muilla tavoin selvitettyihin sähkönkulutuksiin käytettävyyden arvioimiseksi. Sähkönkulutus laskettiin Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehon tarpeen laskentaohjeen D5 mukaisesti tehdyllä Excel-laskurilla. Tällä laskurilla saatiin sähkönkulutukseksi talon pinta-alan mukaan noin 6000–7000 kWh vuodessa, mikä on hieman suurempi kuin Motivan kodin energiaoppaassa annettu. (10, s. 26–28.)

Sähkönkulutusta verrattiin myös Hybridijärjestelmät-kurssin omakotitaloihin, joille on annettu tuntiset tehot vuodelle. Tässä tuntiset tehot yhteenlaskettuna saadaan vuotuisiksi sähköenergian tarpeiksi noin 6000–8800 kWh. Hybridijärjestelmät-kurssin omakotitalojen sähkönkulutukset eivät noudata pinta-alan mukaista kasvua vaan kaikki talot ovat samankokoisia, ja toiset kuluttavat enemmän sähköä kuin muut. (11.)

Sähkönkulutuksessa koulu ja päiväkotit poikkeavat tavallisesta omakotitalosta reilusti, minkä vuoksi niille täytyy arvioida omat vuotuiset sähköenergian tarpeet. Arviointi tehdään samasta, Annu Ruusalan diplomityössä tekemästä koulujen ja päiväkotien energiantarpeiden tilastoinnista, jota käytettiin jo lämmitysenergian arviointiin. Sähköenergian vuotuinen tarve vuonna 1991 rakennetulle koululle on tässä 68,7 kWh/bm². Vuonna 2002 rakennetulle päiväkodille sähköenergian tarpeeksi on saatu 71,1 kWh/bm². (12, s. 50.) Taulukossa 3 on esitettyinä sähköenergian tarpeet alueelle vuoden ajalle.

TAULUKKO 3. Alueen sähköenergian tarpeet vuodessa

	Energiantarpeet vuodessa MWh
Omakotitalot (68 rakennusta, joista 29 sähkölämmitteisiä)	1089,7
Koulu	75,6
Päiväkotit	10,7
Kokoalue	1175,9

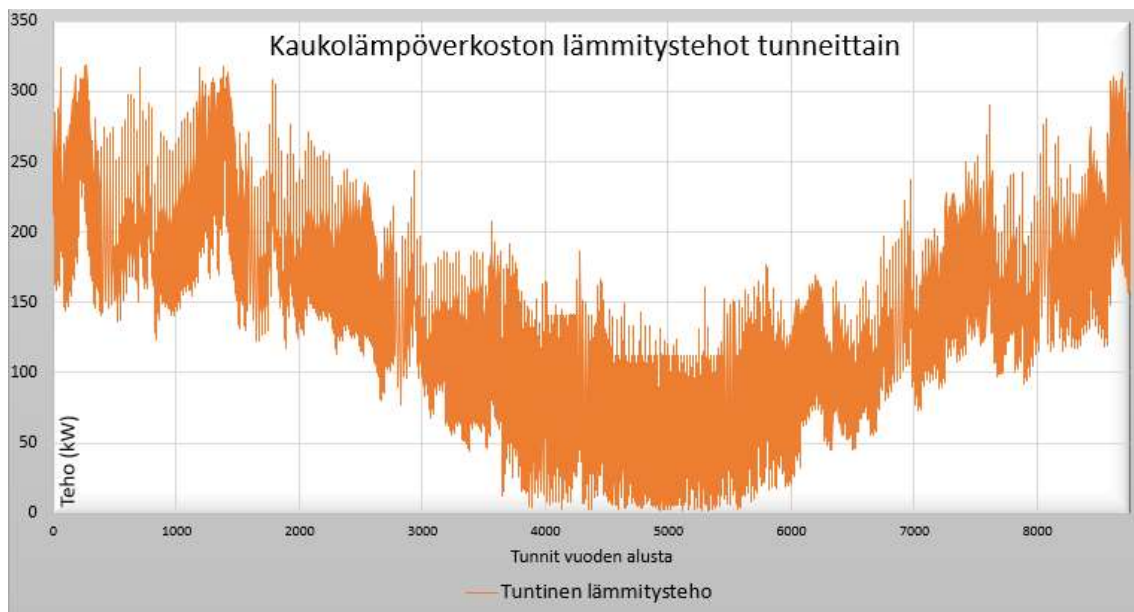
4.3 Kulutusprofiilien luonti ja analysointi

EnergyPlan-energiantuotantojärjestelmien simulointiohjelmaa käytettiin apuna muodostamaan kulutusprofiilit vuosikulutusten perusteella. Kulutusprofiilit muodostetaan siten, että jaotellaan vuoden jokaiselle tunnille tietty teholumema kilowatteina. Huomioitavaa on, että ohjelman profiilit on tehty koko kaukolämmön tarpeen perusteella ja siten esimerkiksi rakennuskohtaiset käyttöveden kulutukset jäävät huomioimatta ja aiheuttavat virhettä lopulliseen profiiliin. Virhettä aiheuttavat myös koulun ja päiväkodin omakotitaloista poikkeavat lämmitysenergian profiilit, joiden lämpö- ja sähkötehon kulutusprofiilit on tässä laskettu muiden talotyyppien kanssa yhteen.

Ohjelmassa on valmiina kehitettynä tekstitiedostona kulutusprofiili kaukolämmitysverkostolle ja sähkönkulutukselle Piitimen kunnan alueelle Ruotsissa. Piitimen kunta sijaitsee maantieteellisesti lähes samalla leveyspiirillä Mattilanperän kylän kanssa Perämeren rannalla-, mutta on yli 20 000 asukkaan kaupunki, jossa on

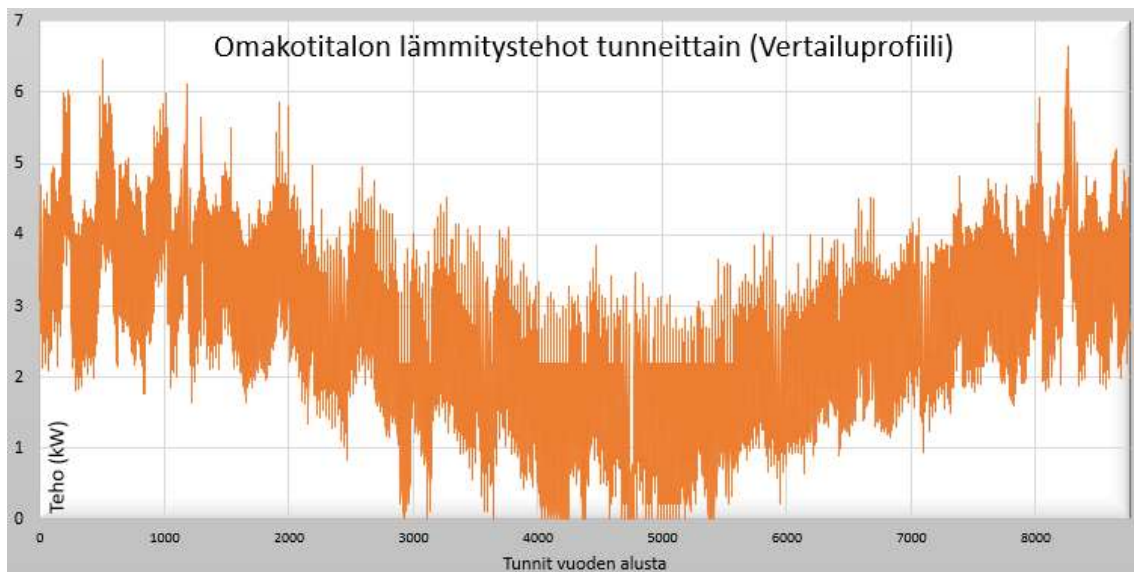
muun muassa hotelli ja sairaala, jotka vaikuttavat kulutusprofiiliin. Näitä kulutusprofiileja käytettiin kuitenkin, jotta nähdään EnergyPlan-ohjelman käytettävyyttä pienen kokoluokan lämmön ja sähkön tuotantolaitoksen simulointiin.

Tekstitiedostossa on siis vuoden jokaiselle tunnille käytännössä tietty teholu-
kema, jonka perusteella esimerkiksi Excel- ja EnergyPlan-ohjelmat osaavat piir-
tää profiiliin. Profiileja käytettiin siten, että muodostettiin omakotitaloille, koululle
ja päiväkodille omat profiilit. Profiileja muutettiin siten, että tehojen arvot kopioitiin
tekstitiedostoista Excel-taulukkolaskentaohjelmaan ja arvoja iteroitiin niin kauan,
että tehojen yhteenlaskettu määrä vastaa kunkin rakennustyyppin vuosikulutuksia.
Liitteessä 2 on esitettyä profiilien luonti ohjeineen. Tällä iteroinnilla on tuloksena
sama konduktanssi taloille ympäri vuoden. Kuvassa 4 on esitettyä kaukolämmi-
tettävän osan lämmitysenergian kulutusprofiili normaalivuoden ulkolämpötiloilla.



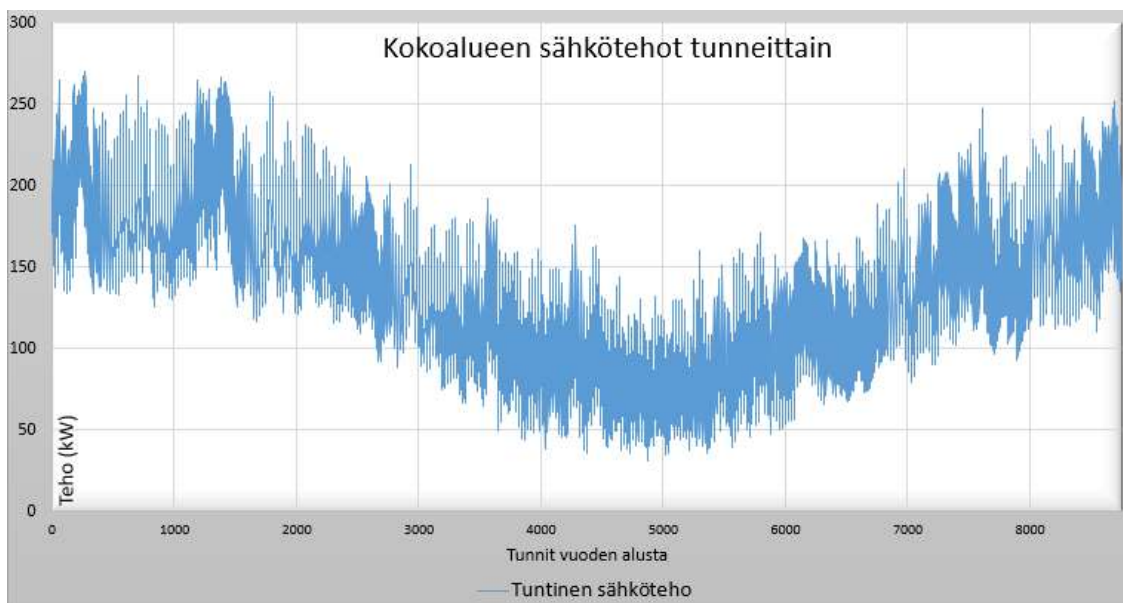
KUVA 4. Alueen lämmöntarpeiden kulutusprofiili

Profiilin käytettävyys varmistettiin vertaamalla sitä Hybridijärjestelmät-kurssin omakotitalon lämmitystehon profiiliin, johon oli olemassa valmiit tuntiset tehot (11). Profiileja vertaamalla voitiin todeta myös EnergyPlan-ohjelman ja Motivan laskurin avulla tehdyn lämmitystehojen kulutusprofiilin olevan kelvollinen kuvaamaan alueen tuntisia tehoja. (Kuva 5.)



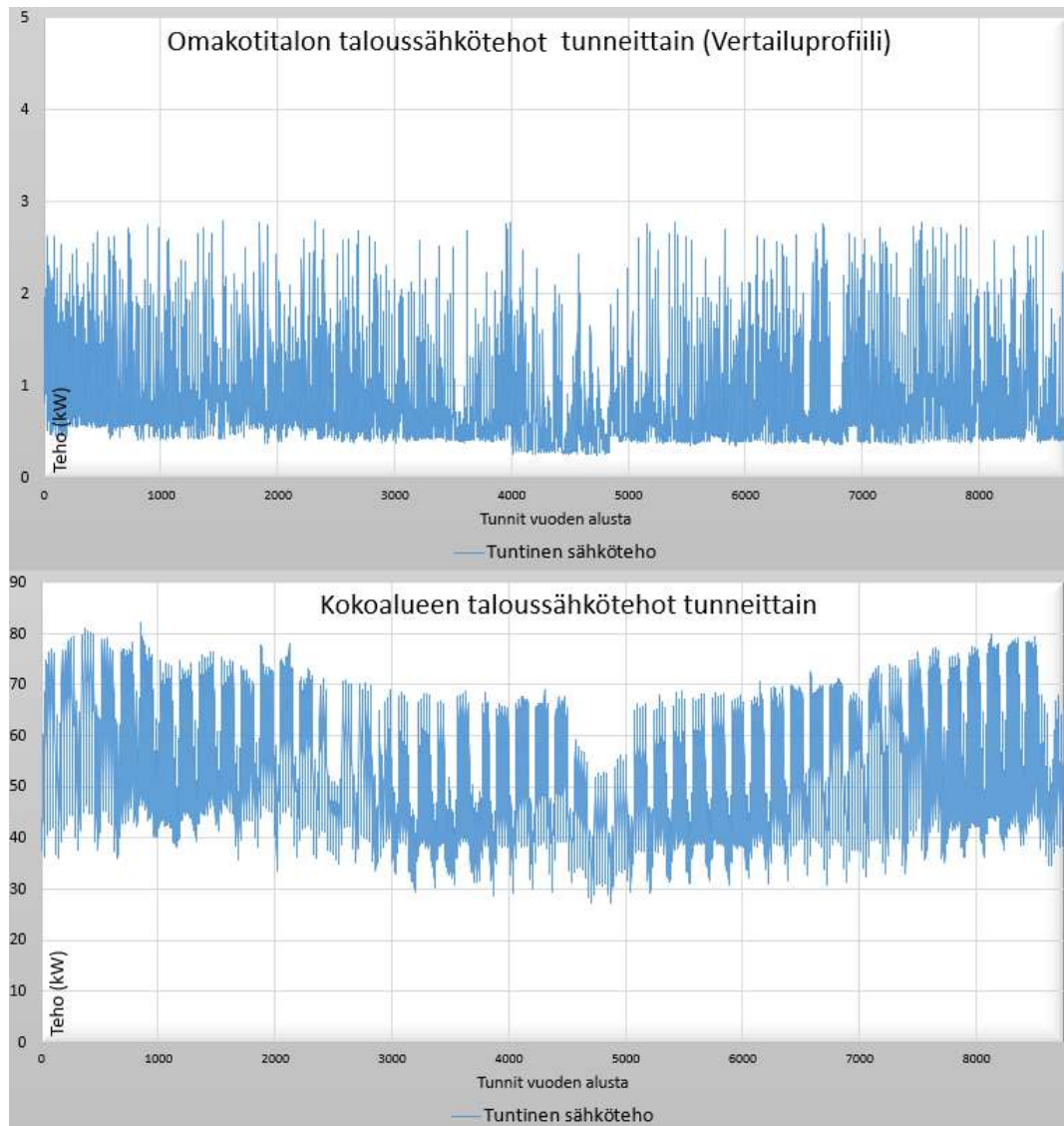
KUVA 5. Omakotitalon lämmitystehojen kulutusprofiili Hybridijärjestelmät-kursilta (11.)

Taloussähkön kulutusprofiili luodaan täsmälleen samalla tavalla kuin aiemmin lämmitystehojen kulutusprofiilien määrittämisessä eli kopioitiin EnergyPlan-ohjelman tekstitiedostosta tuntiset sähkötehot Excel-taulukkoon. Profiilipohja otetaan Piitimen kunnan alueellisesta sähkönkulutusprofiilista. Näitä tehoja iteroitiin, kunnes ne vastasivat vuoden sähkönkulutuksen kokonaiskulutusta. Sähkönkulutukseen lisättiin vielä 29 sähkölämmitteisen talon lämmitystehon tarpeet. (Kuva 6.)



KUVA 6. Alueen sähköntarpeiden kulutusprofiili

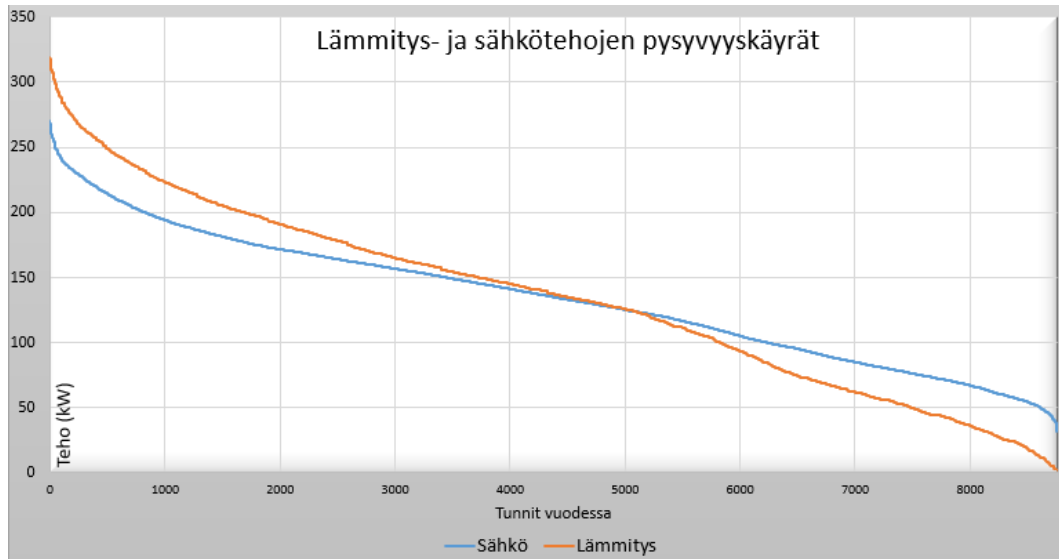
Taloussähkön kulutusprofiilia verrattiin Hybridijärjestelmät-kurssin omakotitalon taloussähkön kulutusprofiiliin, jotta voitiin varmistaa EnergyPlan-ohjelman ja Motivan kodin energiaoppaan mukaan tehdyn profiilin käytettävyys. Kuvassa 7 on esitettynä vertailu näiden profiilien eroavaisuuksista.



KUVA 7. Omakotitalon taloussähkötehojen kulutusprofiili Hybridijärjestelmät-kurssilta ja työssä käytetyn taloussähkötehojen kulutusprofiilin vertailu (11.)

