

LAPPEENRANNAN TEKNILLINEN YLIOPISTO

Teknillinen tiedekunta

Ympäristötekniikan koulutusohjelma

BH10A0300 Ympäristötekniikan kandidaatintyö ja seminaari

**TERVALAMMEN KARTANON UUSI
LÄMMITYSJÄRJESTELMÄ**

**The New Heating system
of Tervalampi Manor**

Työn tarkastaja: Professori, TkT Risto Soukka

Tutkijaopettaja: TkT Mika Luoranen

Työn ohjaaja: Projektinjohtaja DI, Veikko Saukkonen

Lappeenrannassa 02.04.2013

03402777 Emma Sallinen

SISÄLLYSLUETTELO

SYMBOLILUETTELO.....	1
1 JOHDANTO	2
1.1 Työn tavoitteet.....	3
2 RAKENNUSTEN ENERGIAN KULUTUS	4
3 TERVALAMMEN KARTANON LÄMPÖENERGIAN TARVE.....	5
3.1 Kohteen tiedot	5
3.1.1 Ilmastointi laitteet	8
3.2 Korjaussuunnitelma	9
3.3 Nykyinen lämmitysjärjestelmä.....	10
3.3 Lämmitysverkon lämmitystehon laskenta	12
3.4 Lämmöntarve nyt ja tulevaisuudessa.....	15
4 LÄMMITYSJÄRJESTELMÄ VAIHTOEHDOT.....	17
4.1 Öljykattila.....	17
4.2 Hake ja pellettikattila	18
4.3 Maalämpöpumppu	20
4.4 Maakaasukattila.....	21
4.5 Bioreaktori ja biokaasukattila.....	21
4.5.1 Märkä- ja kuivamädättämö.....	23
4.5.2 Biokaasuntuotantoon vaikuttavat lait.....	25
4.5.3 Hankekustannukset	25
4.5.4 Bioreaktorin mitoitus	26
4.6 Hybridijärjestelmä	27
5 INVESTOINTIKUSTANNUKSET JA TAKAISINMAKSUAIKA	28
6 CO ₂ -PÄÄSTÖVERTAILU	29
7 VARAVOIMA	30
8 YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET	31
LÄHTEET	34

SYMBOLILUETTELO

$Q_{\text{lkv, netto}}$	käyttöveden lämmityksen nettolämpöenergiamäärä	[kWh]
ρ	tiheys	[kg/m ³]
c_{pv}	veden ominaislämpökapasiteetti	
V_{lkv}	lämpimän käyttöveden kulutus	[m ³]
T_{lvk}	lämpimän käyttöveden lämpötila	[C°]
T_{kv}	kylmän käyttöveden lämpötila	[C°]
$Q_{\text{lämmitys}}$	rakennuksen lämmitysenergiankulutus,	[kWh]
$Q_{\text{lämmitys, tilat}}$	rakennuksen tilojen lämmitysenergiankulutus	[kWh]
Q_{lkv}	käyttöveden lämmityksen energiankulutus	[kWh]

KÄYTETYT LYHENTEET

TEM	Työ- ja elinkeinoministeriö
KTM	Kauppa- ja teollisuusministeriö
RakMk	Suomen rakentamismääräyskokoelma

1 JOHDANTO

Ilmastonmuutos on yksi ihmiskunnan aikakauden vakavimmista ympäristöuhkista, joka on seurauksena hiilidioksidin ja muiden kasvihuonekaasujen pitoisuuksien noususta ilmakehässä. Suomen kokonaisenergian kulutuksesta 40 % aiheutuu rakennusten energiankulutuksesta, sekä niistä aiheutuvat päästöt ovat noin 30 % kaikista päästöistä. Jotta ilmaston lämpötilan nousu pystytään rajoittamaan 2 °C vuoteen 2050 mennessä, edellyttää se hiilidioksidipäästöjen pienentämistä 90 % nykytasosta. Euroopan unioni on esittänyt kunnianhimoisen tavoitteensa joka on 60–80 % vähennyksen vuodelle 2050 mennessä. (Helsingin kaupungin talous- ja suunnittelukeskus 2010).

Rakennusten energiakulutuksesta aiheutuvan prosentti osuuden ollessa näinkin korkea, on rakennusten energiatehokkuuden parantamisella suuri merkitys ilmastonmuutoksen torjumisessa. Näin ollen on koko rakennusala kovan paineen alaisuudessa, kun rakennusten energian käyttöä on vähennettävä huomattavasti. Suomessa uudisrakentamista ja niiden laatua ohjataan laein, määräyksin ja ohjein. Kuitenkin suurin osa rakennuskannasta muodostuu vanhoista rakennuksista, joiden energian kulutus on merkittävän suuri. Vuoden 2007 lopussa valmistui energiatehokkuussopimukset vuosille 2008-2016. Sen keskeisenä tavoitteena on yhdeksän prosentin energian säästö vuosina 2008 – 2016. Tällä yhdeksällä prosentilla ei tarkoiteta, että energian kulutus tulisi olla vuonna 2016 yhdeksän prosenttia alhaisempi kuin 2008. Vaan laskentaan otetaan mukaan myös kulutukset, jotka on estetty, eli se energia joka kuluisi ilman säästötoimenpiteitä. Sopimuksen piiriin ovat tulleet suuret kunnat ja kuntayhtymät, kuten myös Helsingin kaupunki.

Helsingin Kaupungin energiatehokkuussopimus solmittiin 10.12.2008. Keskeisenä tavoitteena sopimuksessa on energian säästö. Kaupunki sitoutui seuraamaan ja pienentämään omaa energiankulutustaan johdonmukaisesti. Kaupunki myös sitoutui energiansäästötoimenpiteissään, uusiutuvan energialähteiden käyttöön. (Helsingin Kaupunki 2009) Kyseessä on myös raha. Kaupungilla menee suuret määrät rahaa kiinteistöjen energiakustannuksiin. Pelkästään kaupungin toimitilakiinteistöjen energiakustannukset ovat n. 50 M €/vuosi.