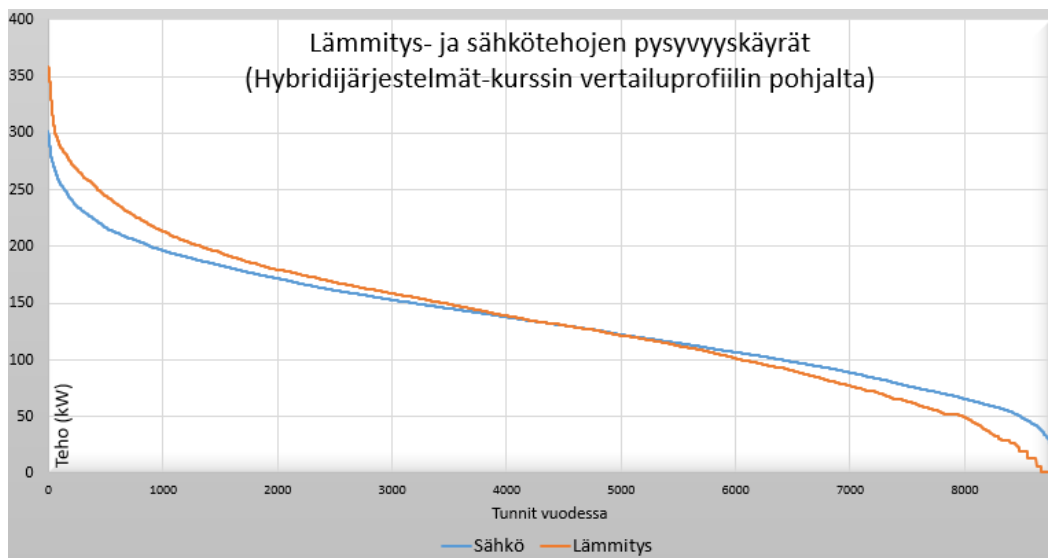
Kulutusprofiileista tehtiin pysyvyyskäyrät järjestämällä tuntiset tehot suuruusjärjestykseen. Tästä nähdään, että lämmitysteho on yli 200 kilowattia 1697 tuntia eli noin 19 % vuoden ajalta, yli 150 kilowattia 3732 tuntia eli noin 43 % vuoden ajalta

ja yli 100 kilowattia 5843 tuntia eli noin 67 % vuoden ajalta. Sähkötehoja analysoitaessa voidaan todeta, että teho on koko vuoden 270 kilowatin ja 40 kilowatin välillä. (Kuva 8.)



KUVA 8. Alueen tehojen pysyvyyskäyrät, jossa ei tuotantohäviöitä mukana

Kulutusprofiilien ja pysyvyyskäyrien avulla voidaan nyt suunnitella kaukolämpöverkosto ja voimalaitoksen kokoluokka teholtaan, optimaaliselta hyötysuhteeltaan sekä ajomalleiltaan. Kuvassa 9 on esitettyä pysyvyyskäyrät vertailuprofiilin pohjalta (11).



KUVA 9. Alueen tehojen pysyvyyskäyrät vertailuprofiilien pohjalta (11.)

5 KAUKOLÄMPÖVERKOSTO

Kaukolämpöverkoston sijoituksen suunnittelu vaatii perehtymistä olemassa olevaan yhdyskuntatekniikkaan. Kaukolämpöverkosto on koko lämmönjakojärjestelmän kallein osa suuren putkimäärän, ja siitä johtuvien suurten rakentamiskustannuksien vuoksi. Suurten investointien vuoksi on verkoston erittäin hyvä kestävyys tärkeää kaukolämmityksen kannattavuudelle. Kaukolämpöverkosto koostuu meno- ja paluuputkesta. Putket asennetaan pääasiassa maan alle yhdensuuntaisina-, mutta voidaan yhdistää myös muihin rakenteisiin, kuten tässä työssä siltoihin. (16, s. 50.)

Verkosto muodostuu kolmenlaisista johdoista, siirtojohdoista, runkojohdoista ja talojohdoista. Siirtojohto yhdistää lämmöntuotantolaitoksen-, eli tässä työssä yhteistuotantolaitoksen runkojohtoihin. Runkojohdot jakavat kaukolämpöveden siirtojohdosta talojohdoin asiakkaille toimitettavaksi. (16, s. 51.)

Yleissuunnitelma kaukolämpöverkostosta tehdään useamman vuoden ajalle sisältämään yleiskuvan tarvittavasta uudesta verkostosta. Uusien kaukolämpöjohtojen reitti- ja asennussuunnitelmissa huomioidaan muun kunnallistekniikan vaikutukset kaukolämpöjohtojen sijoitteluun ja asentamiseen. (16, s. 52.)

Tässä työssä voimalaitos sijaitsee varsin keskeisellä alueella, joten siirtojohto on vain lyhyt putkiosuus, josta lämpöä lähdetään jakamaan runkojohdoilla etelän ja lännen suuntiin. Runkojohdossa putket on jaoteltu mitoitus varten 14 eri putkiosuuteen. Liitteessä 3 on esitetty kaikkien johto-osuuksien numero ja pituus. Lisäksi kaikkien johto-osuuksien kohdalla on merkitty johto-osuuden alueella sijaitsevien ja siitä tuotantolaitokselta poispäin sijaitsevien rakennusten lukumäärä yhteensä. Tätä tietoa tarvitaan johto-osuuden mitoitus teho määrittämiseen. Putkiston kokonaispituudeksi tulee hieman alle 4 kilometriä. Siirtojohdossa käytetään yksiputkijärjestelmää 2Mpuk-, ja muissa johdoissa kaksiputkijärjestelmää Mpuk.

5.1 Putkiosuuksien mitoitus

Putkien mitoitukseen tarvitsee tietää lämmityksen ja käyttöveden tehot mitoituslämpötiloilla, virtaamat kyseisillä tehoilla ja virtausnopeus putkessa. Virtausnopeutena käytetään näissä laskelmissa 2 metriä sekunnissa. Putkiston mitoitus alkaa kaukolämpötehon tarpeen selvityksestä. Siirtojohdolle lasketaan kaavalla 1 koko alueen lämpimän käyttöveden tarve. (17.)

$$\dot{Q}_{LKV} = 57 + 15,3[\ln(n^3 - n^2 + 1)]^{1,17} \quad \text{KAAVA 1}$$

jossa

n = asuntojen lukumäärä.

Siirtojohdon kaukolämpötehoon lasketaan omakotitalojen kulutusprofiilista saatu tuntinen huippulämmitysteho kullekin talolle. Tähän lisätään vielä koulun kulutusprofiilista saatu tuntinen huippulämmitysteho sekä huippulämmitysteho lämpimälle käyttövedelle, joka on vielä kerrottu kahdella omakotitalon arvosta. Muille putkiosuuksille lasketaan kaukolämpöteho omakotitalojen lämmityksen ja lämpimän käyttöveden tehot taulukon 4 mukaisilla arvoilla. Kaikkien putkiosuuksien kaukolämpötehot ovat esitettyinä liitteessä 4. (Taulukko 4.)

TAULUKKO 4. Kaukolämpöverkoston laskennassa käytettäviä rakennusten huipputehoja (18, s. liite 1)

Huipputehot/tuntiset tehot kulutusprofiileista (kW):	
Omakotitalo, lämmitys	6,61
Koulu, lämmitys	52,02
Koulu, lkv (varmuuskertoimella 4)	20
Päiväkoti, lämmitys	7,30
Päiväkoti, lkv (varmuuskertoimella 2)	10
Omakotitalo, lkv (Suositus K15/1998)	5

Mitoituksessa täytyy seuraavaksi laskea putkiosuuksien virtaamat. Lämpötilaerona käytetään mitoituksessa siirtojohdolle 40 °C:ta ja muille johdoille 50 °C:ta. Nämä lasketaan kaavalla 2. (16, s. 54.)

$$q_v = \frac{\dot{Q}}{\rho c_p \Delta T} \quad \text{KAAVA 2}$$

jossa

\emptyset = kaukolämpöteho, kW

ρ = veden tiheys, 1000 kg/m³

c_p = veden ominaislämpökapasiteetti, 4,2 kJ/kgK

ΔT = meno- ja paluuveden lämpötilaero, °C.

Seuraavaksi lasketaan virtauksen halkaisija saaduilla tiedoilla. Tuloksen perusteella valitaan seuraava suurempi putkikoko. Virtausputken halkaisija d_{lask} [m] saadaan laskettua kaavalla 3. (16, s. 43.)

$$d_{lask} = \sqrt{\frac{4q_v}{\pi v_{mit}}} \quad \text{KAAVA 3}$$

jossa

q_v = virtaama, m³/s

v_{mit} = veden mitoitusvirtausnopeus, m/s.

Laskelmien tuloksina siirtojohdosta tuli DN80-kokoinen ja muista putkista DN50–DN20-kokoisia, pienenevällä trendillä voimalaitoksen suunnalta poispäin. Tulokset ovat nähtävissä liitteessä 4.

Putkistojen mitoituksessa otettiin huomioon painehäviöt verkoston pumppauskustannusten minimoimiseksi. Runkojohtojen painehäviö saa olla tässä tapauksessa, kun paine-eroa on normaalissa käyttötilanteessa runsaasti käytettävissä peräti 2 baaria kilometriltä. Siirtojohdolle pidetään ehdottomana rajana 1 bar. (14, s. 43.) Putkien painehäviöiden laskemiseksi tarvitaan tiedot putken poikkipinta-alasta, virtausnopeudesta, putken karheudesta sekä sen pituudesta. Putken poikkipinta-ala lasketaan kaavalla 4. (17.)

$$A_{ds} = \frac{\pi d_s^2}{4} \quad \text{KAAVA 4}$$

jossa

A_{ds} = putken poikkipinta-ala, m²

d_s = putken sisähalkaisija, m.

Kun tiedetään putken poikkipinta-ala, voidaan laskea virtausnopeus kyseisessä putkessa kaavalla 5 (17).

$$v = \frac{q_v}{A_{ds}} \quad \text{KAAVA 5}$$

jossa

v = virtausnopeus, m/s

q_v = veden virtaama, m³/s.

Tällä virtausnopeudella jatketaan laskelmaa selvittämällä Reynoldsin luku kaavalla 6. Reynoldsin lukua tarvitaan Moodyn käyrästä lukemiseen. (17.)

$$Re = \frac{vd_s}{\nu} \quad \text{KAAVA 6}$$

jossa

ν = kinemaattinen viskositeetti, m²/s.

Toinen arvo, joka Moodyn käyrästä lukemiseen tarvitaan, on suhteellinen karheus. Tässä laskelmassa käytetään putken sisäpinnan karheuteen oletusta 0,04 millimetriä. Suhteellinen karheus saadaan laskettua kaavan 7 mukaan. (17.)

$$karheus_{suht.} = \frac{karheus}{d_s} \quad \text{KAAVA 7}$$

jossa

$karheus_{suht.}$ = suhteellinen karheus

$karheus$ = putken sisäpinnan karheus, mm

d_s = putken sisähalkaisija, mm.

Reynoldsin luvulla ja suhteellisella karheudella luetaan nyt Moodyn käyrästä näitä arvoja vastaava lukema painehäviön laskentaan tarvittavaan kitkavastuskertoimeen. Moodyn käyrästä on esitetty liitteessä 6.

Järjestelmässä mutkien ja komponenttien aiheuttama painehäviö on huomioitu laskemalla putkelle ekvivalenttiputkipituus kaavan 8 mukaisesti (17).

$$L_{ekv} = L * k \quad \text{KAAVA 8}$$

jossa

L_{ekv} = ekvivalenttiputkipituus, m

L = putken pituus, m

k = kerroin, jolla otetaan kertavastukset huomioon, 1,1.

Nyt on kaikki tarvittavat arvot tiedossa putkiosuuden painehäviön laskemista varten. Painehäviö lasketaan noudattamalla kaavaa 9. (17.)

$$\Delta p = \lambda \frac{L_{ekv}}{d_s} \frac{1}{2} \rho v^2 \quad \text{KAAVA 9}$$

jossa

Δp = putken painehäviö, Pa

λ = kitkavastuskerroin

ρ = aineen tiheys, kg/m³

v = aineen virtausnopeus, m/s

Lopuksi tarkistetaan vielä, että painehäviöt eivät putkiosuuksilla ylitä alussa mainittuja sallittuja maksimiarvoja. Painehäviön suuruus kilometriä kohden tarkastetaan kaavan 10 avulla. (17.)

$$\Delta p_{km} = \frac{\Delta P}{L} \quad \text{KAAVA 10}$$

jossa

Δp_{km} = putken painehäviö kilometrin matkalla, bar/km

ΔP = putken painehäviö, bar

L = putken pituus, km.

Vaikeimman piirin painehäviöksi tuli noin 4,5 bar. Muutamat putket jouduttiin laskelmissa muuttamaan 1–2 kokoa suurempaan lasketusta putken poikkipinta-alasta, jotta painehäviöt osuivat sallitulle alueelle.

Putkistojen kustannuksia arvioitiin Energiateollisuus ry:n vuoden 2017 rakentamiskustannusten tilastoista. Kaikki tulokset kaukolämpöverkoston mitoitusosiosta löytyvät liitteistä 4 ja 5. (19, s. 3.)

5.2 Lämmönjakokeskusten suunnittelu

Omakotitaloille on olemassa valmiit lämmönjakokeskukset valmistajien tuotevalikoimissa ja ainoastaan koululle ja päiväkodille mitoitetaan lämmönsiirtimet ja säätöventtiilit. Taulukon 4 perusteella nähdään, että omakotitaloille sopivat kaikki standardikoot, joita on markkinoilla. Omakotitalolle voidaan ottaa tässä työssä 10–15 kilowatin lämmönsiirrinteho. (16, s. 98.)

Koululle ja päiväkodille täytyy lämmityksen lämmönsiirrin laskea lämmönläpäisykertoimen ja lämpötilaeron perusteella. Lämpötilaero on Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D3 mukaisten sisälämpötilan 21 °C ja mitoituslämpötilan –32 °C erotus. Tästä saatiin laskettua pyöristettynä seuraavaan isompaan kokoon koululle sopivaksi 60 kilowatin ja päiväkodille 10 kilowatin lämmönsiirrinteho. (8, s. 18; 8, s. 29.)

Käyttöveden osalta ensin täytyy laskea toisiopuolen normivirtaamien summa, josta saadaan mitoitusvirtaama Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D1 taulukoista suurimman normivirtaaman avulla. Mitoitusvirtaamaa käytetään lämmönjakokeskuksen putkistojen ja lämmönsiirrinteojen laskentaan kaavan 11 mukaisesti. (16, s. 100.)

$$\Phi = q_v * \rho * c_p * \Delta T$$

KAAVA 11

jossa

Φ = käyttövesiteho, kW

ρ = tiheys, kg/dm³

q_v = käyttöveden mitoitusvirtaama, dm³/s

c_p = ominaislämpökapasiteetti, kJ/kgK

ΔT = lämpötilaero, K.

Omakotitalolle käytetään K1-julkaisussa esitettyä mitoitusvirtaamaa 0,3 litraa sekunnissa. K1-julkaisun mukaan tällä virtaamalla saadaan 60 kilowatin lämmönsiirrinteho lämpimälle käyttövedelle. (20, s. 12.)


Koulun normivirtaamien summaksi saatiin 12,5 litraa sekunnissa suurimman mitoitusvirtaaman ollessa 0,2 litraa sekunnissa. Tästä saatiin mitoitusvirtaamaksi

lämmönsiirrintehon laskentaan 0,98 litraa sekunnissa. Koulun toisiopuolen lämpötilaerona käytettiin 48 °C:ta ja tästä saatiin laskettua kaavan 11 avulla pyöristettynä ylöspäin 200 kilowatin lämmönsiirrinteho. (21, s. 35–37.)

Päiväkodin normivirtaamien summaksi saatiin 7 litraa sekunnissa suurimman mitoitusvirtaaman ollessa 0,2 litraa sekunnissa. Tästä saatiin mitoitusvirtaamaksi lämmönsiirrintehon laskentaan 0,74 litraa sekunnissa. Päiväkodinkin toisiopuolen lämpötilaerona käytettiin 48 °C:ta ja tästä saatiin laskettua kaavan 11 avulla pyöristettynä ylöspäin 150 kilowatin lämmönsiirrinteho. (21, s. 35–37.)

Lämmönjakokeskus omakotitaloille voidaan ottaa esimerkiksi HögforsGST:n tuotekatalogista laskettujen ja arvioitujen lähtötietojen perusteella. Parhaiten teknisiltä vaatimuksiltaan vastasi asuinalueen lämmönjakokeskuksen tarpeita UNIS100-2RF-mallisto, joka on suunniteltu juuri pientalojen liittämiseksi kaukolämmitykseen. Keskukseen asennukseen tarvitaan vain putkiliitännät kaukolämmölle sekä lämmitys- ja käyttövesiverkostolle. (22.) KytKentäkaavio omakotitalotyyppille valitulle UNIS100-2RF-lämmönjakokeskukselle löytyy liitteestä 7 (23).

TAULUKKO 5. Teknisiä tietoja omakotitalomitoitetulle lämmönjakokeskukselle Högfors UNIS100-2RF (22)

UK, Omakotitalo: Högfors UNIS100-2RF-O, seinäasenteinen		
Lämmönsiirtimet:		Ensiö-/toisiolämpötilat (°C):
E8LASW-Nx44/1P käyttövesi	60 kW	70-20/10-58
E5ASx34/1P lämmitys (Patteri- tai lattialämmitys)	15 kW	115-33/30-45
Säätöventtiilit:		Auktoriteetit kohteessa:
Ouman VD215-1.6 käyttövesi	kvs: 1,6	0,51
Ouman VD215-0.4 lämmitys	kvs: 0,4	0,78
Kiertovesipumput:		 HögforsGST
Grundfos Alpha2 L 15-60 CIL2 käyttövesi		
Grundfos Alpha2 L 15-60 lämmitys		
Säätökeskuksena Ouman H23		

Koululle ja päiväkodille lämmönjakokeskukseksi ei valita valmista pakettia, vaan se teetetään mittatilaustyönä, joka toimitetaan tehdasvalmiina kokonaisuutena. Högforsin GST -lattia-asenteiset lämmönjakokeskukset teetetään juuri suurille kiinteistöille kaukolämpöverkoston liittämiseksi. Lämmönjakokeskukseen sisältyvät kovajuotetut levylämmönsiirtimet, joiden lämmönsiirrintehoiksi arvioidaan tarvittavan koulussa lämmitykselle noin 60 kilowattia ja käyttövedelle 200 kilowattia. Vastaavasti päiväkodille lämmönsiirrintehot lämmitykselle on 15 kilowattia ja

käyttövedelle 150 kilowattia. Lisäksi pakettiin kuuluu kaikki tarvittavat kiertovesipumput ja säätöventtiilit sekä muut komponentit siten, että keskukselle tarvitsee olla valmiina vain putkiliitännät kaukolämmölle ja lämmitys- ja käyttövesiverkostolle. (24.)

Lämmönjakokeskusten säätöventtiilien sopivuus koulussa ja päiväkodissa tarkastetaan vielä laskemalla. Tarvittavat lähtötiedot näiden tarkastamiseen saadaan mitoitetuista lämmönsiirrintehoista ja lämmönjakokeskuksien ilmoitetuista painehäviöistä sekä K1-julkaisun mukaisista lämpötiloista. Aluksi lasketaan kaavalla 12 säätöventtiilin mitoituspaine-ero, joka on K1-julkaisussa ilmoitettu olevan vähintään 60 kPa. Mitoituspaine-eroksi laskettiin tässä työssä joka kohdassa hieman enemmän kuin 60 kPa. (20, s. 15.)

$$\Delta p = \Delta p_{ilm} - \Delta p_{siirrin} - \Delta p_{putkisto}$$

KAAVA 12

jossa

Δp = säätöventtiilin mitoituspaine-ero, bar

Δp_{ilm} = lämmönmyyjän ilmoittama käytettävissä oleva paine-ero, bar

$\Delta p_{siirrin}$ = siirtimen painehäviö, bar

$\Delta p_{putkisto}$ = putkiston painehäviö, bar.

Lämmönsiirtimien ensiöpuolen mitoitusvirtaamat saadaan laskettua aiemmin käyttövesitehonkin laskentaan käytetyn kaavan 11 avulla. Tämän mitoitusvirtaaman sekä säätöventtiilin mitoituspaine-eron avulla voidaan laskea säätöventtiilin k_v -arvo kaavalla 13. (20, s. 15.)

$$k_v = \frac{q_v}{\sqrt{\Delta p}}$$

KAAVA 13

jossa

q_v = lämmönsiirtimen ensiöpuolen mitoitusvirtaama, m³/h.

Nyt voidaan tarkistaa valittujen lämmönjakokeskusten säätöventtiilien sopivuus niiden k_{vs} -arvon perusteella. Koulun ja päiväkodin lämmönjakokeskuksen säätöventtiilit valittiin k_{vs} -arvojen perusteella Oumanin VD-sarjasta taulukon 7 mukaan. (20, s. 15.)

TAULUKKO 6. Ouman VD-sarjan 2-tieventtiilien tuoteluettelo (25)

Koko	k_{vs} (m ³ /h)	Sulkupaine (kPa) 300 N moottorilla	Sulkupaine (kPa) 400 N moottorilla	Tilausnumero
DN15	0.25	1600	2500	VD215-0.25
DN15	0.40	1600	2500	VD215-0.40
DN15	0.63	1600	2500	VD215-0.63
DN15	1.0	1600	2500	VD215-1.0
DN15	1.6	1600	2500	VD215-1.6
DN20	2.5	1600	2500	VD220-2.5
DN20	4.0	1600	2500	VD220-4.0
DN25	6.3	1600	2500	VD225-6.3
DN32	10.0	1600	2500	VD232-10

Valittua k_{vs} -arvoa käytetään laskettaessa kunkin valitun säätöventtiilin todellista painehäviötä. Todellinen painehäviö lasketaan kaavan 14 mukaisesti. (20, s. 15.)

$$\Delta p_{sv} = \left(\frac{q_v}{k_{vs}} \right)^2 \quad \text{KAAVA 14}$$

jossa

Δp_{sv} = valitun venttiilin aiheuttama todellinen painehäviö, bar.

Lopuksi selvitetään säätöventtiilin auktoriteetti, joka määrittää sen toimivuuden. Auktoriteetin tulisi olla yli arvon 0,5 ja mitä enemmän sitä paremmin nopeat säädön muutokset onnistuvat. Liian suuri säätöventtiili aiheuttaa säädetyin lämpötilan kuten lämpimän käyttöveden lämpötilan huojuntaa. Auktoriteetti lasketaan kaavalla 15. (20, s. 15.)

$$\beta = \frac{\Delta p_{sv}}{\Delta p_{mit}} \quad \text{KAAVA 15}$$

jossa

β = auktoriteetti.

Kaukolämpöasiakkaiden lämmönjakokeskuksia voisi hakea myös muiden valmistajien mallistoista tässä luvussa selvitettyjen arvojen perusteella. Taulukossa 7 on esitettyinä kouluun ja päiväkotiin valitut säätöventtiilit ja niiden k_{vs} -arvot sekä auktoriteetit.

TAULUKKO 7. Valitut säätöventtiilit koululle ja päiväkodille

Säätöventtiilin kohde:	Venttiili	kvs	Auktoriteetti (0,5-1,0)
Koulu, lämmitys	Ouman VD215-1.0	1	0,66
Koulu, käyttövesi	Ouman VD220-4.0	4	0,69
Päiväkot, lämmitys	Ouman VD215-0.25	0,25	0,66
Päiväkot, käyttövesi	Ouman VD220-2.5	2,5	0,98

5.3 Kaukolämmön ensiöpuolen pumppujen valinta

Kaukolämpöpumppuina eli kaukolämmön ensiöpuolen pumppuina käytetään yleisesti keskipakopumppuja. Pumput valikoidaan verkoston mitoitusosiossa laskettujen suurimman tarvittavan virtaaman, joka on esitettyinä liitteessä 4, ja koko kaukolämpöverkoston painehäviöiden avulla, jotka ovat laskettuina liitteessä 5. Painehäviöihin lisätään pumpun mitoitusta varten 1 bar varmuuden vuoksi. Painehäviöiden avulla lasketaan tarvittava nostokorkeus pumpulle kaavan 16 mukaisesti. (16, s. 44.)

$$h = \frac{\Delta p}{\rho \cdot g} \quad \text{KAAVA 16}$$

jossa

h = nostokorkeus, m

Δp = painehäviöt, Pa

ρ = tiheys, 1000 kg/m³

g = putoamiskiihtyvyys, 9,81 m/s².

Kun sopiva pumppu on löytynyt, voidaan sen kokonaishyötysuhteen (pumpun + moottorin + taajuusmuuttajan hyötysuhde) avulla laskea pumpun teho mitoitusvirtaaman ja nostokorkeuden avulla kaavalla 17. (17.)

$$P = \frac{q_v \cdot h \cdot \rho \cdot g}{\eta_p} \quad \text{KAAVA 17}$$

jossa

P = pumpun teho, W

η_p = pumpun kokonaishyötysuhde.

Pumppuja ohjataan invertterillä eli taajuusmuuttajalla. Ohjaus tapahtuu mitta-an-tureiden mittaamien paineiden, lämpötilojen ja virtaamien mukaan kaukolämpö-verkoston meno- ja paluuputkissa. Mittauspaikat ovat voimalaitoksella tai tie-tyissä kohdissa verkostoa, koska alue on pieni. Sääto toteutetaan vakio painesää-döllä tai suhteellisella säädöllä. Pumppujen kierrosnopeutta säädellään aktiivi-sesti, jotta saadaan pumppauksen nostokorkeus eli kaukolämpöverkoston paine-ero ja vesivirta vastaamaan asiakkaiden tarpeita. Tämä on välttämätöntä, että saadaan pumppauksen sähköenergian kulutus minimoitua. (16, s. 44.)

Kaukolämpöpumput mitoitettiin alustavasti Grundfosin verkkosivuilla olevalla pumpun mitoitusohjelmalla. Tähän mitoitusohjelmaan tarvitsi syöttää tarvittu nos-tokorkeus, mitoitusvirtaama, pumppujen lukumäärä sekä pumppujen tuoteperhe. Tuoteperheeksi valikoituu NKGE-mallisto, joka on suunniteltu juuri kaukolämpö-laitoksia varten. (Kuva 10.) Pumppuja otetaan kolme, joista yksi on varalla. Oh-jelmasta valikoitui sopivaksi pumpuksi normaalisti imevä yksijaksoinen keskipa-kopumppu NKGE 65-40-315/344 valurauta pesällä. Pumpun valintatietoihin syö-tettiin mitoitusvirtaama 14,1 m³/h, nostokorkeus 44,5 metriä, pumppujen luku-määrä 3 sekä tuoteperhe NKGE. Pumpun mitoitukset, ominaiskäyrä ja toiminta-piste löytyvät liitteestä 8. Pumpun mitoitusohjelman perusteella valitulla pumpulla on melko alhainen hyötysuhde kokoon suhteutettuna. Lopullinen pumpun valinta tehdään kuitenkin vasta, kun mitoitukset ovat tarkempia. (26.)



KUVA 10. Grundfos NKGE keskipakopumppu ja moottori asennuspedillä (27)

Pumppuja valittiin kaksi yhtä aikaa käytettäväksi ja yksi varalle. Kaksi pumppua mahdollistaa, että pumppuja voidaan käyttää joustavasti vastaamaan asiakkaiden tarvitsemaa, lämpötehosta riippuvaa vesivirtaa. Järjestelmällä voidaan ylläpitää tarpeen mukaista painetasoa asiakkaiden lämmönjakokeskuksissa erilaisissa toimintaolosuhteissa. Pumppuja olisi mahdollista myöhemmin asentaa lisää, ja niitä voisi asentaa myös rinnan, jolloin käytettävyys paranisi entisestään. (16, s. 47.)

6 TUOTANTOLAITOS

Voimalaitokseksi alueelle tässä työssä halutaan CHP eli yhteistuotantolaitos, jolla voidaan tuottaa sähkö- ja lämpötehoa. CHP-laitoksia on monen suuruisia ja monenlaisilla polttoaineilla toimivia. Tässä työssä CHP-laitos tulee olemaan kokoluokaltaan pien-CHP sen tehon ollessa yli 10 kW mutta alle 10 MW. Mikro-CHP-laitokset ovat kategorialtaan pienempiä, maksimissaan 10 kilowatin tehoisia, ja suuret CHP-laitokset isompia, yli 10 megawatin tehoisia. CHP-laitostyypit voidaan jakaa kuuteen erilaiseen, jotka ovat eri kehitysasteella ja soveltuvat erityyppisiin ratkaisuihin. CHP-järjestelmissä käytetyt tekniikat ovat esitettynä taulukossa 8 eri ominaisuuksineen. (28, s. 4–10.)

TAULUKKO 8. Pien-CHP-tekniikoiden ominaisuuksia (28, s. 11)

Tekniikka	Pienin koko	Suurin koko	Sähkön-tuotannon hyötysuhde	CHP-tuotannon kokonais-hyötysuhde	Tyypillinen käyttöikä	Kehitys-aste	Tärkein tekninen vahvuus pien-CHP -käytössä	Suurin tekninen heikkous pien-CHP -käytössä
	[kWe]	[kWe]	[%]	[%]	[vuotta]			
Mikroturbiini	> 1	< 1 000	n. 15	85 lämmön-talteenotolla	15	Varhais-kaupallisessa vaiheessa	Pieni huoltotarve	Polttoaineen oltava kaasumainen tai nestemäinen
Polttomoottori	10	20 000	25 - 40	n. 80	15	Laajasti käytössä	Korkea sähköhyötysuhde	Verrattain suuri huollon tarve
Stirling-moottori	0,5	< 75	15 - 35	75 - 90	15	Pilot-vaiheessa	Pieni huoltotarve	Rajallinen sähköhyötysuhde
Höyryturbiini ja -kone	100	500 000	15 - 35 (alle 3 MW _e)	75 - 85 (alle 3 MW _e)	15	Laajasti käytössä	Tekniikan todettu toimivuus	Sähköhyötysuhde osakuormalla
Polttokennot	0,5	2 000	30 - 50	75 - 95	1-5	Kehitys-vaiheessa	Korkea sähköhyötysuhde	Lyhyt kestoikä
OCR-prosessi					> 20	Varhais-kaupallisessa vaiheessa	Hyvä sähköhyötysuhde myös osakuormalla	Rajallinen sähköhyötysuhde

Pien-CHP-laitoksissa voidaan käyttää monenlaisia polttoaineita. Useimmissa tekniikoissa voidaan nykyisin käyttää fossiilisten polttoöljyjen ja maakaasun sijasta uusiutuvia energialähteitä, kuten erilaisia biomassoja, puuta, pellettiä, haketta sekä biokaasua ja bioöljyä. Puumassasta ja hakkeesta voidaan tehdä puukaasua, joka soveltuu kaasumoottoreiden polttoaineeksi tai muihin tekniikoihin, joissa kiinteää polttoainetta ei voi käyttää. (29, s. 12–13.)

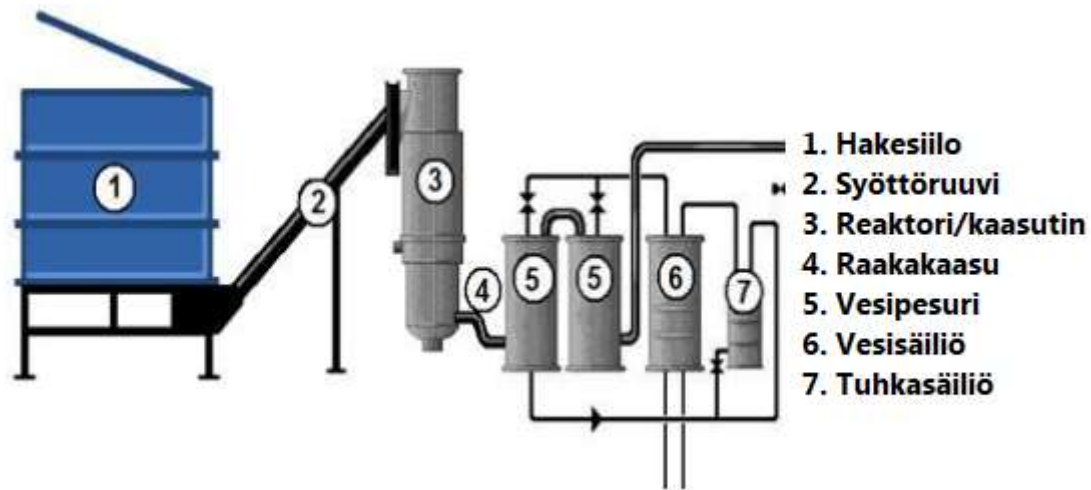
Hake olisi saatavuuden ja halvan hinnan vuoksi muihin polttoaineisiin verrattuna paras uusiutuva polttoaine käytettäväksi tässä kohteessa. Lisäksi itse voimalaitoksen ja sen eri laitteistoiden investointikustannukset on syytä pysyä kohtuullisena, jotta tämän kokoluokan tuotantolaitos olisi kannattavaa. Koko tuotantolaitokselle on varattu pohjapinta-alaa 150 neliömetriä.

Näillä rajoituksilla paras vaihtoehto voimalaitoksen tekniikaksi on puukaasukäyttöinen polttomoottori. Micropoliksen tekemän selvityksen mukaan siinä on paras sähköntuotannon hyötysuhde, ja sen investointikustannukset ovat muihin tekniikoihin verrattuna huokeammat. Lisäksi käynnistys ja sammutus onnistuu nopeasti sekä vaivattomasti. Laitos toimii tehokkaasti myös kohtuullisella osakuormalla ja sen säädettävyys onkin hyvä. Lisäksi laitokselle mitoitetaan hakekattila ja lämminvesivaraaja talven huipputehon tuotantoa ja kesän pieniä lämmöntarpeita varten. (28, s. 5.)

Ylläpito ja huolto polttomoottorissa on helppoa vaikkakin vaatii muihin tekniikoihin verrattuna enemmän huoltoa. Perushuolto, jossa vaihdetaan öljyt, tehdään 2000–5000 käyttötunnin välein, ja peruskorjaus, jossa vaihdetaan esimerkiksi männät ja sylinteriputket, tehdään noin 20 000 käyttötunnin välein. Polttoaineeksi järjestelmissä voi muuttaa pienillä säätömuutoksilla ilman suurempia laitteistomuutoksia myöhemmin esimerkiksi biokaasun. (29, s. 6.)

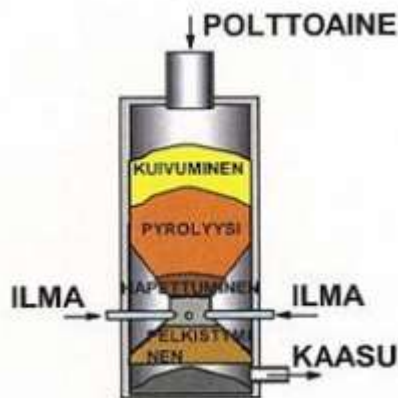
6.1 Hakkeen kaasutus

Puun kaasutuksella syntyneen kaasun poltto moottorissa on yksi parhaista teknologioista tehdä yhteistuotannolla sähköä pienessä kokoluokassa. Energialähteenä on usein metsähake, mutta kaasuttaa voi myös mekaanisen metsäteollisuuden sivutuotteita tai muita biomassoja. (29, s. 7.) Kuvassa 11 on esitettyinä eräänlainen hakkeen kaasutuksen toimintaperiaate ja tärkeimmät laitteet sen tuottamiseen.



KUVA 11. Gasek Oy:n pien-CHP laitteiston kaasutuslaitteiston toimintaperiaate (29, s. 15.)

Puun kaasutustekniikoista suurin osa perustuu myötävirtakaasutukseen. Myötävirtakaasutuksessa polttoaine ja hapetuskaasut menevät samaan suuntaan. Hapetuskaasu johdetaan pyrolysoituvan puun joukkoon, jolloin puusta vapautuu haihtuvia aineita, jotka osittain hapettuvat. (Kuva 12.) Tästä syntyy reaktiotuotetta, joka pakotetaan kulkemaan reaktorin kurkun läpi, jolloin palamisvyöhykkeen läpäisseet tervat krakkaantuvat kuumassa hiilipedissä. Raakakaasu pestään tämän jälkeen vielä vesipesureissa, jonka jälkeen se on riittävän puhdasta puukaasua syötettäväksi kaasumootoriin. Raakakaasu voidaan puhdistaa riittävän hyvin myös nykyaikaisilla kuumapuhdistustekniikoilla, joissa alkalimetallit ja kiintoaineshiukkaset poistetaan keraamisten kuumasuodattimien avulla. (29, s. 8.)



KUVA 12. Reaktorin/kaasuttimen toimintaperiaate (29, s. 8.)

Myötävirtakaasutus soveltuu hyvälaatuiselle, lähes tuhkattomalle ja palamaiselle polttoaineelle eli esimerkiksi hakkeelle. Pyrolyysialueelle voi jäädä kuitenkin kylmiä alueita, joissa hapetusilma ei pääse vaikuttamaan. Tämä aiheuttaa sen, että polttoaine jää kaasuuntumatta ja muodostaa tervoja. Pyrolyysialueen ylikuumeneminen aiheuttaa taas typpioksideja ja tuhkan laavaantumista. Tavanomaisilla polttoaineilla esiintyy usein holvaantumista, jossa tervoja päätyy poltettavaan puukaasuun. Puukaasuun jäävien tervojen määrä ei saa ylittää arvoa 100 mg/m^3 kaasumoottorin sisäännotossa. Kuitenkaan nykyaikaisissa tekniikoissa kaasutuksesta ei aiheudu käyttöongelmia hakkeen laadun ja parempien kaasun pesureiden sekä suodatusten ansiosta. (29, s. 8–9.)