Energiansäästön ja energiatehokkuuden lisäämisen saavuttamiseksi Helsingin kaupunki on aloittanut johdonmukaisen kiinteistönhoidon ohjauksen ja tehnyt rakennuskannan energiatehokkuutta parantavia toimenpiteitä myös investointien muodossa. Tavoitteena on mm. selvittää uusiutuvan energian käytön mahdollisuudet kaupungin kiinteistöissä, jonka tavoitteena on 5 %:n osuus vuoteen 2030 mennessä. Tavoitteena on toimia esimerkiksi ja kannustaa energiatehokkuuteen ja säästöön sekä uusiutuvien energialähteiden käyttöön. Helsingin kaupungin on energiatehokkuussopimuksen pohjalta päättänyt luopua fossiilisten polttoaineiden käytöstä kiinteistöissään. (Dnro. 16/804/2007). Raskaan polttoöljyn toimitus loppuu vuoteen 2016 mennessä, mutta joitakin kohteita tullaan lämmittämään öljyllä myös tämänkin jälkeen.

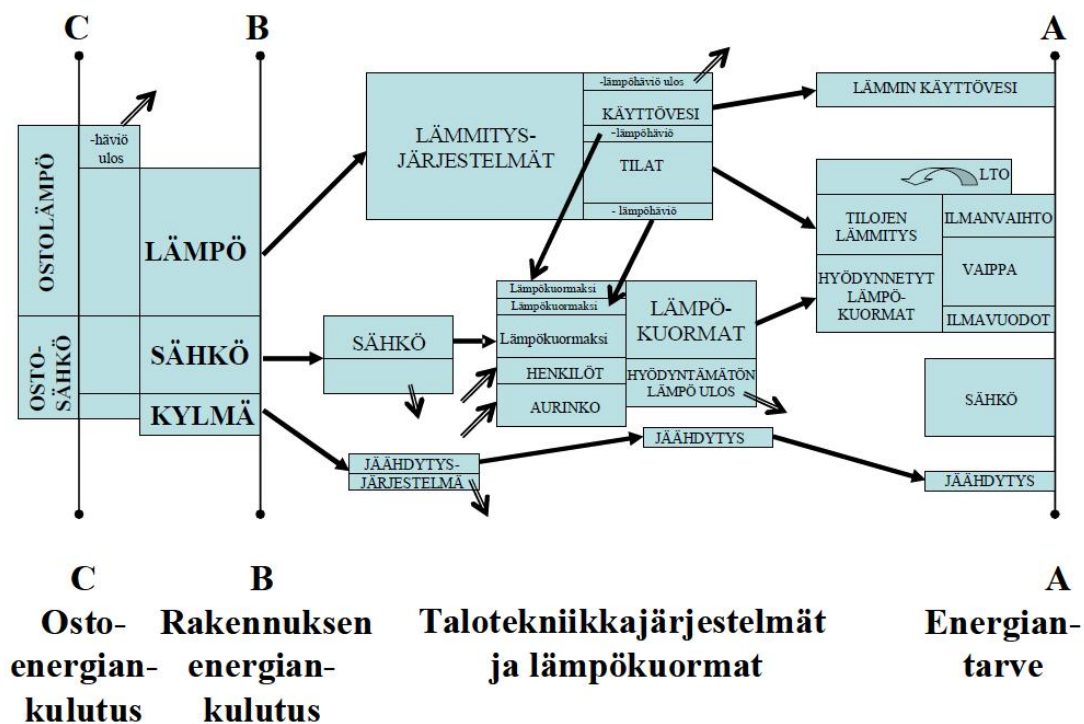
1.1 Työn tavoitteet

Työn tavoitteena oli valita Helsingin kaupungin tilakeskuksen omistamaan Tervalammen kartanon hoitokeskukseen uusi lämmitysjärjestelmä. Tavoitteena oli valita järjestelmä joka kuormittaa mahdollisimman vähän ympäristöä ja on taloudellisesti järkevä. Lähes kaikkiin Helsingin Kaupungin hallinnoimiin kiinteistöihin on tehty 1990 luvun alusta lähtien energiakatselmuksia Motivan mallin mukaan. Tervalammen kartanoon on myös tehty katselmuksia vuosien varrella ja katselmuksien pohjalta on todettu, että energian käyttö on kohtuullisen korkeaa. Lisäksi lämmitysenergian lähteenä toimivasta raskaasta polttoöljystä on tarkoitus päästä eroon. Vihdin kunnassa sijaitseva kartanoalue toimii kuntoutuskeskuksena päihdeongelmallisille miehille, naisille ja perheille. Tervalammen kuntoutuskeskuksessa asuu jatkuvasti noin 108 potilasta ja siellä työskentelee noin 50 työntekijää. Tavoitteena oli myös suunnitella sähkövaravoimajärjestelmä, jonka tulee kattaa lämmitysjärjestelmän tarvitsema käyttöteho sekä muut tärkeät hoitolaitoksenlaitteet.

Ensimmäisessä osassa käsitellään yleisesti rakennusten energian kulutuksen muodostumista. Työn toisessa osassa käydään läpikohteen tiedot, jonka pohjalta lasketaan ja arvioidaan Tervalammenkartanon energiakulutusta ja sen jakautumista. Käydään lisäksi läpi millainen lämmitysjärjestelmä on nyt käytössä ja millaisia korjaustoimenpiteitä kohteessa on jo tehty ja mitä sinne on suunniteltu tehtävän. Kolmannessa osassa käydään läpi mahdolliset lämmitysjärjestelmät

2 RAKENNUSTEN ENERGIAN KULUTUS

Rakennuksen energiankulutus koostuu järjestelmien siirtämisestä sähkön, lämmön ja jäähdytysenergian sekä niiden lämpöhäviöiden summasta. Vaihtoehtoisen ostoenergian tarve lasketaan nykyisen energiankulutuksen ja käytettävän järjestelmän vuosihyötysuhteen avulla. Rakennuksen tilat lasketaan yhtenä tilana silloin, kun rakennuksen lämmitettävien tilojen lämpötila ja lämpökuormien erotus on kohtuullisen pieni tai tasaisesti jakaantunut rakennuksessa. Muulloin tilat ovat laskettava erikseen ja yhteenlasketusta tilakohtaisista arvoista saadaan koko rakennuksen energiankulutus. Energian kulutuksen laskennassa käytetään energiatasetta, kuva 1. Energiatase sisältää lämpö-, sähkö- ja jäähdytysenergian ja niiden vaikutuksen toisiinsa. (Ympäristöministeriö, 2007)