6.2 CHP-polttomoottorien ja kattiloiden valinta

Polttomoottoreita valittaessa kriteereinä siis on sen hakekaasulle soveltuvuus, hyvä sähköhyötysuhde ja lämmityksen huipputeho noin 40–60 % vuoden huipputehontarpeesta. Huipputehoja varten sekä kesän pieniä tehoja varten asennetaan hakekattila ja lämminvesivaraaja. Käytettävyyden parantamiseksi valitaan kaksi pienehköä, hieman eri kokoista CHP-yksikköä, joita voidaan tarpeiden mukaan ajaa myös yhtäaikaaisesti. Maksimi osatehoksi CHP-yksiköille asetetaan 75 %, jotta hyötysuhde pysyy hyvänä.

Kahden laitoksen etu on myös se, että toista laitosta voidaan käyttää toisen laitoksen huoltojen aikana, jonka ansiosta sähkön tuotanto on katkeamatonta. Talven kovimmilla kulutuksilla yhtäaikaisessa käytössä saadaankin sähköntuotanto

maksimoitua. Polttomoottorisissa CHP-laitoksissa on myös se etu muihin CHP-tekniikoihin, että siinä on 75% osatehollakin hyvä hyötysuhde ja siten se helpottaa niiden säädettävyyttä. Heikkoutena hakekaasua käyttävissä CHP-laitoksissa on niiden prosessissa muodostuva terva, joka vaurioittaa koko kaasutusjärjestelmää ja polttomoottoria sekä aiheuttaa ympäristöongelmia.

Tuotantolaitokseen valittiin saksalaisen LiPro Energyn valmistamat HKW 50- ja HKW 30 CHP -laitosyksiköt (kuva 13). HKW-yksikkö on kompaktin kokoinen valmis paketti, joka sisältää kaikki tarvittavat CHP-yksikön komponentit eli hakekaasuttimen, kaasun pesimet ja suodattimet, vaihtovirtageneraattorin, prosessilämmönsiirtimet, kiertopumput ja ohjausyksikön. (30.)



KUVA 13. LiPro Energy HKW-50 -CHP-yksikön mallikuva (30)

HKW 50 -laitoksella saa maksimissaan lämpötehoa 110 kilowattia ja sähkötehoa 50 kilowattia erittäin hyvällä 84 %:n kokonaishyötysuhteella ja kohdealueelle varsin hyvin soveltuvalla 25–26 %:n sähköhyötysuhteella. Tällä saadaan vuodessa teoreettisesti maksimissaan 8000 tunnin käyttöajalla tuotettua 400 MWh sähköä ja 880 MWh lämpöä. Toisella HKW 30 -laitoksella saadaan samoilla hyötysuhteilla maksimissaan lämpötehoa 70 kilowattia ja sähkötehoa 30 kilowattia. HKW 30:lla saadaan vuodessa teoreettisesti maksimissaan 8000 tunnin käyttöajalla tuotettua 240 MWh sähköä ja 560 MWh. Näillä vuoden käyttöajoilla yksikköjen kokonaiskäyttöiksi tulee 15 vuotta. (30.)

Hakekaasutusyksiköt tarvitsevat tilaa leveyssuunnassa noin 6 metriä ja pituus-suunnassa noin 2,5 metriä. Polttomoottoriyksikölle vastaavat mitat ovat leveys-suunnassa noin 2 metriä ja pituussuunnassa 1,2 metriä. Korkeimmalta kohdaltaan kaasutusyksikkö yltää kahteen metriin. (30.)

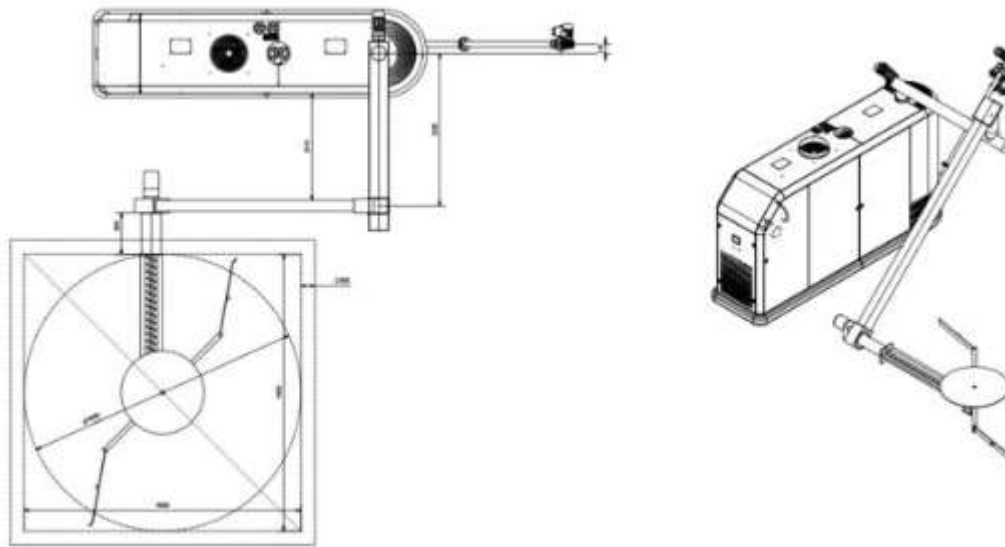
CHP-yksiköt ovat käytössä suurimman osan vuodesta. Nopeisiin lämmönvaihteluihin sekä talven huipputehoille ja kesän pienille tehoille tarvitaan kuitenkin lisäksi vielä lämmöntuotantoa kattilalla. Sopivaksi kattilaratkaisuksi tähän laitokseen valitaan kroatialaisen Centrometalin valmistamia Bio CK-P -hakekattiloita kolme kappaletta. (Kuva 14.) Se sisältää itse kuumavesikattilan, josta lämpöä siirretään lämminvesivaraajaan sekä hakepolttimen, hakkeen kuljettimen polttiin, ohjausyksikön ja puhdistuslaitteiston. Kattiloita on 25, 40, 60 ja 100 kilowatin tehoisina. Tähän laitokseen otetaan kaksi 100 kilowatin kattilaa ja yksi 60 kilowatin kattila. Yhdellä Bio CK-P 60 -kattilalla saadaan lämpötehoa tuotettua 18–60 kilowatin teholla ja yhdellä Bio CK-P 100 -kattilalla saadaan vastaavasti 30–100 kilowattia. Kattiloilla saadaan yhteensä 260 kilowatin lämpöteho, mikä riittää laitokselle varatuotantokapasiteetiksi. Tilaa jokainen kattila tarvitsee vain noin 3 metriä suuntaansa. (31.)



KUVA 14. Centrometal Bio CK-P -malliston hakekattila (31)

Molemmille voimalaitosyksiköille tulee teettää myös hakkeen kuljettimet hakesii-losta kaasuttimeen. Oma kuljetin täytyy myös rakentaa hakekattiloiden siiloon.

Kuljetin olisi samantyyppinen kuin Volterin kehittämä omalle CHP-yksikölleen tehty kuljetin, joka on esitettynä kuvassa 15.

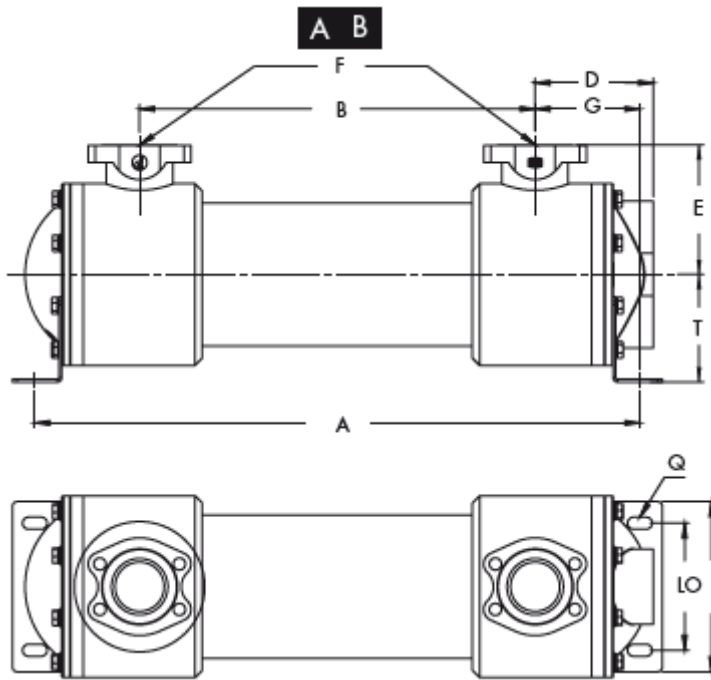


KUVA 15. Volterin hakkeen syöttöratkaisu siilosta kaasuttimeen (32, s. 39)

Monissa tällaisissa voimalaitosratkaisuissa on myös hakkeen kuivurit, mutta tässä työssä se jätetään pois kustannusten leikkaamiseksi, ja laitokselle tuodaan valmiiksi kuivattua haketta. Kuitenkin voimalaitosta voitaisiin tulevaisuudessa laajentaa kattamaan myös hakkeen kuivuri ja itse puun haketin.

6.3 Voimalaitoksen lämmönsiirrin

Lämmönsiirrin siirtää lämpöä voimalaitoksen vesipiiristä kaukolämpöveden lämmittämiseen. Kaukolämmönsiirtimeksi voimalaitokselle valikoidaan usein järeä ja kestävä kuvan 16 mukainen putkilämmönsiirrin, mutta nykyisin suositetaan myös huomattavasti kompaktimman kokoista ja usein halvempaa levylämmönsiirrintä kattamaan huipputehon. Tässä työssä valikoitaessa sopivaa lämmönsiirrintä tuotevalikoimista huipputehona käytettiin CHP-laitosten ja kattiloiden yhteenlasketua huippulämmitystehoa. (33, s. 12–15.)



KUVA 16. HBE SKM 1200-sarjan lämmönsiirtimeen näkyvän osan mallinnus (34, s. 136.)

Pääasiassa voimalaitoksen lämmönsiirrin mitoitetaan aina mittatilaustyönä. Kuitenkin saksalaisen HBE:n tuotekatalogista löytyy voimalaitokseen soveltuvia putkilämmönsiirtimiä, joita voitaisiin pitää tässä työssä referenssinä. Lämmönsiirtimet ovat tuotekatalogissa pääasiassa tarkoitettu öljynjäähdytykseen, mutta SKM 1200 mallistossa on vesivariaatioitakin, jotka ovat jäähdytysteholtaan sopivia lämmönsiirtimiä. Näissä myös virtausnopeus pysyy sallituissa rajoissa, jotta painehäviöt eivät kasva liikaa. Liitteen 4 kaukolämpöputkiston mitoituslaskelmissa käy ilmi, kuinka suuri virtaama lämmönsiirtimelle tulee. Lämmönsiirtimeen tulee myös kestää siihen kohdistuvat paine- ja lämpötilavaatimukset. (34, s. 136-137.)

6.4 Lämminvesivaraajan mitoitus

Kaukolämpöverkostolle mitoitetaan tässä työssä vielä lämminvesivaraaja, jota tarvitaan kulutuspiikkien energian kattamiseen ja tuotantolaitosten lämpöenergian varastointiin. Tällä tavoin järjestelmä voidaan optimoida toimimaan siten, ettei tehoa välttämättä tarvitse nostaa kaikissa ajomalleissa hetkellisten muutosten vuoksi. (11.)

Lämminvesivaraajan mitoitus alkaa määrittämällä varaajan tehontarve. Tässä laskelmassa käytettiin varaajan tehontarpeena jo aiemmin laitokselle laskettua hetkellistä huipputehoä mikä on laskettu liitteessä 4. Tämän perusteella voidaan laskea varaajan tarvitsema energiamäärä. Tässä työssä mitoitettiin varaaja kattamaan huipputeho 10 minuutin ajalle. Varaajan lyhytaikainen energiamäärä lasketaan kaavalla 18. (11.)

$$Q_{varaaja} = \Phi_{var} * t_{purkujakso} \quad \text{KAAVA 18}$$

jossa

$Q_{varaaja}$ = varaajan tarvitsema lyhytaikainen energiamäärä, kWh

Φ_{var} = varaajan tehontarve, kW

$t_{purkujakso}$ = varaajan purkujakso huipputeholla, h.

Nyt voidaan laskea varaajan latausteho, kun lyhytaikainen energiamäärä on tiedossa. Lataustehon määrittämiseksi tulee tietää, kuinka pitkä latausaika halutaan. Valitaan tähän järjestelmään puoli tuntia ja lasketaan latausteho kaavalla 19. (11.)

$$\Phi_{lat} = \frac{Q_{varaaja}}{t_{latausaika}} \quad \text{KAAVA 19}$$

jossa

Φ_{lat} = varaajan latausteho, kW

$t_{latausaika}$ = varaajan latausaika, h.

Varaajalle tulee määrittää nyt mitoitustilavuus ja lämpöverkosta poistuva lämpötila, jotta voidaan laskea sen minimi-tilavuus. Tässä laskelmassa käytettiin varaajan lämpötilana 70 °C:ta ja lämpöverkosta poistuvan veden lämpötilana 35 °C:ta. Tämän perusteella tiedetään lämpötilaero, jota tarvitaan kaavassa 20 laskettavaan varaajan tilavuuden määrittämiseen. (11.)

$$V_{varaaja} = \frac{\left(\frac{\Phi_{lat}}{(c_p * \Delta T)} \right) * t_{latausaika} * 3600}{\rho} \quad \text{KAAVA 20}$$

jossa

$V_{varaaja}$ = varaajan tilavuus, l

c_p = veden ominaislämpökapasiteetti, kJ/kgK

ΔT = varaajan tulo- ja menupuolen välinen lämpötilaero, K

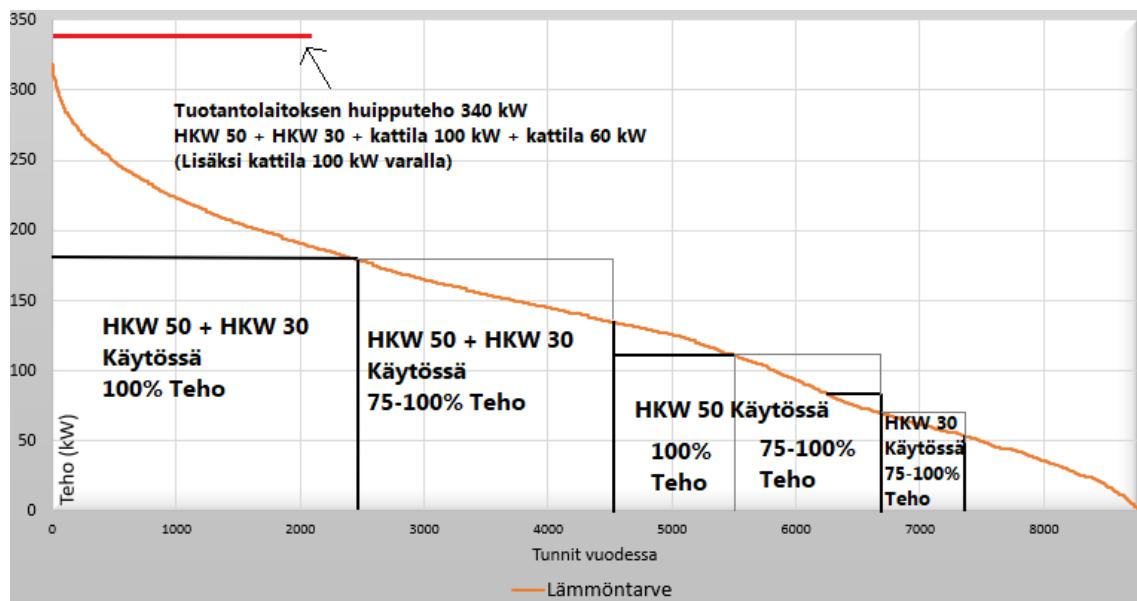
3600 = muuntokerroin tunneista sekunneiksi

ρ = veden tiheys, kg/l.

Tällä laskentamallilla tarvittavaksi varaajan tilavuudeksi saatiin noin 2 750 litraa. Useimmissa lämminvesivaraajien valmistajien mallistoissa on valmiina saatavilla hieman suurempaa 3 000 litran mallia, joka sopisi voimalaitoksen kuvaan suunniteltaessa pientä laajennusvaraa lämpöverkoston alueelle tulevaisuuteen. Eräs sopiva lämminvesivaraajamalli olisi laitokselle Akvaterm Nero 3000 -lämminvesivaraaja, joka on saatavilla useilla jälleenmyyjillä Suomessa.

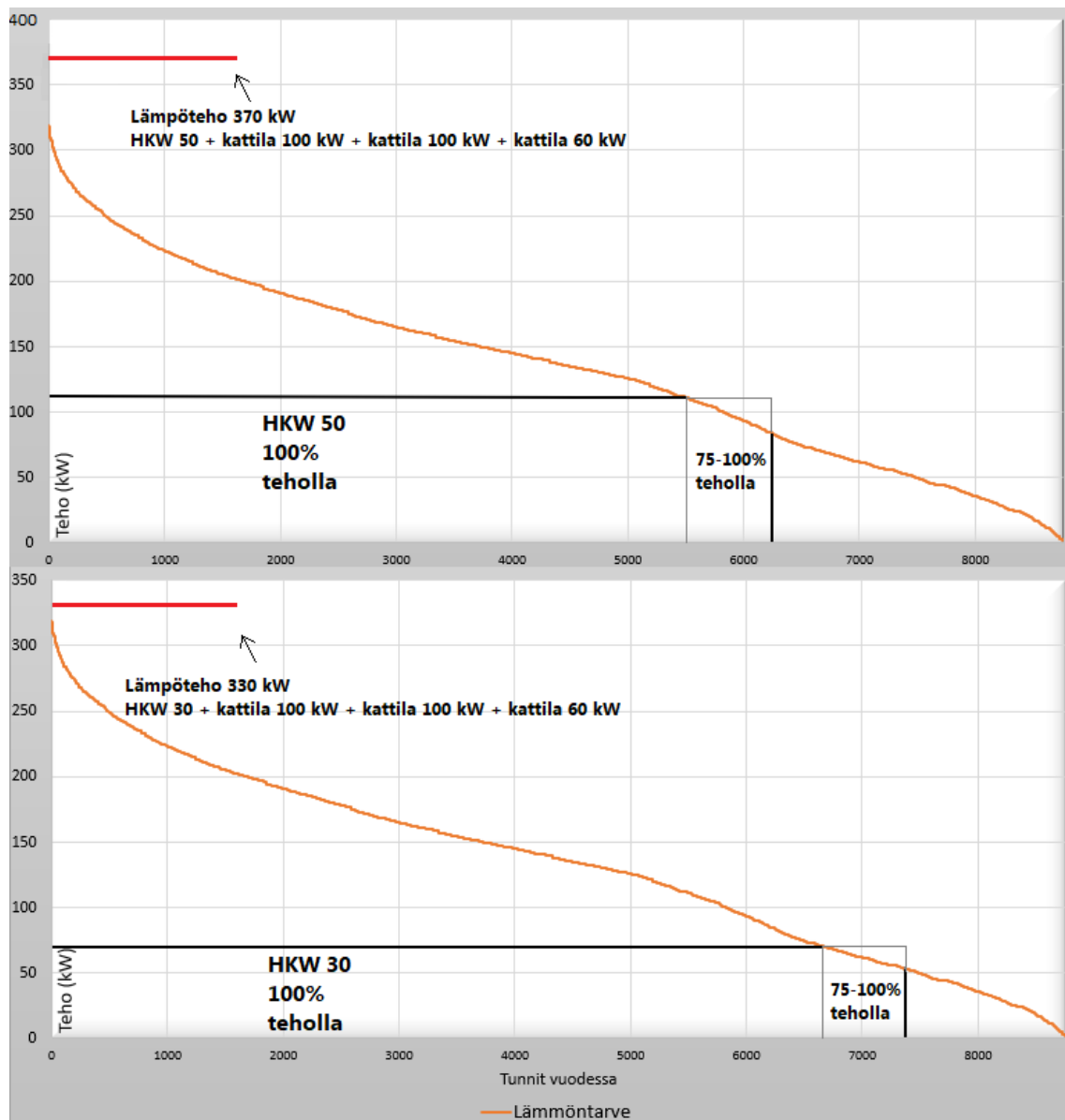
6.5 Ajomallit voimalaitoksella

Voimalaitos on mitoitettu ajettavaksi lämmöntarpeen mukaan siten, että kaikki mahdollinen sähkö saadaan tuotettua. Ajomalli valittiin näin, koska lämpöä ei luonnollisesti ole järkevää tuottaa yli tarpeen, kun taas sähköä voidaan joustavammin ostaa ja myydä verkkoon. Tällä laitteistolla ei tämän työn kohdealueella tule koko vuoden aikana sähköntuotantoa yli alueen tarpeen. Sähköntuotanto ei nouse edes talviöinä sähköntarpeen yli alueella olevien sähkölämmitteisten asuntojen ansiosta. CHP-yksiköiden alin osateho, jolla laitosta ajetaan, on 75 % huipputehosta. Kattiloita ajettaisiin siten että kesäisin pelkällä 60 kilowatin kattilalla ja talven huipputehontarpeilla 100 ja 60 kilowatin kattiloita. Toinen 100 kilowatin kattila tulee tarpeen, jos talven huipputehontarpeilla toinen CHP-yksikkö on epäkunnossa. (Kuva 17.)



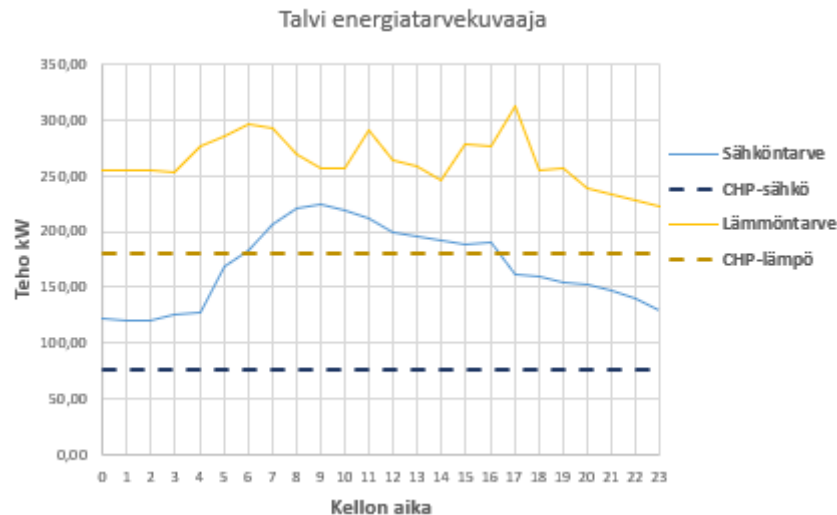
KUVA 17. CHP-yksikköjen ajomalli esitettynä lämpötehon pysyvyyssäyrällä

Peruseriaatteiltaan laitosta ajetaan kuvan 17 kulutusprofiilin mukaisesti pääasiassa CHP-yksiköillä lämmöntarpeiden mukaan, siten että kattilat kattavat suurimmat tehopiikit ja lataavat lämminvesivaraajaa, joka vastaa nopeisiin tehonvaihteluihin. Ideana on myös, että sähköä saadaan tuotettua mahdollisimman paljon omavaraisesti. Kuvassa 18 on esitettynä vertailun vuoksi ajomallit, mikäli vain toinen CHP-yksikkö olisi käytössä tuotantolaitoksella. Tällä tavalla investointikustannuksia saataisiin leikattua runsaasti, kun lämmöntuotantoa korvattaisiin kattilalla. Toisaalta uusiutuvalla energialla tuotettava omavarainen sähköntuotanto vähenee merkittävästi.



KUVA 18. CHP-yksiköiden ajomallit, jos toinen on vain käytössä

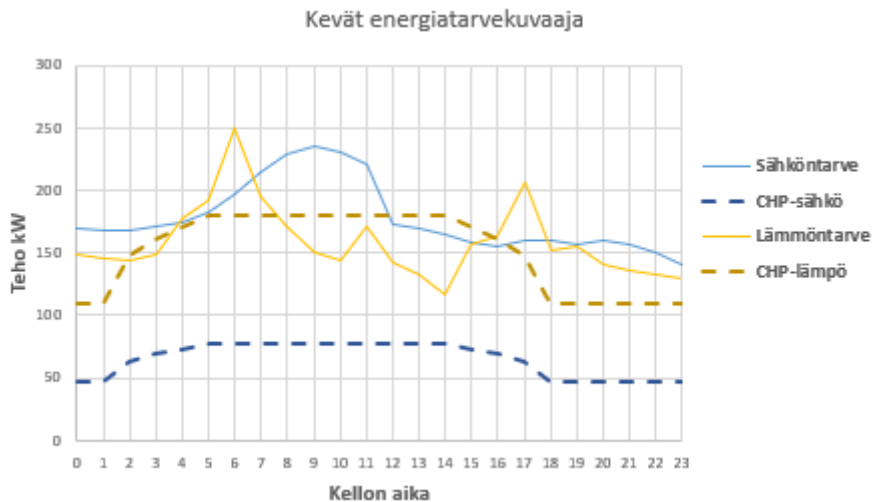
Sähkön tuotanto pyritään siis maksimoimaan CHP-yksiköillä ja esimerkiksi talven kovimmilla lämmöntarpeilla käytetään molempia CHP-yksiköjä. Yhteensä vuoden ajalta molemmat CHP-yksiköt ovat käytössä 4500 tuntia eli noin 51 % vuodesta. Kuvassa 19 on eräänlainen esimerkki, miten laitosta ajetaan talven aikaan.



KUVA 19. Ajomalliesimerkki talvella, kun molemmat CHP-yksiköt käytössä

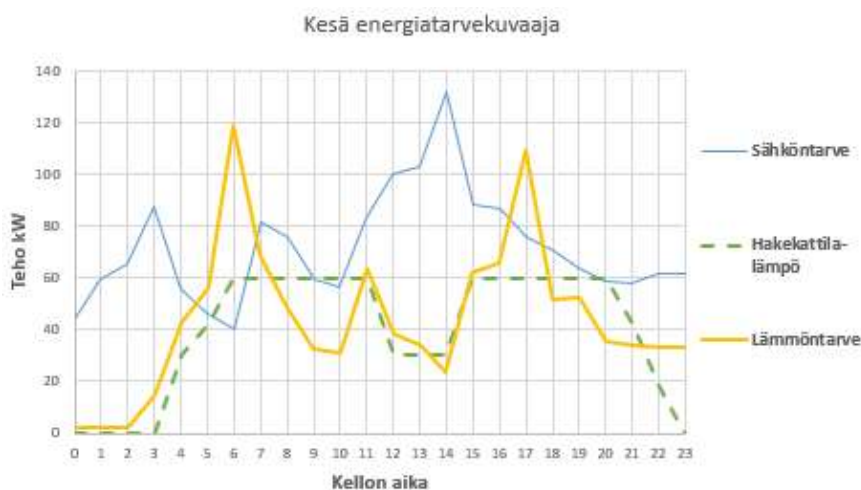
Talven kovimmilla tehoilla tarvitsee ajaa myös hakekattiloita samanaikaisesti. Yhteensä suurempaa HKW 50 -CHP-yksikköä ajetaan vuoden aikana 6378 tuntia eli noin 73 % vuoden ajalta. Vastaavasti pienempää HKW 30 -CHP-yksikköä ajetaan 5185 tuntia eli noin 59 % vuoden ajalta.

Kevät- ja syysaikoina lämmöntarpeet ovat suurimmilta osin optimaalista tasoa ajettaessa pelkästään yhtä CHP-yksikköä ja käytettäessä hakekattilaa nopeisiin tehojen muutoksiin ja piikkeihin. Näinäkin vuodenaikoina voidaan käyttää myös molempia CHP-yksiköitä sähköntuotannon maksimoimiseen päivällä. Kuvassa 20 on esimerkki tällaisesta kevät- ja syysajankohtia kuvastavasta ajomallista.



KUVA 20. Ajomalliesimerkki syksyisin ja keväisin, kun ajetaan yöllä yhtä CHP-yksikköä ja käytetään toista päivällä käytössä

Kesäaikana lämmön- ja sähkötarpeet ovat pienimmät vuoden ajalla ja silloin ei ole kannattavaa ajaa CHP-yksiköitä. Tällainen käyttökato on kuvan 4 lämmöntarpeiden kulutusprofiilista katsottuna keskipäivällä, jolloin lämpötehot käyvät öisin lähellä nollaa. Tällöin ajetaan pelkästään hakekattilalla ja säästetään samalla CHP-yksiköiden kokonaiselinkaarta. Kesälläkin tulee myös lämpimän käyttöveden käytöstä johtuvia piikkejä, jolloin laitokselle mitoitettu lämminvesivaraaja kattaa lämmityksen tarpeet. Kuvassa 21 on esitettynä esimerkki, miten hakekattilaa ajetaan keskipäivän kulutuksilla.



KUVA 21. Ajomalliesimerkki kesällä, kun CHP-yksiköt poissa käytöstä, hakekattila käynnistyy aamuyöllä

Laitoksessa tulee noin 1400 tunnin ajanjakso kesällä, jolloin CHP-yksiköt eivät ole käytössä. Vuodessa laitos tuottaa siis sähköä tällaisella lämmöntarpeiden mukaisella, mutta sähköntuotannon maksimointiin pyrkivällä ajomallilla noin 443 MWh. Laitokselta ei tuoteta ylimääräistä sähköä myyntiin tällä ajomallilla ollenkaan. Kaukolämmön pumppaukseen menee sähköenergiaa laitoksella noin 28,5 MWh vuodessa.

7 KUSTANNUSARVIOT

Kohteen voimalaitoksen ja kaukolämpöverkoston kannattavuutta arvioitaessa pyritään selvittämään merkittävimpien komponenttien, polttoaineen ja käytön aiheuttamia kustannuksia, sekä huomioimaan näiden muuttujat niiden oletetun käyttöiän perusteella. Tässä kohteessa olevan CHP-voimalaitoksen käyttöikä on tyypillisesti vähintään 15 vuotta. (28, s. 11.)

Puupolttoaineella toimiva CHP-laitos voi saada valtiolta investointitukea tai syöttötariffin. Syöttötariffia varten voimalaitoksen on täytettävä tietyt lain vaatimat vaatimukset, jotka vaihtelevat tuotantomuotojen ja energialähteiden mukaan. Metsähakekäyttöiselle laitokselle kuitenkin ehdot ovat hyvin lieviä ja merkittävien niistä on minimi nimellisteho 0,1 megavolttiampeeria. Syöttötariffia siis maksetaan tietyin ehdoin tuotetun sähkön mukaan 12 vuoden ajan. (35, s. 15–16.)

Vaihtoehtoisesti uusiutuvaa energianlähdettä käyttäviin voimalaitoshankkeisiin, kuten metsähakevoimalaitoksille pystyy hakemaan myös valtion investointitukea. Ennen vuotta 2019 myönnettävän tuen osuus voi olla enintään 30 % hyväksyttävistä investointikuluista. Selvityshankkeissa tukea voidaan korottaa vielä 40 prosenttiin. Vuotena 2019 tuli kuitenkin uusi lainsäädäntö, jossa tällainen tuotantolaitos voi saada 20 % investointitukea investointikuluista. (36.)

7.1 Voimalaitoksen investointikustannukset

Voimalaitoksen investointikustannuksiin tässä huomioidaan itse CHP-yksiköt, hakekatila, laitoksen laitetilat ja rakennukset, kaukolämmön ensiöpuolen pumput, kaukolämmönsiirrin, lämminvesivaraaja sekä kaukokäyttö- ja automaattikalusteisto. Näiden yhteenlasketusta määrästä vähennetään oletettu 20% valtion investointituki eli kaukolämpöverkosto jätetään tuesta pois. Tämän lisäksi päälle lasketaan investointikustannuksiin pääoma satunnaisiin muutos- ja korjaustöihin, pääoma rakennuksen aikaisiin kustannuksiin sekä investoinnin rahoituskulut.

CHP-yksikköjen hintaa arvioidaan kokonaisena pakettina, joka sisältää hakkeen syöttöjärjestelmän siilosta, puun kaasuttimen, kaasun puhdistuslaitteiston sekä itse polttomoottorin. Sopiva hinta-arvio tälle saadaan Motivalle tehdystä raportista

”Sähkön pientuotannon kilpailukyvyn ja kokonaistaloudellisten hyötyjen analyysi”. Tässä Volter CHP-paketin kaikki edellä mainitut komponentit sisältäen arvoiduksi hinnaksi saadaan 4000 euroa kilowattia huippusähkötehoa kohden. Volterin CHP-laitos perustuu samaan tekniikkaan kuin LiPron HKW-yksiköt (37, s. 14.)

Erilaisia Centrometalin 60 kilowatin hakekattiloita myydään muutamilla suomalaisilla jälleenmyyjillä alkaen 4000 eurosta 6000 euroon kaikkineen kustannuksineen. Tässä työssä käytettiin jokaiselle hakekattilalle hintana 6500 euroa, koska kaksi niistä on suurempia 100 kilowatin kattiloita. (38.)

Kaukolämmön ensiöpuolen pumpuiksi valittiin kolme kappaletta Grundfosin NKGE 60-40-315/344 -keskipakopumppuja. Grundfosin vuoden 2019 tuotehinnastossa ei kuitenkaan ole ilmoitettu NKGE-malliston hintojen, joten kustannusarvioksi otettiin pykälää isomman NK-mallin pumpun hinta, mikä on yhdelle pumpulle 9040 euroa. (39, s. 60.)

Kaukolämmönsiirtimen kustannuksiksi arvioitiin tässä kohteessa riittämään 25000 euroa. Tämä budjetti sisältäisi lämmönsiirtimen mitoituksen, teettämisen ja asennuksen. Kaukokäytön- ja automatiikan laitteistoihin varattiin suunnitteluneen ja asennuksineen 35000 euroa. Lämminvesivaraajan hintana käytetään profil.fi tuoteluettelosta saatavan Akvaterm Nero 3000 varaajan hintaa eristyneeseen (40).

Rakennettavien laitostilojen kustannusten arviointiin käytetään Micropoliksen mikro- ja pien-CHP laitteistojen selvitystä. Tässä on ilmoitettu, että lämpimien huolto- ja laitetilojen rakennuskustannukset perustuksineen ovat noin 500 euroa neliömetriä kohden. Laitetiloiksi on varattu noin 150 neliömetrin alue. Kaikki voimalaitoksen investointikustannukset ovat esitettyinä taulukossa 9. (28, s. 27.)

TAULUKKO 9. Voimalaitoksen kustannukset

CHP-yksikön hinta kaikkineen varusteineen (Volter)	4000 €/kW _e
LiPro HKW 50 + LiPro HKW 30 sähköteho	80 kW _e
LiPro HKW CHP-laitos	320000 €
Centrometal Bio CK-P 100 (2 kpl) ja 60 (1 kpl) hakekattilat	19500 €
Grundfos NKGE pumput (yht. 3 kpl.)	27120 €
Alfa Laval/HBE kaukolämmönsiirrin kokonaiskustannukset	25000 €
Akvaterm Nero 3000 lämminvesivaraaja	3000 €
Kaukokäyttö- ja automatiikkalaitteisto kokonaiskustannukset	35000 €
Laittilojen rakentamiskustannukset	500 €/m ²
Laittiloille varattu ala	150 m ²
Huolto- ja laiteilojen investointikustannukset	75000 €
Voimalaitoksen kokonaiskustannukset	504620 €

Voimalaitoksen kokonaiskustannuksista vähennetään vielä 20 prosentin osuus valtion investointitukea ja tästä kustannuksiksi jää 403 696 euroa. Tähän lisätään vielä päälle rakennusaikaisten kustannusten käyttöpääomaa 50 000 euroa, satunnaisiin muutos- ja korjaustöihin 8 % tuotantolaitoksen investoinneista eli 36 810 euroa sekä investoinnin rahoituskuluihin 2,5 % tuotantolaitoksen investoinneista eli 11 500 euroa. Yhteensä tuotantolaitoksen investointikustannuksiksi muodostuu 506 681 euroa.

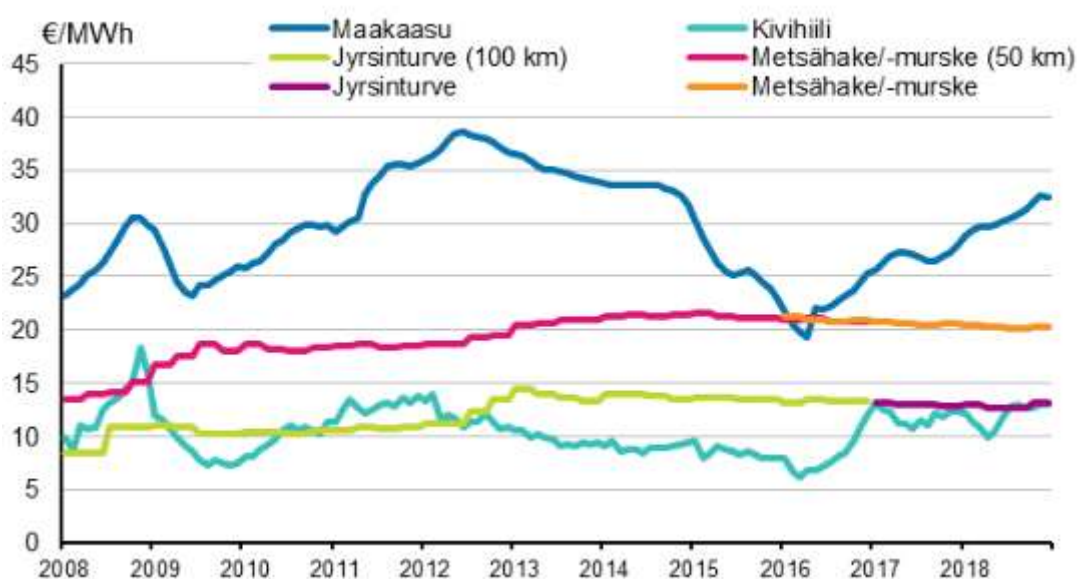
7.2 Hakkeen kulutus ja hinta

Polttoaineen kulutus pysyy valituilla CHP-laitoksilla ja hakekattilalla kohtuullisena niiden erinomaisten kokonaishyötysuhteiden ja järkevän ajomallin ansioista. HKW CHP-yksiköissä optimaalisimmalla tehoalueella millä niitä ajetaan, kokonaishyötysuhde on noin 0,84. HKW 50 yksikölle on ilmoitettu, että se kuluttaa haketta täydellä teholla ajettaessa noin 50 kiloa tunnissa ja HKW 30 yksikkö puolestaan 30 kiloa tunnissa. (30.)