Kuva 1, Energiatase, (Ympäristöministeriö, 2007)

Kohta A, energian tarve muodostuu lämpimästä käyttövedestä, tilojen lämmityksestä, sähkö tarpeesta sekä jäähdytyksestä. Energian tarve katetaan näillä, sekä laitteiden ja ihmisten luovuttamalla lämpöenergialla, auringon rakennukseen luovuttamalla säteilyenergialla sekä muilla lämpökuormilla. Kohta B, rakennuksen energiankulutus muodostuu järjestelmien siirtämisestä sähkö, lämpö sekä jäähdytysenergiasta ja niiden lämpöhäviöistä. Kohta C, os-

toenergian kulutus muodostuu rakennuksen energiankulutuksesta ja käytettävästä järjestelmästä. Nuolet kuvaavat energiavirtoja, jossa yksiviivainen nuoli tarkoittaa energiavirtaa taseen sisällä ja kaksiviivainen tarkoittaa virtaa, joka tulee taseen ulkoa taseen sisälle tai päinvastoin. (Ympäristöministeriö, D5, 2007)

Lämmitysjärjestelmää valittaessa rakennukseen on otettava huomioon järjestelmän hankintahinta ja käyttökustannusten lisäksi kohteen koko, käyttötarkoitus sekä kokonaistoimivuus. Vanhan lämmitysjärjestelmän periaatteen toimivuus ja mitoitus on tarkistettava. Vastaako vanha järjestelmä nykypäivän tarpeita. On arvioitava myös kohteen tulevaa käyttöä, joka voi joskus poiketa suurestikin nykyisestä. Lisäksi on selvítettävä, mahdolliset korjausrakentamistarpeet ja mahdolliset laajennukset. Rakennusten ilman- ja lämmönpitävyys on hyvä tarkistaa esim. lämpökamerakuvauksen avulla. Tämä antaa tietoa sopivan korjausmenetelmän suunnitteluun ja laajuuteen. Energiankulutukseen vaikuttaa erityisesti ulkovaipan eristys, sisälämpötila ja ilmanvaihtokoneiden oikea säätö; pahimmillaan ne toimivat ympäri vuoden samalla teholla. (Rakennustieto, 2007). Yleisperiaatteena Helsingin kaupungin rakentamishojeessa on ollut se, että pelkkiä energiakorjaustoimenpiteitä ei tehdä, esim. ikkunoita ei vaihdeta vai siksi, että uusien ikkunoiden energiakulutus on pienempi.

3 TERVALAMMEN KARTANON LÄMPÖENERGIAN TARVE

Tässä työssä ei oteta huomioon sähköenergian, jäähdytysenergian tai laitteiden ja ihmisten luovuttamaa energiaa. Ei myöskään oteta huomioon auringon luovuttamaa säteilyenergiaa rakennukselle, eikä muita rakennukseen aiheutuvia lämpökuormia.

3.1 Kohteen tiedot

Tervalammen kuntoutuskeskus sijaitsee Vihdin kunnassa. Rakennusten yhteenlaskettu bruttopinta-ala on $14\,422\text{m}^2$ ja tilavuus $44\,420\text{m}^3$. Kohteessa on 38 rakennusta, joista 18 asuinrakennusta 3 kasvihuonetta on liitetty lämmönjakeluverkkoon, jonka lämmönlähteenä toimii öljykattilajärjestelmä. Lämpöverkkoon kytketyn asuin- tai hoitotilakiinteistöjen yhteispinta-ala on noin $12\,200\text{m}^2$ ja tilavuus $30\,492\text{m}^3$, jonka lisäksi kohteessa on noin 2000

m² kasvihuoneita. Ks. taulukko 1. Kohteen vuosittainen raskaanpolttoöljyn tarve on noin 300 t, eli kohtuullisen suuri. Käytössä on kolme öljykattilaa, joita käytetään eri vuodenaikoina tehontarpeen mukaan. Tarkoituksena on päästä öljyn käytöstä eroon ja korvata se ympäristöystävällisemmällä energiamuodolla. Lämmönjakeluverkkoon on tehty 2011 syksyllä kattavia korjauksia, joka sitoo lämmöntuotannon keskitettyyn lämmitysjärjestelmän vaihtoehtoon.

Taulukko 1, Lämmitysverkkoon liitetyt rakennukset

Nro.	Rakennus	Käyttötarkoitus	Lämmitettävä m ³	Lämmitettävä m ²	Rakennusvuosi	Lämmitys- muodot	Linja
1	Päärakennus	Toimisto- ja hallintorakennus	1940		1883	Vesipatterit	1
2	Säteri	Toimisto	500		1720	Vesipatterit	1
4	Pehtoori	Majoitus	1 480		1880	Vesipatteri	2
5	Renkitupa	Majoitus	670		1880	Vesipatteri	2
6	Henkilöstö asuntola	Henkilökunnan majoitus	842		1956	Vesipatteri	2
8	Verstas	Terapiatila	815		1959	Vesipatterit	1
9	Pilvilinna	Asuintila	1 170		1975	Vesipatterit	1
10	Vihreäverstas	Muu opetus	480		1956	Vesipatterit	1
11	Karjala	Pien- tai rivitalo	815		1948	Vesipatterit	1
12	Ravintokeskus	Ruokala	3 170		1951	Vesipatterit	2
13	Aluelämpökeskus	Lämpökeskus	630		1969	Vesipatterit	2
14	Osastorak 1	Potilaiden osastorakennus	5 380		1951	Vesipatterit + LTO	2
15	Polikliniikka	Poliklinikka	510		1951	Vesipatterit	2
16	Osastorak 2	Potilaiden osastorakennus	7 000		1969	Vesipatterit	2
19	Pakkaamo	Pakkaamo kasvihuoneille	250		1890	Vesipatterit	1
20 A	Kasvihuone ylä	Kasvihuone		750	1999	putkilämm.	1
20 B	Kasvihuone ylä	Kasvihuone		750	1999	putkilämm.	1
21	Kasvihuone ala	Kasvihuone		500	1999	putkilämm.	1
25	Talousrakennus	ruokala ym.	3 390		1957	Vesipatterit	2
45	Osastorak. 3 Ainola	Potilaiden osastorakennus	730		1984	Vesipatterit	1
47	Osastorak. 4	Potilaiden osastorakennus	720		2009	Vesipatterit	1