Voimalaitoksen vuodessa tuottama energiamäärä on noin 1595 MWh. Tässä täytyy ottaa huomioon verkoston lämpöhäviöt, jotka ovat noin 15 % vuosituotannosta. Näillä CHP-yksiköillä ja niiden ajomalleilla kokonaishyötysuhteena vuodessa voidaan pitää 0,84. Laskennassa käytettäväksi vuosituotannoksi saatiin 2235 MWh. Hakkeen energiasisältö 20 %:n kosteudella on noin 0,844 MWh/i-m³.

Tämä tarkoittaa sitä, että haketta kuluisi vuodessa noin 1886 irtokuutiota. (41, s. 15.)

Hake maksaa tällä hetkellä noin 20 €/MWh sähköntuotannossa ja lämmöntuotannossa uusimman tilastokeskuksen voimalaitospolttoaineiden hintatilaston perusteella. Hakkeen hinta on yhä kalliimpaa kuin kivihiilen ja turpeen, mutta toisaalta lämmöntuotannossa kivihiilen hinta on huomattavasti suurempi. (Kuva 22.) (42.)



KUVA 22. Voimalaitospolttoaineiden hintoja sähköntuotannossa (43)

Vuodessa polttoainekustannuksiin voimalaitokselle menee reilut 44 000 euroa. Näiden kustannusten ajatellaan sisältävän hakkeen tuonnin myös laitokselle.

7.3 Lämmönjakoverkoston kustannukset

Kaukolämpöjärjestelmän putkiston ja siinä olevien varusteiden hinnat ajateltiin tässä työssä valtion investointituen ulkopuoliseksi. Putkiston kustannukset perustuvat Energiategollisuus Ry:n maanalaisten kiinnivaahdotettujen kaukolämpöjohdotojen rakentamiskustannuksiin vuonna 2017. Tässä on ilmoitettu kokonaiskustannuksena putkipituudella ylin, alin ja keskimääräinen hinta tietyille putkikoolle 2Mpuk- ja Mpuk-tyyppisille johdoille. Hinnat ovat esitettyinä taulukossa 10. (19, s. 3.)

TAULUKKO 10. Kiinnivaahdotettujen Mpuk- ja 2Mpuk-johtojen rakentamiskustannuksia (19, s. 3.)

Kokonaiskustannukset (Mpuk)

DN	Kustannukset keskimäärin €/m	Rakennettu m	Laitoksia kpl	Ylin €/m	Alin €/m
20	115	3887	3	166	112
25	129	3638	10	439	102
32	414	96	1	414	414
40	157	12212	20	266	84
50	196	7102	16	404	109
65	179	7540	15	364	92
80	225	5891	14	409	126

Kokonaiskustannukset (2Mpuk)

DN	Kustannukset keskimäärin €/m	Rakennettu m	Laitoksia kpl	Ylin €/m	Alin €/m
20	125	416	4	180	77
25	297	862	5	330	129
32	0	0	0	0	0
40	213	2292	10	300	116
50	246	2402	10	290	124
65	219	3971	9	278	127
80	209	3275	11	355	89

Siirtojohto on järjestelmään mitoitettu DN80-kokoiseksi 2Mpuk-johdoksi ja loput johdot DN50–DN20-kokoisiksi Mpuk-johdoiksi. Tässä kohteessa putkien hintoina käytetään keskivertoa helpomman maaston vuoksi keskimääräisen ja alimman hinnan välistä keskimääräistä hintaa. Laskelmat putkistoiden hinnaksi on esitettyinä liitteissä 4 ja 5. Kaukolämpöputkiston kokonaiskustannuksiksi kertyi noin 470 000 euroa.

7.4 Takaisinmaksuaika

Järjestelmän takaisinmaksuaika määrää hyvin pitkälti koko investoinnin kannattavuuden. Kovin pitkälle aikavälille ei voi luotettavasti ennustaa energian ja tuotannon hinnanmuutoksia. Esimerkiksi hakkeen hinnannousu voi nostaa liiaksi tuotantokustannuksia sekä laitteistojen yllättävät viat ja ongelmat nostaa huolto- ja ylläpitokustannuksia. Toisaalta sähkön- ja lämmön hinta nousee pääasiassa koko ajan ja tässä työssä näiden hinnan arvioidaan nousevan noin 2 % vuodessa.

Sähkön hinnaksi arvioidaan tähän laskelmaan Tilastokeskuksen vuodelle 2018 julkaistun kuluttajatyypeittäin luetellun sähkön keskimääräinen hinta. Tällä asuin-alueella kuluttajatyyppejä ovat tästä taulukosta pientalo ja pientalo sähkölämmityksellä. Näistä johdetaan 150 euroa megawattituntia kohden sopivaksi hintatasoksi. (44.)

Sähköä myydään takaisin verkkoon Nordpoolin spot-hinnalla. Spotti-hinta vaihtelee suhteellisen runsaasti, mutta viime vuosien lukemista otetaan Tilastokeskuksen kuukausikeskiarvojen tilastoista 40 €/MWh sen ollessa keskiarvo kuuden viime vuoden ajalta. Tässä työssä tuotantolaitos ei tosin tuota sähköä yli alueen tarpeen. (45.)

Lämmön hinta koostuu Raahen Energian 2016 vuonna tekemän lämmönmyyntitariffissa ilmoittamasta kaukolämmön hinnasta kulutuksen mukaan. Lämmön hintana käytetään 51,93 euroa megawattituntia kohden. Kaukolämmöstä lisäksi peritään 358,89 euroa vuodessa eli noin 29,90 kuukaudessa perusmaksua omakotitaloasiakkailta. (46.)

Voimalaitosta käytetään miehittämättömänä. Ylläpito- ja huoltopalvelut ostetaan ulkopuoliselta yritykseltä. Vuotuiset käyttö- ja kunnossapitokustannukset oletetaan tässä laskelmassa 3 % voimalaitoksen investointikustannuksista eli noin 15 138 euroa. Tämä kustannusarvio sisältää siis CHP-yksiköiden huollot sekä muiden aikojen valvonnat, huollot ja tarkastukset laitoksella. Tuotantolaitokselle palkattaessa työntekijä nousevat vuosittaiset kustannukset niin suuriksi, että laitos ei maksaisi itseään takaisin. Näiden vuotuisten käyttö- ja kunnossapitokustannuksien summalla pitäisi laitoksen operointi, käytön ja kunnossapidon alihankkijoiden tilaukset ja työnjohto hoitaa. Tämä voisi toteutua sillä tavalla, että hakkeen laitokselle toimittaisi esimerkiksi lämpöyrittäjä, joka vastaisi laitoksen operoinnista ja ostaisi tarvittavat huollot ulkopuolisilta. Näin laitos voisi olla tämän työn laskelmien mukaisesti kannattava. (28, s. 21-22.)

Lisäksi voimalaitokselle huomioidaan vielä muut kiinteät kulut vuodessa laske-
malla 1 % voimalaitoksen investointikustannuksista. Muita kuluja ovat muun muassa eri verot ja lupamaksut. (28, s. 21-22.)

Järjestelmän takaisinmaksuajan laskelma tehtiin Excel-ohjelmalla ja on esitetty liitteessä 9. Siinä on 15 vuoden ajalta sen käyttöönotosta eteenpäin rahaliikenteestä esitys, mikä on sen odotettu vähimmäiskestoikä. Ensimmäisellä rivillä on oman energiantuotannon arvo laskettu vuodessa, jonka jälkeisellä rivillä investoinnit sekä kaikki vuotuiset kulut, joihin kuuluvat muun muassa käyttö- ja kunnossapitokustannukset. Kassavirta esittää, paljonko järjestelmä tuottaa voittoa vuodessa. Seuraavalla rivillä on investoinnin kumulatiivinen tuotto 0 % korolla. Viimeisenä on investoinnin nettonykyarvo 2,5 % laskentakorolla, mistä käy ilmi, paljonko voittoa tai tappiota tulee 15 vuoden aikana sekä takaisinmaksuaika. Takaisinmaksuaika on taulukossa 9 esitettyä investoinnin nettonykyarvon jälkeisellä rivillä. Takaisinmaksuajaksi tuli 13 vuotta ja voittoa 15 vuoden jälkeen noin 146 498 euroa.

Omakotitalon lämmityskustannuksia voitiin verrata kaukolämpölämmitteisen ja sähkölämmitteisen välillä. Högfors UNIS-100-2RF -lämmönjakokeskusta löytyy useilla jälleenmyyjillä valmiina pakettina. Otetaan tähän työhön laskentaesimerkiksi maalämpötukku.fi -sivustolta lämmönjakokeskus 2990 euron hintaan. (47.)

Asiakkaiden liityntäjohtojen pituudet vaihtelevat runsaasti. Vertailuksi laskentaan otetaan Raahen Energian omakotitalojen kaukolämpöön liittymiskustannuksia. Tässä liittymismaksu sisältäen enintään 10 metriä talojohtoa maksaa 3000 euroa. Lisämetrien on ilmoitettu maksavan 78 euroa metriltä. Opinnäytetyön kohdealueella kaukolämpöverkoston kustannukset suhteessa lämmitettävien talojen määrään on eri luokkaa kuin tavallisessa kaukolämpöverkostossa. Liittymishintojen täytyy olla paljon suurempia. Tässä työssä lasketaan liittymismaksuksi 5000 euroa ja 100 euroa metriltä yli 10 metrin talojohdoissa. Taulukossa 11 ovat esitettyinä kokonaislämmityskustannukset 15 vuoden ajalle. (48.)

TAULUKKO 11. Sähkölämmitteisen ja kaukolämpölämmitteisen omakotitalon lämmityskustannukset

Järjestelmän elinikä vuosina	Sähkölämmitteisen omakotitalon lämmityskustannukset €	KL liitetyn omakotitalon lämmityskustannukset €
0		
1	3 702,00 €	9 630,52 €
2	7 478,04 €	11 296,68 €
3	11 329,60 €	12 988,98 €
4	15 258,19 €	14 707,95 €
5	19 265,36 €	16 454,12 €
6	23 352,66 €	18 228,03 €
7	27 521,72 €	20 030,25 €
8	31 774,15 €	21 861,33 €
9	36 111,64 €	23 721,86 €
10	40 535,87 €	25 612,42 €
11	45 048,59 €	27 533,61 €
12	49 651,56 €	29 486,05 €
13	54 346,59 €	31 470,36 €
14	59 135,52 €	33 487,18 €
15	64 020,23 €	35 537,15 €

Kaukolämpöön liittyminen maksaa asiakkaalle itsensä takaisin sähkölämmitykseen verrattuna noin 4 vuodessa. Lisäksi sähkönhinta nousee koko ajan jyrkemmin kuin kaukolämmön hinta, mikä on jo lähtötilanteessa huomattavasti halvempaa kustannuksiltaan.

8 YHTEENVETO

Työn tavoitteena oli suunnitella uusiutuvan energian käyttöön tai varastointiin liittyvä menetelmä haja-asutusalueelle. Tämä toteutettiin suunnittelemalla sähkön ja lämmön yhteistuotantolaitos maaseudulle sekä pieni kaukolämpöverkosto. Tämän kannattavuutta arvioitiin laskemalla investoinnin kustannukset ja takaisinmaksuaika.

Uusiutuvan energian käytön lisääminen haja-asutusalueilla on varsin haastavaa. Mikro-kokoluokan CHP-laitteiden investointikustannukset ovat yksittäisille talouksille liian korkeat. Hankittaessa suurempia ja suhteessa halvempia laitteita pienelle alueelle, nousevat lämmönjakoverkoston eli kaukolämpöverkoston kustannukset runsaasti.

Hakekäyttöinen puun kaasutukseen perustuva CHP-polttomoottorilaitos päätettiin valita kyseiselle alueelle. Tämäkin tuotantomuoto on yhä hakkeen aiheuttaman tervan muodostumisen vuoksi ongelmallinen ja voi vaatia runsaasti enemmän huoltokustannuksia, kuin mitä tässä laskelmassa arvioitiin. Puhtaampaa biokaasua ei kyseisellä alueella ole kannattavaa tehdä, koska mädätyslaitokseen tuotavaa ainesta ei ole niin lähellä, että kaasun tekeminen olisi kannattavaa.

LiPro Energyn valmistamat CHP-tuotantoyksiköt sopivat hakekattiloiden kanssa alueen kulutusprofiiliin pohjalle erinomaisesti. Jotta pienen kokoluokan CHP-tuotanto olisi kannattavaa, tulisi sähköä tuottaa mahdollisimman vähän yli tarpeen, mutta kaikki lämpö pystyä hyödyntämään. Tämän työn ajomallia käyttämällä sähköä ei tuoteta yli tarpeiden. Kahdella pienemmällä eri kokoisella CHP-yksiköllä muodostettu tuotantolaitos mahdollistaa laitteiden käytön korkealla osateholla tai täydellä teholla koko ajan, mikä on optimaalista niiden käytön kannalta.

Tämän kokoisena laitokseen jää myös laajentamisvaraa, ja esimerkiksi kaukolämpöalueen ulkopuolelle jääneitä taloja voisi liittää myöhemmin kaukolämmön piiriin, jos kaukolämpöputkistoa laajennettaisiin pohjois- ja länsisuuntiin laitokselta sekä lämpökattiloita vaihdettaisiin suurempiin.

LÄHTEET

1. Uusiutuva energia Suomessa. 2019. Motiva. Saatavissa: https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/uusiutuva_energia_suomessa. Hakupäivä 3.4.2019.
2. Pohjoinen Periferia ja Arktinen -ohjelma. 2019. Työ- ja elinkeinoministeriö. Saatavissa: <https://www.rakennerahastot.fi/web/eay/pohjoinen-periferia-ja-arktinen>. Hakupäivä 3.4.2019.
3. Korhonen, Markku 2018. SMART -Smarter renewable energy and heating Management for Arctic and northern Rural Territories. Saatavissa: http://oamk.fi/hankkeet/kansainvaliset_kaynnissa/?hanke_id=1923. Hakupäivä 3.4.2019.
4. Leppänen, Petri 2018. EnergyPLAN -koulutus. Sähköpostiviesti. Vastaanottaja: Anssi Maaninen. 13.12.2018.
5. Tanskanen, Jouni 2016. Arctic Energy – Energiaomavarainen pohjoinen. Saatavissa: <https://www.greenpolis.fi/projektit/arctic-energy/>. Hakupäivä 4.4.2019.
6. Lämmitystapojen vertailulaskuri. 2019. Motiva. Saatavissa: <http://lammitys-vertailu.eneuvonta.fi/>. Hakupäivä 5.4.2019.
7. Uusien omakotitalojen pinta-ala. 2019. Pientaloteollisuus. Saatavissa: <http://www.pientaloteollisuus.fi/fin/rakentajalle/keskimaarainen-omakotitalo/pinta-ala/>. Hakupäivä 5.4.2019.
8. D3 (2012). 2011. Rakennusten energiatehokkuus. Määräykset ja ohjeet 2011. D3 Suomen rakentamismääräyskokoelma. Helsinki: Ympäristöministeriö, Rakennetun ympäristön osasto. Saatavissa: http://www.finlex.fi/data/normit/37188-D3-2012_Suomi.pdf. Hakupäivä 5.4.2019.
9. Kodin energiaopas. 2015. Motiva. Saatavissa: https://www.motiva.fi/files/10416/Kodin_Energia_Opas.pdf. Hakupäivä 9.4.2019.

10. D5 (2012). 2013. Rakennusten energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta. Ohjeet 2012. D5 Suomen rakentamismääräyskokoelma. Helsinki: Ympäristöministeriö, Rakennetun ympäristön osasto. Saatavissa: www.ym.fi/download/noname/%7B8C5C3B41-E127-4889-95B0-285E9223DEE6%7D/40468. Hakupäivä 13.5.2019.
11. Mäkelä, Veli-Matti. 2018. T619505, Hybridijärjestelmät 5 op. Luentomateriaali. Hybridijärjestelmien luento syksyllä 2018 Oulun Ammattikorkeakoulussa.
12. Ruusala, Annu 2015. Koulujen ja päiväkotien laskennallinen ja toteutunut energiankulutus. Diplomityö. Tampere: Tampereen teknillinen yliopisto, rakennustekniikan osasto. Saatavissa: <https://dspace.cc.tut.fi/dpub/bitstream/handle/123456789/24128/Ruusala.pdf?sequence=3>. Hakupäivä 5.4.2019.
13. SFS 5139. 2011. Rakennustekniikka. Rakennuksen pinta-alat. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS.
14. Karttapaiikka. 2019. Maanmittauslaitos. Saatavissa: <https://www.maanmittauslaitos.fi/karttapaiikka>. Hakupäivä 5.4.2019.
15. Suomen virallinen tilasto (SVT): Asumisen energiankulutus [verkkajulkaisu]. ISSN=2323-3273. 2017, Liitekuvio 2. Asumisen energiankulutus käyttökohteittain vuonna 2017. Helsinki: Tilastokeskus. Saatavissa: http://www.stat.fi/til/asen/2017/asen_2017_2018-11-22_kuv_002_fi.html. Hakupäivä 9.4.2019.
16. Mäkelä, Veli-Matti – Tuunanen, Jarno 2015. Suomalainen kaukolämmitys. Saatavissa: <https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/97138/URNISBN9789515885074.pdf?sequence=1>. Hakupäivä 10.4.2019.
17. Mäkelä, Veli-Matti. 2017. T621206, Kaukolämmitys 6 op. Luentomateriaali. Kaukolämmityksen luento keväällä 2017 Oulun Ammattikorkeakoulussa.
18. Suositus K15/1998. Tilausteho- ja vesivirta: Määritys ja tarkistaminen. ISSN=1238-9250. 1998. Suomen Kaukolämpö ry.

19. Maanalaisten kiinnivaahdotettujen kaukolämpöjohtojen rakentamiskustannukset 2017. 2018. Energiateollisuus ry. Saatavissa: https://energia.fi/files/3033/Johtorakennuskustannukset_2017.pdf. Hakupäivä 11.4.2019.
20. K1/2013. 2014. Rakennusten kaukolämmitys. Määräykset ja ohjeet. 2013. Energiateollisuus. Saatavissa: https://energia.fi/files/502/JulkaisuK1_2013_20140509.pdf. Hakupäivä 15.4.2019.
21. D1 (2007). 2007. Kiinteistöjen vesi- ja viemärlaitteistot. Määräykset ja ohjeet 2007. D1 Suomen rakentamismääräyskokoelma. Helsinki: Ympäristöministeriö. Saatavissa: https://www.finlex.fi/data/normit/28208-D1_2007.pdf. Hakupäivä 11.4.2019.
22. UNIS 100-2RF -lämmönjakokeskus mitoitus. 2019. HögforsGST. Saatavissa: https://hogforsgst.com/files/Tunnistetiedot_Unis_100-2RF-O.pdf. Hakupäivä 12.4.2019.
23. UNIS 100-2RF -lämmönjakokeskus, kytkentäkaavio. 2019. HögforsGST. Saatavissa: https://hogforsgst.com/files/GST_UNIS_100-2RF-O_FL.pdf. Hakupäivä 12.4.2019.
24. GST-Lämmönjakokeskukset asuin- ja liikekiinteistöihin sekä teollisuussovelluksiin. 2019. HögforsGST. Saatavissa: <https://hogforsgst.com/fi/tuotteet/lattia-asenteiset-lammonjakokeskukset-2/lattia-asenteiset-lammonjakokeskukset/>. Hakupäivä 12.4.2019.
25. Ouman VD215-VD232, 2-tieventtiili/PN25, tuotetiedot. 2019. Ouman. Saatavissa: http://ouman.fi/documentbank/VD215-VD232_data_brochure_fi.pdf. Hakupäivä 16.4.2019.
26. Grundfos -pumpun mitoitus. 2019. Grundfos. Saatavissa: <https://product-selection.grundfos.com/front-page.html?custid=GSF&qcid=465348450>. Hakupäivä 16.4.2019.
27. Grundfos NKGE 50-32-250/262 A2-F-A-E-BAQE, tuotetiedot. 2019. Grundfos. Saatavissa: <https://product-selection.grundfos.com/product-detail.pro>

- [duct-de-tail.html?from_suid=15554172455110538530922076346&hits=1&productnumber=95104699&searchstring=95104699&qcid=554488193](#). Hakupäivä 16.4.2019.
28. Takalo, Heidi – Saksio, Anna 2013. Mikro- ja pien-CHP: Teknologia- ja laitekantaselvitys sekä kannattavuuden tarkastelu tapausesimerkin avulla. Iin Micropolis Oy. Elinkeino-, liikenne-, ja ympäristökeskus. Saatavissa: http://www.greenpolis.fi/wp-content/uploads/004_13-Mikro-ja-pien-CHP-Teknologia-ja-laitekantaselvitys-sek%C3%A4-kannattavuuden-tarkastelu-tapausesimerkin-avulla.pdf. Hakupäivä 17.4.2019.
29. Karjalainen, Timo 2012. Pienimuotoisen lämmön ja sähkön yhteistuotannon tilannekatsaus, laitteet ja niiden käyttöönotto. Selvitys. Oulun yliopisto, Kaajanin yliopistokeskus. Saatavissa: <https://www oulu.fi/sites/default/files/content/files/Pien%20CHP%20raportti.pdf>. Hakupäivä 18.4.2019.
30. LiPro HKW wood gas CHP. 2019. LiPro Energy. Saatavissa: <https://lipro-energy.de/en/lipro-hkw-wood-gas-chp/>. Hakupäivä 6.5.2019.
31. Centrometal Bio CK-P Unit (25 – 100 kW). 2019. Centrometal. Saatavissa: https://www.centrometal.hr/it/portfolio/bio-ck-p-unit-25-100-kw_it/. Hakupäivä 6.5.2019.
32. Installation instructions Volter 40 Indoor CHP-plant. 2018. Volter. Saatavissa: http://www.co.fairbanks.ak.us/gs/BidAdditionalDocuments/18025%20INSTALL_003534_Volter%2040%20Indoor_Installation_Instruction_Ver_2.00_Approved.pdf. Hakupäivä 25.4.2019.
33. Väyrynen, Jasse 2015. Selvitys kaukolämmönsiirtimien uusimisesta. Opin näytetyö. Savonia ammattikorkeakoulu, tekniikan ja liikenteen ala, energia-tekniikan koulutusohjelma. Saatavissa: https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/88897/Opinnaytetyo_jasse_vayrynen.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Hakupäivä 29.4.2019.

34. HBE Oil Coolers, product catalogue. 2019. HBE. Saatavissa: https://www.hbe-hydraulics.com/downloads-en.html?file=files/user-data/downloads/produktkataloge/einzel/en/hbe_oil_coolers_en_0319.pdf. Hakupäivä 29.4.2019.
35. Opas sähkön pientuottajalla. 2012. Motiva. Saatavissa: http://www.motiva.fi/files/5724/Opas_sahkon_pientuottajalle_2012.pdf. Hakupäivä 29.4.2019.
36. 1063/2012. Valtioneuvoston asetus energiatuen myöntämisen yleisistä ehdoista. 2012. Finlex. Saatavissa: <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2012/20121063>. Hakupäivä 29.4.2019.
37. Pesola, Aki – Vanhanen, Juha – Hagström, Markku – Karttunen, Ville – Larvus, Lauri – Hakala, Laura – Vehviläinen, Iivo 2014. Sähkön pientuotannon kilpailukyvyyn ja kokonaistaloudellisten hyötyjen analyysi. Loppuraportti. Gaia Consulting Oy. Saatavissa: https://www.motiva.fi/files/9439/Sahkon_pientuotannon_kilpailukyvyyn_ja_kokonaistaloudellisten_hyotyen_analyysi_Loppuraportti.pdf. Hakupäivä 29.4.2019.
38. Bio CKP 60 hakekattila. 2019. Annerman. Saatavissa: http://kotituli.fi/index.php?main_page=product_info&cPath=2&products_id=112. Hakupäivä 6.5.2019.
39. Grundfos hinnasto 2019. 2019. Grundfos. Saatavissa: <http://magazines.grundfos.com/Grundfos/SU/fi/grundfos-hinnasto-2019/?page=2>. Hakupäivä 29.4.2019.
40. Akvaterm Nero 3000 varaaja. 2019. Annerman. Saatavissa: http://profil.fi/index.php?main_page=product_info&cPath=22_33&products_id=1572. Hakupäivä 29.4.2019.
41. Hakonen, Tuomas – Laurila, Jussi 2011. Metsähakkeen kosteuden vaikutus polton ja kaukokuljetuksen kannattavuuteen. Seinäjoen ammattikorkeakoulun julkaisusarja. Saatavissa: <http://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/34746/B55.pdf?sequence=1>. Hakupäivä 29.4.2019.

42. Tilasto: Energian hinnat [verkkojulkaisu]. ISSN=1799-7984. 4. vuosineljännes 2018. Helsinki: Tilastokeskus. Saatavissa: http://www.stat.fi/til/ehi/2018/04/ehi_2018_04_2019-03-13_tie_001_fi.html. Hakupäivä 30.4.2019
43. Tilasto: Energian hinnat [verkkojulkaisu]. ISSN=1799-7984. 4. vuosineljännes 2018, Liitekuvio 4. Voimalaitospolttoaineiden hinnat sähköntuotannossa. Helsinki: Tilastokeskus. Saatavissa: http://www.stat.fi/til/ehi/2018/04/ehi_2018_04_2019-03-13_kuv_004_fi.html. Hakupäivä 30.4.2019
44. Tilasto: Energian hinnat [verkkojulkaisu]. ISSN=1799-7984. 4. vuosineljännes 2018, Liitekuvio 5. Sähkön hinta kuluttajatyypeittäin. Helsinki: Tilastokeskus. Saatavissa: http://www.stat.fi/til/ehi/2018/04/ehi_2018_04_2019-03-13_kuv_005_fi.html. Hakupäivä 2.5.2019.
45. Tilasto: Energian hinnat [verkkojulkaisu]. ISSN=1799-7984. 4. vuosineljännes 2018, Liitekuvio 6. Nord Pool Spot -sähköpörssin kuukausikeskiarvot. Helsinki: Tilastokeskus. Saatavissa: http://www.stat.fi/til/ehi/2018/04/ehi_2018_04_2019-03-13_kuv_006_fi.html. Hakupäivä 2.5.2019.
46. Raahen energian lämmönmyyntitariffit 1.1.2016 lukien. 2015. Raahen energia. Saatavissa: <http://www.raahenenergia.fi/wp-content/uploads/2016/07/L%C3%A4mm%C3%B6nhinta2016-1.pdf>. Hakupäivä 2.5.2019.
47. Högfors GST 100-RF2-O OUMAN. 2019. Suomen maalämpötukku. Saatavissa: <https://www.maalampotukku.fi/product/450/hogfors-gst-100-rf2-ouman>. Hakupäivä 2.5.2019.
48. Raahen energia kaukolämmön liittymismaksutariffi 1.1.2013 lukien. 2013. Raahen energia. Saatavissa: http://www.raahenenergia.fi/wp-content/uploads/2016/07/Liittym%C3%A4hinna_L%C3%A4mp%C3%B6_2013.pdf. Hakupäivä 2.5.2019.

LIITTEET

Liite 1 Karttakuva kohdealueesta

Liite 2 Esimerkki EnergyPlan kulutusprofiilin muokkauksesta

Liite 3 Alueen kaukolämpöjohtojen reitti- ja asennussuunnitelma

Liite 4 Kaukolämpöjohtojen mitoituslaskelmat

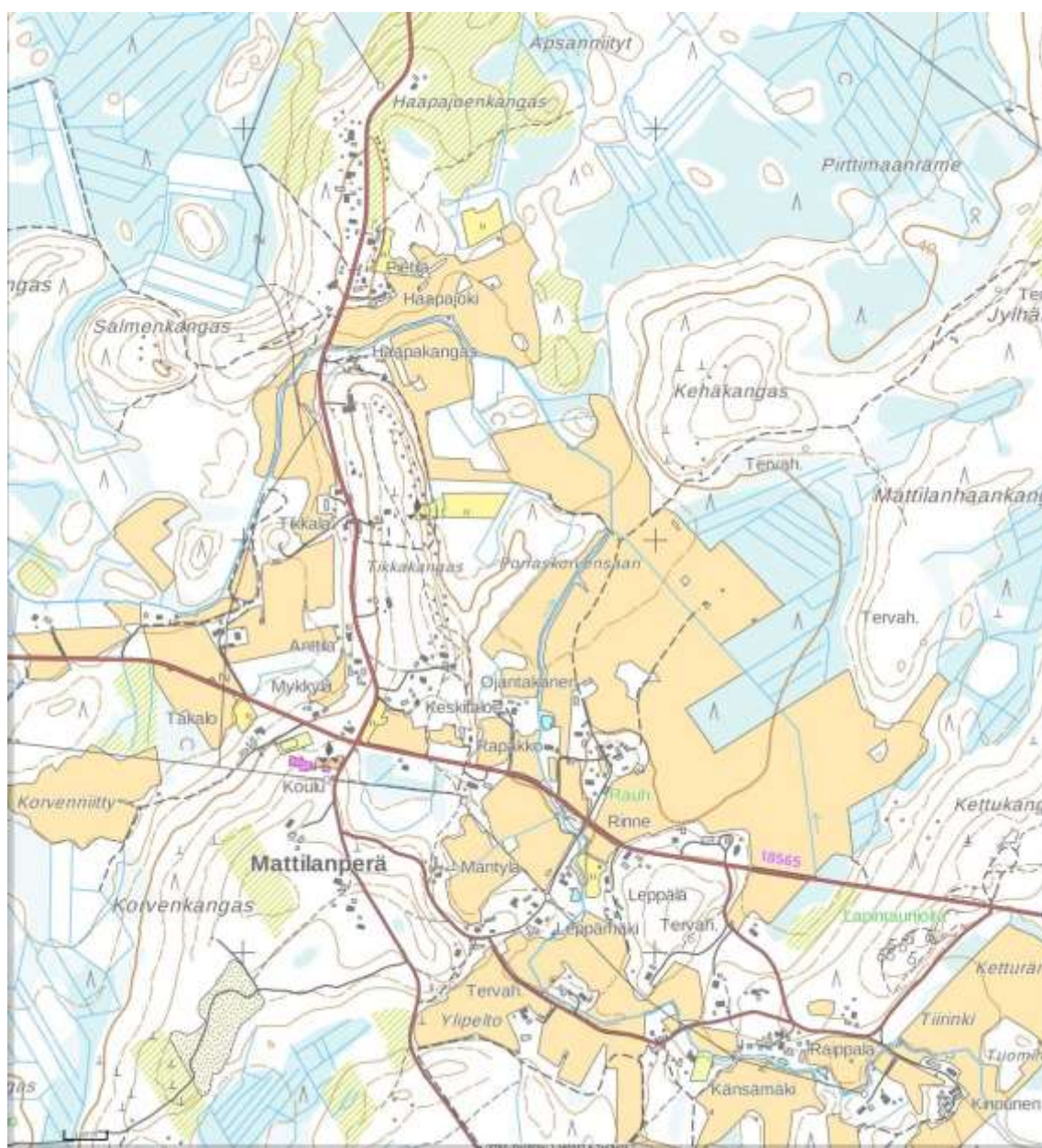
Liite 5 Kaukolämpöjohtojen painehäviölaskelmat

Liite 6 Moodyn käyrästä

Liite 7 Omakotitalon lämmönjakokeskuksen kytkentäkaavio

Liite 8 Grundfos kaukolämpöpumpun mitoitus tiedot

Liite 9 Takaisinmaksuajan laskelma



Pitea_hour_distr_heat_HDD17_Kalix - Muistio

Tiedosto Muokkaa Muotoile Näytä Ohje

22,52675425
22,4031044
22,27945455
22,1558047
25,33697808
26,6240606
35,39195896
28,64742176
26,0114318
24,04989557
23,55529617
27,84369774
24,28595437
23,36420095
21,82981874
26,91632388
27,3434779
33,10443676
25,07281704
25,07281704
22,70660857
21,94784814
21,39704427
20,90806532

1. Haetaan ensin EnergyPlan ohjelmasta tekstitiedosto, jossa on Piitimen kunnan alueelta tuntiset lämmitystehon tarpeet aluelämpölaitokselle.

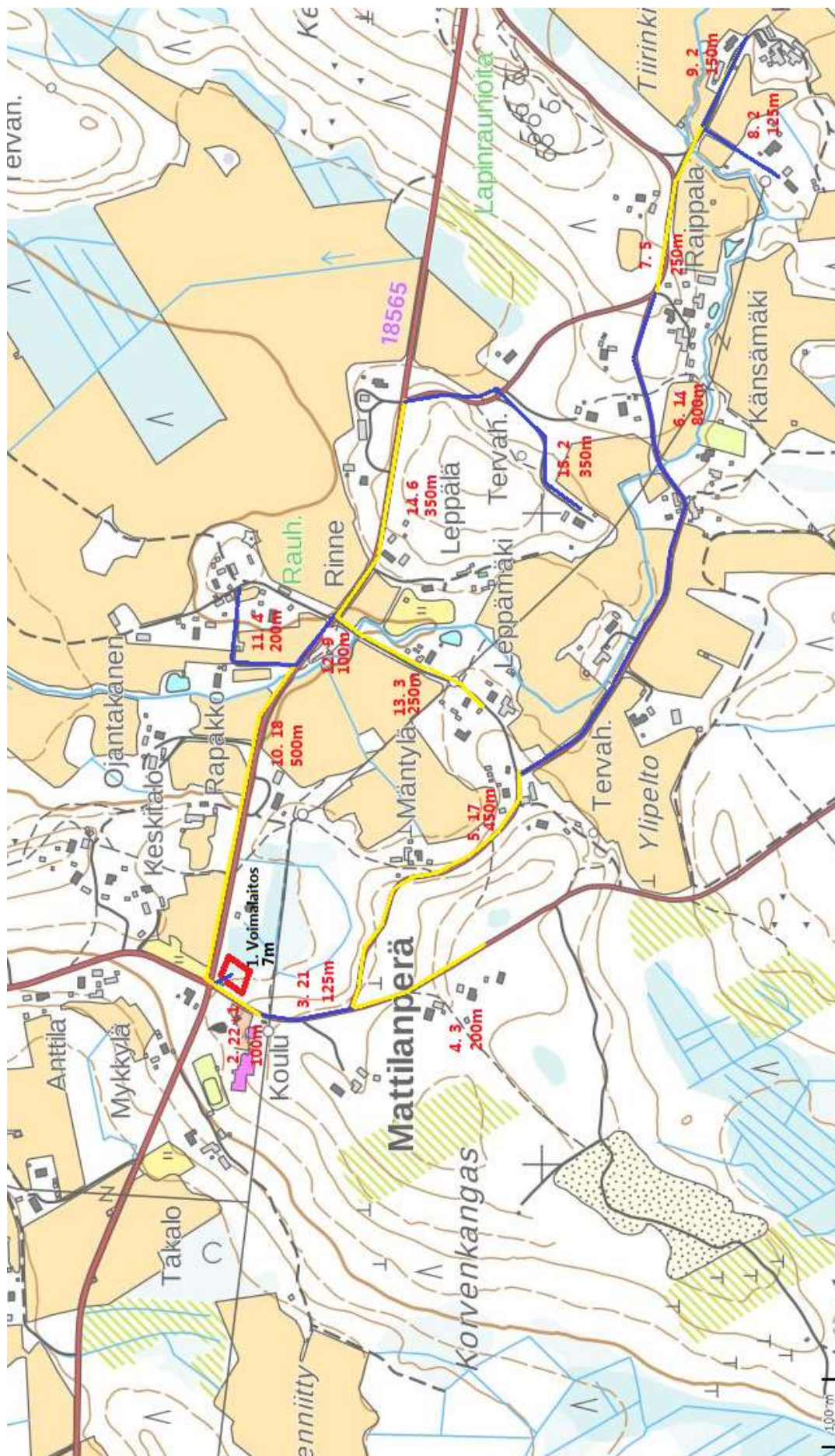
2. Kopioidaan nämä Excel-laskuriin.

3. Iteroidaan kaikille vuoden tehoille yhteisellä jakajalla lähelle haluttua vuotuista energiamäärää eli jaetaan 6,7 luvulla 22,52; 22,40; 22,27... jne. kaikki vuoden tuntiset tehot ja saadaan viereiseen sarakkeeseen "lähelle" iteroidut tehot

4. Iteroidaan vielä toisilla jakajilla lopullisia tuntisia tehoja niin kauan, että saadaan haluttu vuotuinen energiamäärä.