Kohteessa on lisäksi 17 kappaletta pinta-alaltaan kohtuullisen pieniä ja etäisyydeltään alue-
lämpökeskuksesta kaukaisia kohteita. Rakennukset lämmitetään sähköllä tai ilmalämpöpumpun avulla. Sähkön kulutus on ollut lähes vakio kesällä ja talvella, huolimatta siitä että

pieniä rakennuksia lämmitetään sähköllä. Jatkuva sähköteho ympäri vuoden on ollut n. 115 kW.

Rakennuskanta on monipuolinen ja ikähaarukka on suuri. Vanhin rakennus Säteri on rakennettu vuonna 1720 ja sen jälkeen on rakennettu useita rakennuksia sen läheisyyteen kuten esimerkiksi Tervalammen kartanon päärakennus vuonna 1883, ks. kuva 2. Useat rakennukset ovat museoviraston suojelemia ja niitä on saneerattu niin paljon kun puitteet ovat sallineet. 1950-luvulla kartanonalueelle rakennettiin varsinaiset hoitorakennukset, yhteensä noin 4900 m². 1960-luvulla rakennettiin aluelämpökeskus, jota uudistettiin täysin 1980-1981. Vuonna 1982 rakennettiin osastorakennus 2, jonka pinta-ala on noin 2700 m². Uusin rakennus osastorakennus 4 on rakennettu vuonna 2009, sen pinta-ala on noin 300m².



Kuva 2 Tervalammen kartano, rakennettu 1883.

Vuonna 1999 rakennettiin Tervalammen kuntoutuskeskukseen kolme kasvihuonetta. Kasvihuoneet ovat käytössä maaliskuu-joulukuussa eli noin 10 kk vuodesta. Loka-marraskuussa on enää yksi kasvihuone käytössä. Pääasiassa kasvihuoneet on rakennettu potilaiden työte-

rapiahoitotiloiksi. Päätuotanto on biodynaamisesti viljelty kurkku ja lisäksi jouluksi kasvatetaan myyntiin tarkoitettuja kukkia. Kasvihuoneet ovat huonossa kunnossa ja merkittävä osa nykyisestä lämpöenergiasta kuluu niiden lämmittämiseen. Taloudellisesti kasvihuone toimita ei ole kannattavaa.



Kuva 3, Osastorakennus 1, rakennettu 1951.

3.1.1 Ilmastointi laitteet

Kohteessa on ainoastaan osastorakennuksessa 1, (rakennus numero 14) lämmöntalteenotolla varustettu ilmastointikone. Huoltomiehen mukaan ilmastointikone on asennettu 2002 ja sen maksimi tulo- ja poisto ilmavirta on $3,8 \text{ m}^3/\text{s}$. Lämmityspaterin kilpiarvo n mukaan teho on 98 kW, jos teho olisi mitoitettu $36 + 21 * 1,2 * 3,800 * 0,5$ (LTO:n hyötysuhde) saadaan 130 kW. Ilmavirtaa pudotetaan puoleen, kun lämpötila ulkoa on alle -15, tällöin saadaan tehotarpeeksi ilmavirralla $1,9 \text{ m}^3/\text{s}$ saadaan 62 kW. Ilmastointikone mitoitettu D2 mukaan ja se on tilan käyttöä ajatellen määräysten mukainen. Järjestelmää ohjataan tieto-

konepohjaisen rakennusautomaatiojärjestelmän avulla ns. tarpeenmukaisuusperiaatteella, joka perustuu esim. CO₂ anturien, läsnäoloanturien ja muiden mittauslaitteiden antamien tietoihin. Puhaltimet on taajuusmuuttaja ohjattuja.

3.2 Korjaussuunnitelma

Kohteessa on tehty peruskorjauksia vuosien aikana laajasti ja myös jouduttu investoimaan huomattavan suuria summia rahaa. Osaksi syynä saattaa olla, että osa rakennuksista on museoviraston suojelemia, joka valvoo rakennusten kuntoa. Vanhojen puutalojen huolto vaatii jatkuvaa huoltoa ja myös korjauksia. Taulukossa 2 esitetty suunniteltuja ja nyt jo valmistuneita korjauksia vuosina 2010-2014. Lämmönjakoverkostossa havaittiin kesällä 2011 vakavia ja yllättäviä vuotoja, jotka oli pakko korjata pikaisesti, siksi pääosa verkosta on kunnostettu syksyllä 2011. Lämmitysverkoston korjauskulu oli n. 200 000 € joka ei näy rahoitussuunnitelmassa. Rakennuksen kunto ja käyttö vaikuttavat rakennuksen lämmitykseen, kun ulkovaippa on tiivis ja kylmäsiltoja ei ole, ei lämmitys energiaa tarvita niin paljon. Budjetissa on varattu vuodelle 2011 lämmitysjärjestelmän uusintaan 400 000 €, mikä riittää esim. pellettilämmitykseen siirtymisen.

Taulukko 2, Korjaussuunnitelma

Kohde	Mitä korjataan	Milloin	Kustannukset
katto	huoltorakennus ja museo	2011	80 000
keskuslämmityksen uusinta	lämmönjakohuone/kattilahuone	2011*	400 000
naisten osasto	liikuntaesteiden poisto	2010	25 039
katto	pehtorintalo	2010	59 100
ilmastointi	Ainola	2010	119 661
ryömintätila	iv-korjaus	2010	775 000
katto	rak. 26	2011	100 000
peruskorjaus	rak. 14	2014	4 400 000
lämpöputket	rivitalo	2011	50 000
vesijohto	kiinteistö	2010	28 903
yhteensä			6 037 770 €

*ei ole tehty

3.3 Nykyinen lämmitysjärjestelmä

Lämmönjako kohteessa toimii vesikiertoisella patterijärjestelmällä. Kohteessa on kolme öljykattilaa, joita käytetään eri vuodenaikoina tehon tarpeen mukaan. Katso kuva 4. Kattila 1, Högfors, 1984, teho 800 kW on käytössä keväisin ja syksyisin. Kesäisin käytössä oleva kattila 2 Högfors, 1985 teho 580 kW. Kohteessa on lisäksi käytössä sähkökattila, Kaukora Oy, joka on valmistettu vuonna 1985, sen kilpiarvoinen teho on 300 kW. Kattila 3 on valmistettu 2005 ja on teholtaan 1500 kW ja se riittää yksin kattamaan koko verkoston tehon tarpeen. Käyttäjän mukaan kattiloiden 1 ja 2 + sähkökattila on riittänyt -30 asteen pakkasessakin. Tästä voidaan laskea teoreettiseksi maksimi tehotarpeeksi $800 + 580 + 300 \text{ kW} = 1680 \text{ kW}$. Noin 100 m^3 öljysäiliö sijaitsee ulkona, josta se pumpataan kahteen $12,5 \text{ m}^3$ esilämmitys säiliöön, josta ne pumpataan kattiloihin. Varaöljynä toimii $5,0 \text{ m}^3$ kevytöljysäiliö. Tervalammen kohteessa on 2000-luvulla käytetty raskasta polttoöljyä noin 300 t vuodessa. Veroineen raskaan polttoöljyn hinta on noin 1,00 €/kg. Vuodessa Tervalammen pelkät polttoainekustannukset ovat noin 300 000,00 €. Käytetyn öljyn määrä on laskenut edellisistä vuosista jopa 100 t (1995/2010). Kappaleessa 3.4 käydään läpi tarkemmin lämmitystehon jakautuminen eri vuodenaikoina.



Kuva 4 Tervalammen nykyiset lämmityskattilat. Etualalla on kattila no 1 ja kauimpana on kattila no. 3, sähkökattila, joka sijaitsee kattilan 1 ja 2 välissä ei näy tässä kuvassa.

Taulukossa 3 on listattu kohteen energian kulutustietoja 1995-2010 välillä. Vuodesta 1995 lämmitysenergian kulutus on laskenut huomattavasti, mutta 2006-2010 lukemista voidaan huomata että kulutus on vaihdellut vuosittain. Veden kulutus on vähentynyt tasaisesti vuodesta 1995. Ihminen kuluttaa vuorokaudessa 150 l/vrk (Motiva). Kohteessa asuu noin 160 ihmistä ympäri vuorokauden eli tällöin voidaan arvioida käyttöveden vuotuiseksi vedenkulutukseksi $0,150 \text{ m}^3 * 365 \text{ vrk} * 160 = 8760 \text{ m}^3$, joka on noin 65 % kokonaisvedenkäytöstä. Loput 35% käytetään kasvihuoneiden kasvien ja piha-alueiden kasteluun. RaMK D5 mukaan lämpimänveden osuus käyttövedestä on 40%.

Taulukko 3, Tervalammen hoitokodin energiankulutus 1995-2011. Energioiden kulutusarvo /m² on laskettu asuineliöiden n. 6000 m² mukaan ja suluissa oleva luku on laskettu rakennusneliöiden mukaan n. 12 000 m².

vuosi	lämmitys- energia kWh/m ²	lämmitys- energia MWh	sähkön ku- lutus MWh	sähkön ku- lutus kWh/m ²	veden ku- lutus /m ³	veden kul. dm ³ /m ²
1995	309 (247)	3963	854	67	19 627	1535
2006	217 (174)	2775	873	68	15 708	1228
2007	238 (190)	3038	889	70	15 564	1217
2008	211 (169)	2695	1004	79	13 944	1090
2009	243 (194)	3106	938	73	13 669	1069
2010	216 (174)	2764	869	68	13 510	1056

Vuonna 2010 Helsingin kaupungin käytössä olevissa hoitolaitoksissa lämmönkeskikulutus on ollut asuineliötä kohden 186 kWh/m² ja sähkönkulutus on ollut keskimäärin 89 kWh/m² 2010. Täten Tervalammen kuntoutuskeskuksen neliökohtainen lämmönkulutus on ollut huomattavasti suurempi ja vastaavasti sähkön kulutus hieman pienempi verrattuna muihin vastaaviin kiinteistöihin.

Lämmitysverkko on jaettu kahteen piiriin, joiden kuormitus on lähes sama. Verkoston kokonaispituus on noin 1000 m. Ennen kuin uutta lämmitysjärjestelmä oli valittu tai alettu

suunnittelemaan, oli lämmitysverkkoa kunnostettu syksyllä 2011. Verkkoon tehtyjen laajojen investointien vuoksi on keskitetty lämmitysjärjestelmä järkevin. Toinen mahdollinen ratkaisu olisi ollut hajautettu järjestelmä, tällä olisi välttytty verkon edelleen suurilta lämpöhäviöiltä ja lisäksi saavutettu säästöjä optimoimalla tilakohtaisesti energiankäyttöä.