P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y
		Muutokset							
		1000	6,7	0,90573	1,93413				
		Kokonaisenergiat							
		20627479	1643865	24373,28	20627,48	26910,00	10665,00		
		EnergyPlan	Päiväkoti						
		Piteä	Piteä	KL	Sähkö	KL	Sähkö		
		Sähkö	Lämpö	teho	teho	teho	teho		
		W	kW	kW	kW	kW	kW		
		1953,8	22,52675	3,34	1,95	3,68762	1,01017		
		1890,30	22,4031	3,32	1,89	3,66738	0,97734		
		1829,10	22,27945	3,30	1,83	3,64714	0,9457		
		1746,90	22,1558	3,29	1,75	3,6269	0,9032		
		1689,40	25,33698	3,76	1,69	4,14765	0,87347		
		1693,10	26,62406	3,95	1,69	4,35835	0,87538		
		1771,50	35,39196	5,25	1,77	5,79365	0,91592		
		1852,90	28,64742	4,25	1,85	4,68957	0,958		
		1896,40	26,01143	3,86	1,90	4,25806	0,98049		
		1950,50	24,0499	3,57	1,95	3,93696	1,00846		
		2067,10	23,5553	3,49	2,07	3,85599	1,06875		
		2168,90	27,8437	4,13	2,17	4,558	1,12138		
		2208,80	24,28595	3,60	2,21	3,9756	1,14201		
		2217,40	23,3642	3,46	2,22	3,82471	1,14646		
		2242,10	21,82982	3,24	2,24	3,57353	1,15923		
		2293,10	26,91632	3,99	2,29	4,40619	1,1856		
		2565,50	27,34348	4,05	2,51	4,47611	1,10502		

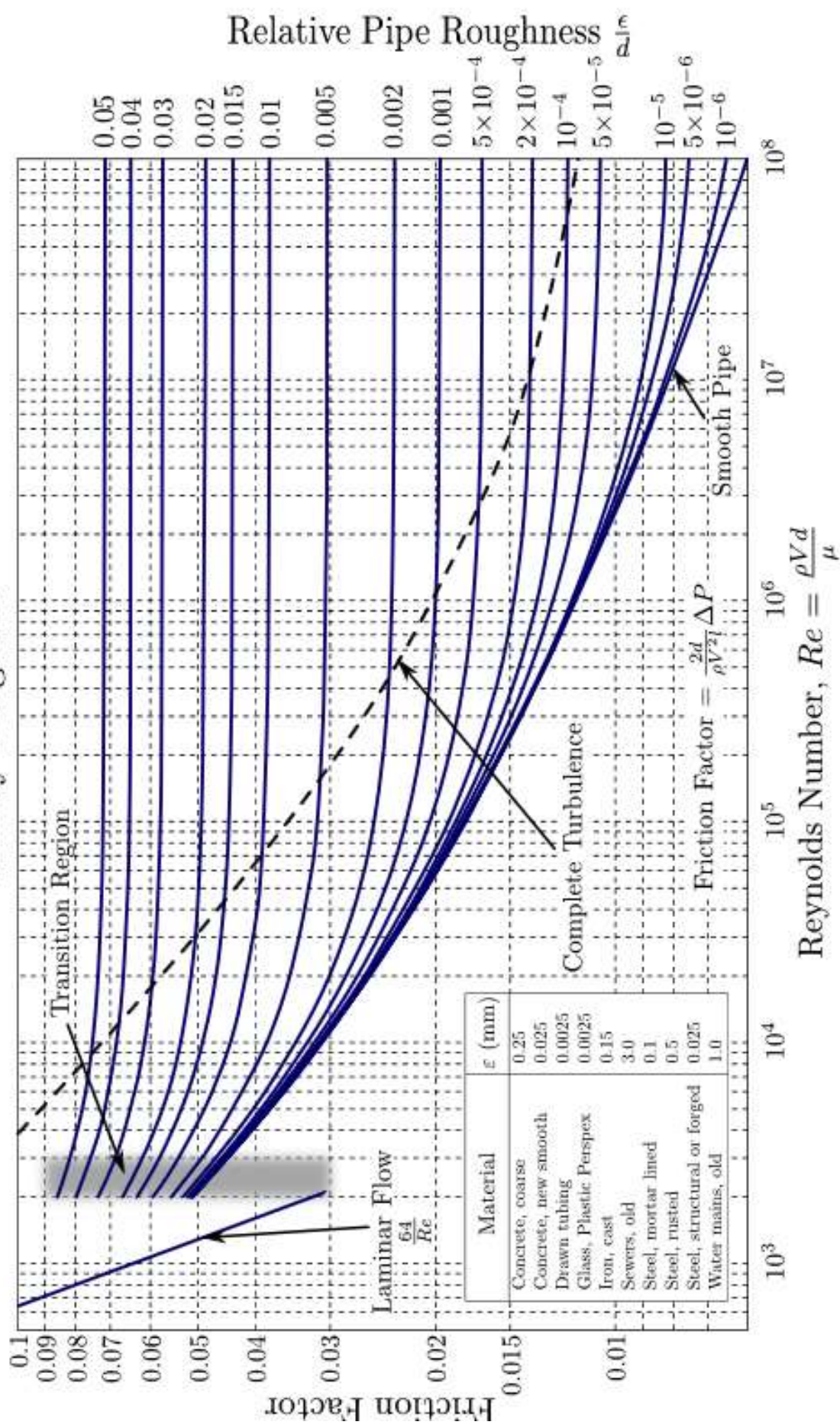
Lopullisten iteroitujen tuntisten tehojen summa eli vuotuinen energiamäärä mikä halutaan saada

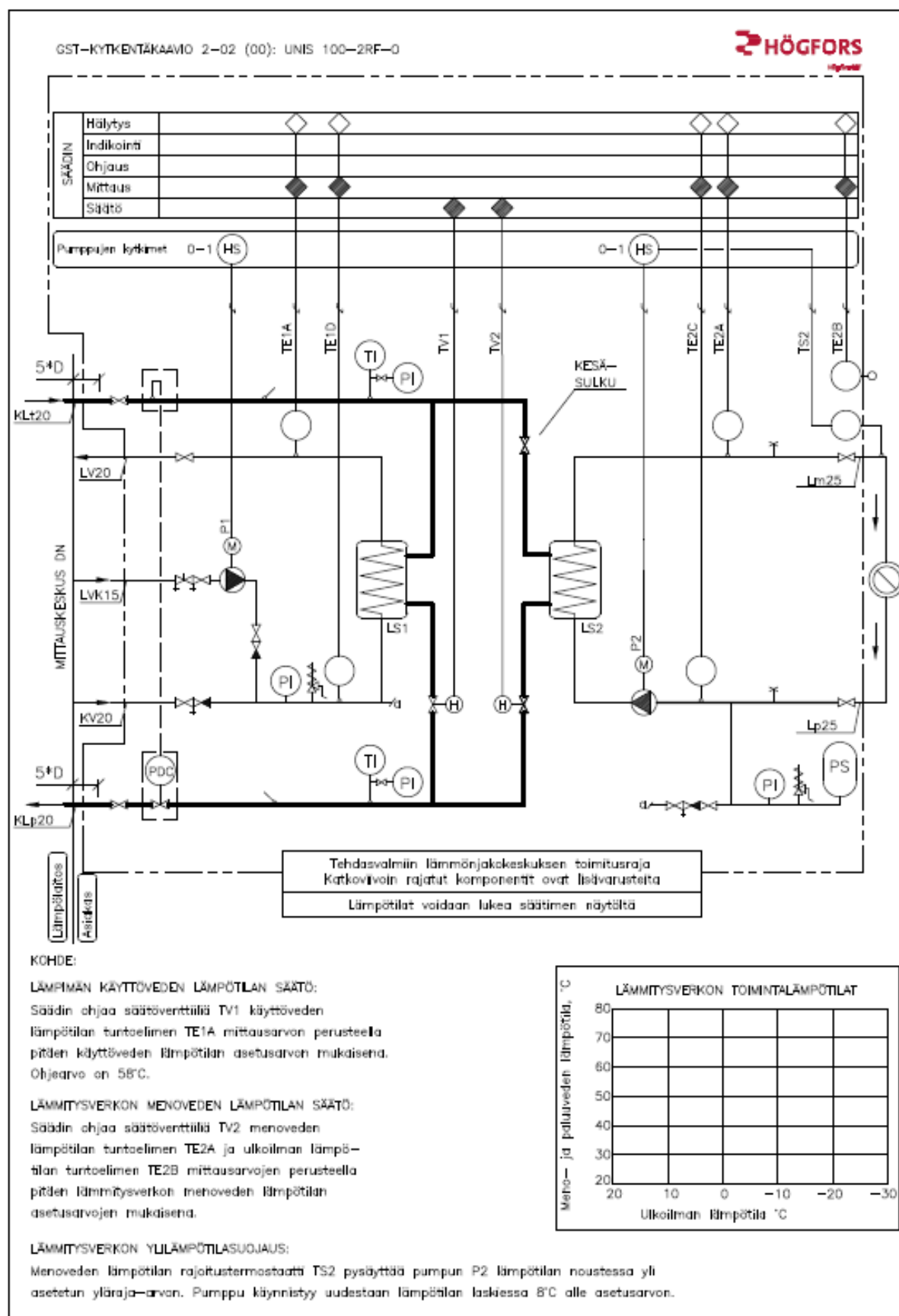


[illegible]

Putken num.	LRED (m)	ε	v	Re	λ	Δp (Pa)	Δp (Bar)	MAX Δp (Bar)	Hinta putkiosuudelle (€)
1. Siirtojohto	7,7	0,00045	0,6774	62093,7778	0,0163	349,056593	0,00349057	0,007	1043
2.	110	0,00068	0,5883	35622,1947	0,0179	6255,18971	0,0625519	0,2	15250
3.	137,5	0,00086	0,7960	38119,5031	0,0189	19132,8563	0,19132856	0,25	15062,5
4.	220	0,00171	0,4486	10816,0012	0,0225	22927,1476	0,22927148	0,4	22700
5.	495	0,00086	0,6444	30858,6454	0,0189	45140,1721	0,45140172	0,9	54225
6.	880	0,00086	0,5307	25413,0021	0,0189	54428,0506	0,54428051	1,6	96400
7.	275	0,00130	0,4334	13725,5688	0,0210	18996,316	0,18996316	0,5	28875
8.	137,5	0,00171	0,2991	7210,66747	0,0225	6370,91249	0,06370912	0,25	14187,5
9.	165	0,00171	0,2991	7210,66747	0,0225	7645,09498	0,07645095	0,3	17025
10.	550	0,00086	0,6823	32673,8598	0,0189	56229,1607	0,56229161	1	60250
11.	220	0,00130	0,3468	10980,455	0,0210	9727,47218	0,09727472	0,4	23100
12.	110	0,00086	0,3411	16336,9299	0,0189	2812,12383	0,02812124	0,2	12050
13.	275	0,00171	0,4486	10816,0012	0,0225	28658,9346	0,28658935	0,5	28375
14.	385	0,00130	0,5201	16470,6825	0,0210	38292,9344	0,38292934	0,7	40425
15.	385	0,00171	0,2991	7210,66747	0,0225	17838,555	0,17838555	0,7	39725
	4352,7						3,34803977	7,907	468693

Moody Diagram







Yhtiön nimi:

Luotu:

Puhelin:

Päiväys: 6.5.2019

NKGE 65-40-315/344 A2-F-A-E-BAQE 50 Hz

Syöttötieto

Yleinen	
Sovellus	Lämmitys
Käyttöalue	Likerakennukset
Asennustapa	Jakelu
Asennus	Pääkiertovesipumpu
Virtaus (Q)	14.1 m³/h
Nostokorkeus (H)	44.5 m
BMS-liitettävyyys	Ei
Nopea toimitus etusijalla	Ei

Vaativuutesi

Pumpattava neste	Lämmitysvesi
Min. nestelämpötila	20 °C
Maks. nesteen lämpötila	120 °C
Nesteen lämpötila käytön aikana	60 °C
Maks. käyttöpain	10 bar
Min. tulopaine	1.5 bar
Sallittu virtaaman alimitoitus	0 %

Säätötapa

Säätötapa	Suhteellinen paine
Pienennä alhaisella virtaamalla	50 %
Koteloitiluokka	IP20
Etäohjattu ulkoisella ohjauslaitteella	Ei

Muokkaa kuormitusprofiilia

Lämmityskausi	365 pvää
Kulutusprofiili	Vakioprofiili
Pienennetty yökäiväinen käyttö	Ei

Konfigurointi

Valitse nesteosan tyyppi	Rinnan
Pumppujen yhteismäärä	3
Näistä: varapumppujen määrä	1

Pumppurakenne

Pumpun materiaali	Valurauta tai ruostumaton teräs
-------------------	---------------------------------

Käyttöolosuhteet

Taajuus	50 Hz
Vaihe	1 tai 3
Min. tehonrajoitus Y/D käynnistyksessä	5.5 kW
Jännite	1 x 230 tai 3 x 400 V
Ympäristön lämpötila	20 °C

Elinkaarikustannus

Sisällytetty lämpöenergian säästöt	Ei
------------------------------------	----

Osumaluettelon asetukset

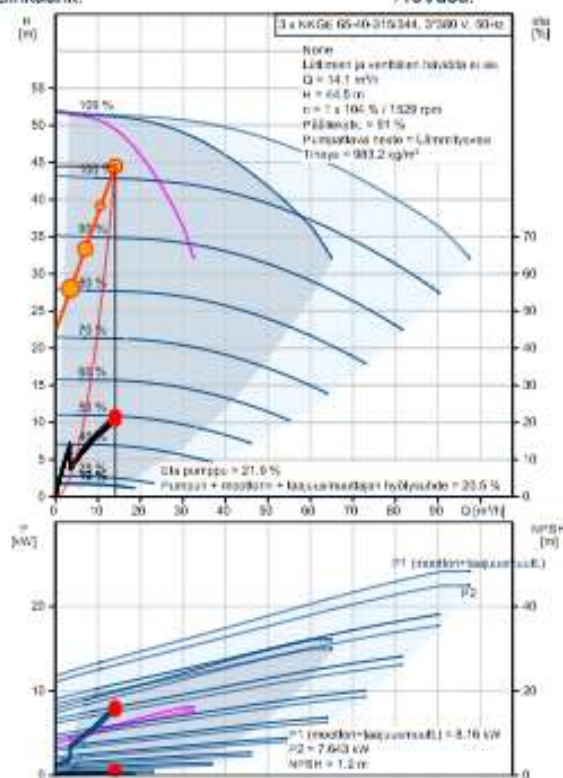
Energian hinta	0.16 €/kWh
Energian hinnannousu	6 %
Laskentajakso	15 v.

Kulutusprofiili

	1	2	3	4	
Virtaama	100	75	50	25	%
Nostokorkeus	100	88	75	63	%
P1	8.17	6.416	2.773	1.898	kW
kokhyötysuh.	20.5	17.2	22.7	13.9	%
Aika	525	1314	3066	3855	h/a
Kulutus	4290	8430	8501	7317	kWh/Vuos
Määrä	2	2	1	1	

Mitoitustulokset

Malli	NKGE 65-40-315/344
Määrä	3
Moott.	7.5 kW
Virtaama	14.1 m³/h
Päällekytk.	91 %
Nostokorkeus	44.5 m
Min tulop.	1.25 bar (120 °C, ulkoilmaa vastaan)
Teho P1	8.16 kW
Toimintapisteessä vaadittava teho P2	7.643 kW
Pumpun eta	21.9 %
Moott. eta	93.7 %
Eta aggregate	20.5 % = Eta pump * Eta motor
kokhyötysuh.	20.5 % = Eta toimipiste
Kulutus	28539 kWh/Vuos
CO2 päästöt	16300 kg/Vuos
Hinta	Pyynnöstä
Elinkaarik.	/15Vuod.



Järjestelmän elinikä vuosina	Oman energiantuotannon arvo €	Investointi- ja ylläpitokustannukset €	Kassavirta €/v	Investoinnin kumulatiivinen tuotto €/v (0% korko)	Investoinnin nettonykyarvoja (NPV) valitulla laskentakorolla	Takaisinmaksu-aika valitulla investoinnin laskentakorolla	Ostosähkön hinta [eur/MWh]	Myyntisähkön hinta [eur/MWh]	Lämmönmyynti hinta [eur/MWh]
0	0,0 €	-975 374,1 €	-975 374,1 €	-975 374 €			150,00 €	40,00 €	51,93 €
1	138 193,2 €	-64 874,8 €	73 318,4 €	-902 056 €	-881 799 €	1	150,00 €	40,00 €	51,93 €
2	140 662,8 €	-64 874,8 €	75 787,9 €	-826 268 €	-811 422 €	1	153,00 €	40,80 €	52,97 €
3	143 181,7 €	-64 874,8 €	78 306,9 €	-747 961 €	-740 480 €	1	156,06 €	41,62 €	54,03 €
4	145 751,1 €	-64 874,8 €	80 876,2 €	-667 085 €	-668 997 €	1	159,18 €	42,45 €	55,11 €
5	148 371,8 €	-64 874,8 €	83 497,0 €	-583 588 €	-596 998 €	1	162,36 €	43,30 €	56,21 €
6	151 044,9 €	-64 874,8 €	86 170,1 €	-497 418 €	-524 506 €	1	165,61 €	44,16 €	57,33 €
7	153 771,6 €	-64 874,8 €	88 896,7 €	-408 521 €	-451 545 €	1	168,92 €	45,05 €	58,48 €
8	156 552,7 €	-64 874,8 €	91 677,9 €	-316 843 €	-378 135 €	1	172,30 €	45,95 €	59,65 €
9	159 389,5 €	-64 874,8 €	94 514,6 €	-222 328 €	-304 301 €	1	175,75 €	46,87 €	60,84 €
10	162 283,0 €	-64 874,8 €	97 408,1 €	-124 920 €	-230 062 €	1	179,26 €	47,80 €	62,06 €
11	165 234,3 €	-64 874,8 €	100 359,5 €	-24 561 €	-155 439 €	1	182,85 €	48,76 €	63,30 €
12	168 244,7 €	-64 874,8 €	103 369,9 €	78 809 €	-80 452 €	1	186,51 €	49,73 €	64,57 €
13	171 315,3 €	-64 874,8 €	106 440,5 €	185 250 €	-5 121 €	1	190,24 €	50,73 €	65,86 €
14	174 447,3 €	-64 874,8 €	109 572,5 €	294 822 €	70 535 €	0	194,04 €	51,74 €	67,18 €
15	177 642,0 €	-64 874,8 €	112 767,2 €	407 590 €	146 498 €	0	197,92 €	52,78 €	68,52 €
YHTEENSÄ	1 881 730,5 €	-1 948 496,4 €	146 497,5 €			13			