3.3 Lämmitysverkon lämmitystehon laskenta

Tervalammen kuntoutuskeskuksen raskaanpolttoöljyn vuosittainen kulutus on noin 300 t. Taulukko 4, raskaan polttoöljyn tehollinen lämpöarvo on 11,4 kWh/kg. Tällöin vuosittainen raskaanpolttoöljyn käyttö kohteessa on kilowattitunteina 3 420 000 kWh. Ostettavan lämpöenergian määrästä saadaan rakennuksen lämmitysenergian kulutus, kun kerrotaan ostoenergian määrä käytettävän lämmöntuottolaitteen hyötysuhteella. Kohteessa on kolme kattilaa, kahden vanhemman kattilan hyötysuhde on hieman huonompi, kuin uuden 1500 kW kattilan. Keskimääräiseksi vuosittaiseksi hyötysuhteeksi arvioidaan 0,8. Tällöin rakennuksen vuosittaiseksi lämmitysenergian kulutukseksi saadaan 2 736 000 kWh (2010).

Taulukko 4, Polttoaineiden teholliset lämpöarvot (Ympäristöministeriö D5, 2007)

Polttoaine	Tehollinen lämpöarvo
Raskas polttoöljy	11,4 kWh/kg
Kevyt polttoöljy	10,0 kWh/dm ³
Maakaasu	10 kWh/m ³
Polttopuut yleensä (pilkkeet)	4,1 kWh/kg
Puupelletti	4,7 kWh/kg
Polttohake	900 kWh/irto-m ³
Kivihilli	6,6 kWh/kg
Palaturve	3,3 kWh/kg

Lasketaan tervalammen hoitokeskuksen käyttöveden lämmityksen tarvitsema lämpöenergia $Q_{lkv,netto}$ lasketaan kaavan (1) avulla. (Ympäristöministeriö 2007,s 26)

$$Q_{lkv,netto} = \frac{\rho_v c_{pv} V_{lkv} (T_{lkv} - T_{kv})}{3600} \quad (1)$$

jossa

$Q_{lkv, netto}$ käyttöveden lämmityksen tarvitsema lämpöenergia, nettoenergia [kWh]

ρ	veden tiheys, 1000kg/m ³
c_{pv}	veden ominaislämpökapasiteetti, 4,2 kJ/kgK
V_{lkv}	lämpimän käyttöveden kulutus, m ³
T_{lvk}	lämpimän käyttöveden lämpötila, C°
T_{kv}	kylmän käyttöveden lämpötila, C°
3600	kerroin, jolla suoritetaan laatumuunnos kWh

Nettoenergiassa ei huomioida mahdollisten lämmityslaitteiden, kuten varaajien tai putkiston lämpöhäviöitä. Lämpimän ja kylmän käyttöveden lämpötila erotuksena käytetään 50 C°. Lämpimän käyttöveden ominaiskulutus henkilöä kohti päivässä on n. 0,06 m³. Aukkaita tervalammen kohteessa on noin 160. Lämpimänveden päivittäinen kulutus on 9,6 m³, kuukausittainen kulutus on 288 m³ ja vuosi kulutus on 3504 m³.

Tervalammen kuukausittainen lämmitettävään käyttöveteen kulunut energia lasketaan kaavalla 1. (Ympäristöministeriö, 2007)

$$Q_{lkv,netto} = \frac{1000kg}{m^3} * \frac{4,2kJ}{kgK} * 3504m^3 * 50^{\circ} \frac{C}{3600} = 204\ 400 \text{ kWh}$$

Rakennuksen lämmitysenergiankulutus koostuu tilojen lämmitysenergian, lämpimän käyttöveden lämmitysenergian summasta, kaava (2). (Ympäristöministeriö, 2007) Tässä laskennassa ei oteta huomioon postoilmalämpöpumpun lämpöenergiaa.

$$Q_{\text{lämmitys}} = Q_{\text{lämmitys,tilat}} + Q_{lkv} \quad (2)$$

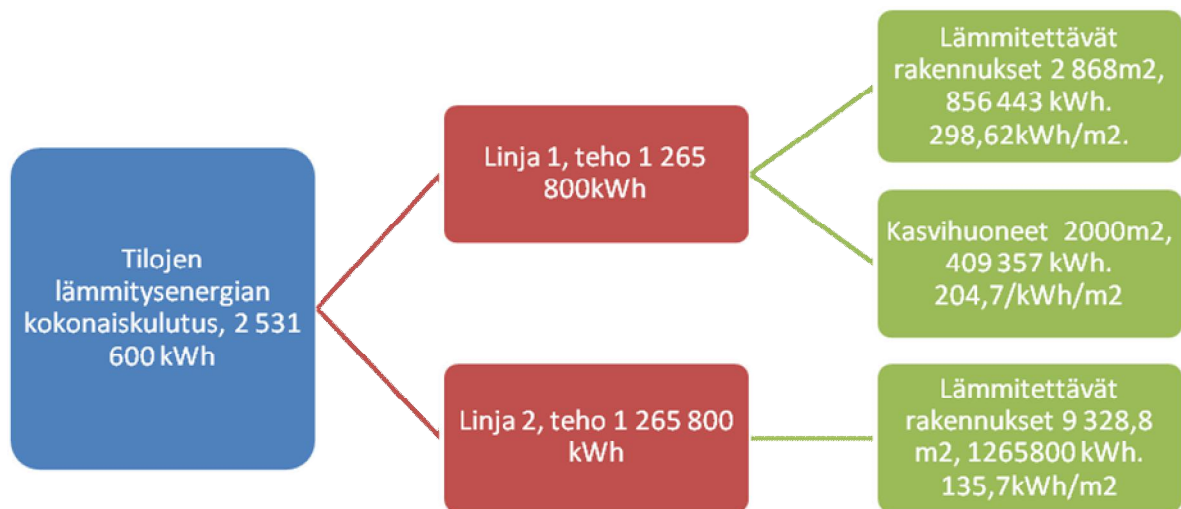
$Q_{\text{lämmitys}}$	rakennuksen lämmitysenergiankulutus, kWh
$Q_{\text{lämmitys, tilat}}$	rakennuksen tilojen lämmitysenergiankulutus, kWh
Q_{lkv}	käyttöveden lämmityksen energiankulutus, kWh

Kaavalla 2 saadaan laskettua rakennusten tilojen lämmitysenergian kokonaiskulutus. (Ympäristöministeriö, 2007)

$$Q_{\text{lämmitys,tilat}} = 2\ 736\ 000 \text{ kWh} - 204\ 400 \text{ kWh} = 2\ 531\ 600 \text{ kWh}$$

Rakennusten tilojen lämmitysenergiankulutus muodostuu rakennusten lämmityksen nettoenergian tarpeesta ja lämmitysjärjestelmän lämpöhäviöenergian summasta. Kohteen lämmönjakoverkko on pitkä ja lämpöhäviöt ovat suuria.

Lämmönjakoverkkoon liitettyjen rakennusten kokonaislämmitettävä kuutio määrä on $30\,492\text{ m}^3$. Keskimääräiseksi huonekorkeudeksi arvioidaan 2,5 m, jolloin lämmitettäviä tiloja $12\,196,8\text{ m}^2$. Helsingin kaupungin tilakeskuksen laskelmien mukaan lämmitys energia tarve vastaavissa rakennuksissa on noin 186 kWh/m^2 . Koska keskimääräinen lämmitysenergian tarve tiedetään, voidaan laskea rakennusten lämmitystehontarve vuodessa, $174\text{ kWh} * 12\,196,8\text{ m}^2 = 2\,122\,243,2\text{ kWh}$. Lämmönjakoverkko on jaettu kahteen teholtaan suurin piirtein samansuuruiseen linjaan. Ks. kuva 5. Oletetaan, että linjat ovat saman tehoiset, eli $1\,265\,800\text{ kWh}$. Linja 2 lämmitettäviä rakennuksia on $9328,8\text{ m}^2$. Lämmitysenergian tarve per neliö on $1265800\text{ kWh}/9328,8\text{ m}^2 = 135,7\text{ kWh/m}^2$. Lämpö tehon tarve on alhaisempi kuin keskimääräinen, tämä on selitettävissä sillä, että linjan 2 rakennukset ovat nuorempia, sekä kaksi kohteen suurinta rakennusta sijaitsee samassa kiertopirissä.



Kuva 5, Lämmönjakoverkon jakautuminen

Linja 1 kattaa kahdeksan rakennusta eli 2868 m^2 ja 2000 m^2 kasvihuoneita. Vuosittainen lämmitystehontarve tiedetään, josta voidaan laskea linjan 1 rakennusten lämpöenergian tarve, $2\,122\,243,2\text{ kWh} - 1\,265\,800\text{ kWh} = 856\,443\text{ kWh}$. Linjan 1 rakennusten lämmitys

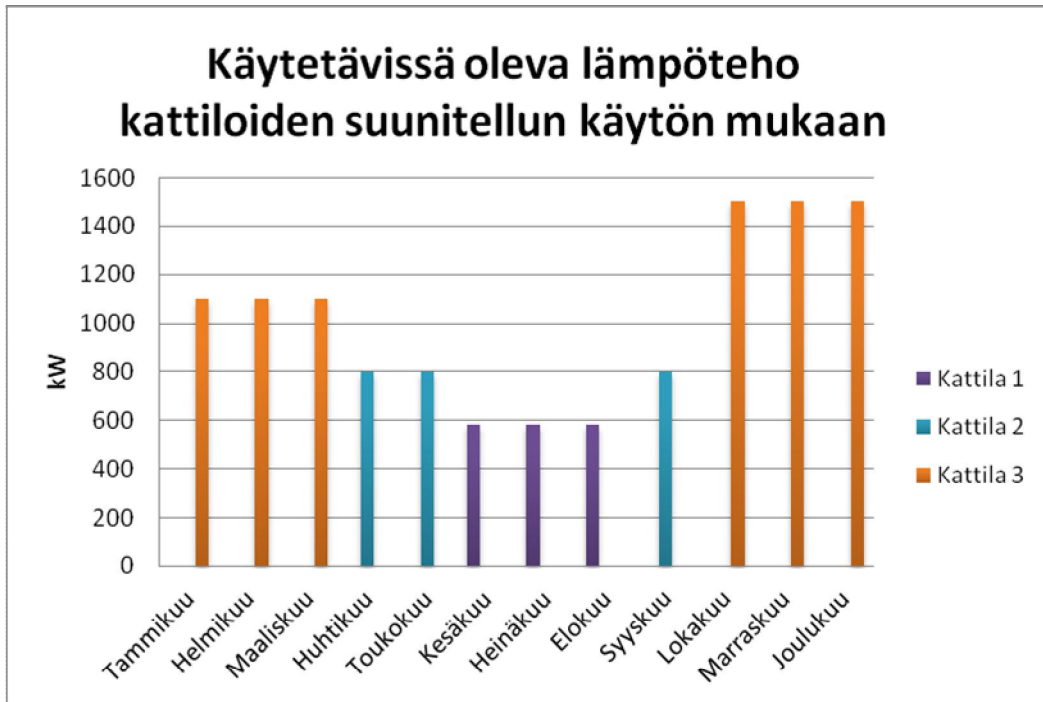
energian tarve neliötä kohden on $856\,443\text{ kWh}/2868\text{ m}^2=298,62\text{ kWh/m}^2$. Tarve on suuri, koska linjalla on vanhoja ja pieniä rakennuksia paljon, joiden energian kulutus on suuri.

Kasvihuoneiden lämmitykseen jää $1\,265\,800\text{ kWh}-856\,443\text{ kWh}=409\,357\text{ kWh}$, eli noin 16% tilojen lämmitysenergian kokonaiskulutuksesta. Kasvihuoneiden lämmitystehon tarve on $409\,357\text{ kWh}/2000\text{ m}^2=204,7\text{ kWh/m}^2$. Kulutus ei vaikuta suurelta, mutta on otettava huomioon, että kasvihuoneet eivät ole tammi-helmikuun kovilla pakkasilla päällä, eikä syy-joulukuussa lämmitetä kuin pienintä 500 m^2 kasvihuonetta. Yhteensä raskastapolttoöljyä menee vuodessa kasvihuoneiden lämmittämiseen noin 45 t. Kun veroinen raskaan polttoöljyn hinta on n. 1,00 €/kg. Vuodessa Tervalammen pelkät kasvihuoneen polttoainekustannukset ovat noin 45 000,00 €

3.4 Lämmöntarve nyt ja tulevaisuudessa

Kesällä käytössä on kattila 2 jonka teho on 580 kW, koska kesäisin kiinteistöä ei lämmitetä. Voidaan olettaa, että tätä kattilaa käytetään lämpimän käyttöveden lämmittämiseen ja mahdollisesti kylminä kesäisinä kasvihuoneiden lämmittämiseen. Syksyisin ja keväisin lämpötilojen vielä ollessa plussanpuolella, käytössä on kattila 1 jonka teho on 800 kW. Oletetaan että suurin osa lämmityksestä kuluu kasvihuoneiden lämmitykseen, sekä lämpimän käyttöveden lämmitykseen. Talvella toimii kattila 3, jonka teho on 1500 kW. Käyttäjien mukaan kattilan teho on riittänyt talvella kattamaan koko lämmönjakoverkon tarpeen. Marras- joulukuussa lämmitetään vielä yhtä ja pienintä kasvihuonetta, jonka pinta-ala 500 m^2 . Taulukossa 5 on esitetty suunniteltu kattiloiden käyttö ja tehon jakautuminen erivuo- denaikoina.

Taulukko 5. Järjestelmään on kytketty myös n. 300 kW:n sähkökattila, jonka teho lisättynä kattilan 1 tai 2 tehoon yleensä riittää korvaamaan kattilan 3 huolto/toimintahäiriön aikana.



Helsingin kaupungin tilakeskuksen mukaan kohteeseen ei ole suunniteltu lisärakentamista lähiaikoina. On todennäköistä, että tällä hetkellä suunnitellut muutaman vuoden sisällä tehtävät rakennusten kunnostustyöt, eivät alenna huomattavasti rakennusten lämpöenergian kulutusta. Ainoa keino, jolla pystyttäisiin tuntuvasti laskemaan energiankulutusta, on kasvihuoneiden perusteellinen kunnostus taikka käytöstä pois ottaminen. Kasvihuoneiden käytöstä poisto tarkoittaa välittömästi n. 15 % energiankulutuksen vähenemistä. Myös sähkön kulutukseen kasvihuoneilla on merkitystä, koska kasvihuoneissa on voimakas valaistus ja käytössä on myös paikallisia sähkölämmittimiä. Sähkönkulutuksen pienenemisen voidaan arvioida olevan samaa luokkaa lämmönkulutuksen pienenemisen kanssa eli rahallinen säästöpotentiali on yhteensä n. 50 000 € Lisäksi vedensäästö on huomattava.

4 LÄMMITYSJÄRJESTELMÄ VAIHTOEHDOT

Seuraavissa kappaleissa on esitelty yleisellä tasolla potentiaalisia lämmitys-energiantuotantovaihtoehtoja Tervalammen kartanon hoitolaitoksen alueelle. Jokaisesta energiantuotantovaihtoehdosta on luotu karkeat investointi- ja sekä käyttökustannukset sekä arvio onko vaihtoehtoa mahdollista hyödyntää tulevaisuudessa. Kohteessa on tehty investointeja lämmönjakeluverkkoon syksyllä 2011, tämän vuoksi potentialiset vaihtoehdot on valittu olettaen, että keskitettyä lämmitysjärjestelmää aiotaan käyttää vastaisuudessa.

4.1 Öljykattila

Öljykattiloiden säilyttäminen lämmitysjärjestelmänä vaatisi nykyisen järjestelmän laajaa remonttia. Öljysäiliöt ja turvajärjestelmät tulisi uusida, mm. valuma-allas tulisi rakentaa. 1500 kW:n kattila, joka on vuodelta 2005 voitaisiin säilyttää, mutta vuoden 1984 ja 1985 Högforsin kattilat tulisi uusida tai korvata esim. pellettikattilalla. Ulkona sijaitseva 100 m³ raskaanpolttoöljyn säiliön turvallisuus on puitteellinen ja säiliövuoto olisi vakava, koska öljyä valuisi läheiseen Siuntiojokeen ja sitä kautta alavesiin ja lopulta jopa mereen. Vaikka öljyn käytöstä halutaan päästä eroon, jätetään uusin kattila (1,5 MW) varalle. Sille on edullisinta hankkia 2 x 1500 dm³ öljysäiliöt, jotka riittävät maksimikäytössään n. 30 tunnin käyttöön. Mikäli katko muussa energiantuotannossa on pidempi, voidaan tilata säiliöauton perävaunu, josta imetään polttoainetta tarvittava määrä. Nykyiset öljysäiliöt poistetaan käytöstä, ne joko puretaan (iso säiliö ulkona) tai ainakin tyhjennetään täysin öljystä ja poistetaan, kun se rakennusteknisesti on helpointa (lämpökeskuksen lattian alla). Koska fossiilista polttoaineista halutaan päästä eroon, ei öljylämmitys ole enää vaihtoehto.

Sähkökattila voidaan säilyttää varakattilana. Sen teho ei riitä mikäli kasvihuoneet ovat käytössä, mutta sen teho riittää hätätilanteessa jos muu lämmitysjärjestelmä on täysin rikki, pystytään kattilan tuottamalla energialla pitämään putkistot ja tilat sulina.

4.2 Hake ja pellettikattila

Pelletin käyttö on yleistynyt Suomessa vuosittain sekä kattilat ovat kehittyneet nopeasti ja niiden hinnat ovat alentuneet. Puupelletit valmistetaan puristamalla puhtaasta puusta. Valmistukseen käytetään kuoretonta puuta, esimerkiksi puusepänteollisuuden kutteripurua ja lastua. Nykyään yhä useammin pelletin raaka-aineena on sahanpuru. Kuoretonta puuta käytetään alhaisen puolen prosentin tuhkapitoisuuden saavuttamiseksi, tällöin tuhkanpoistoa tarvitaan suhteellisen vähän verrattuna perinteiseen puulämmitykseen. Tuhkanpoisto on isoissa kattiloissa täysin automatisoitu. (Motiva, Kokkonen 2011)

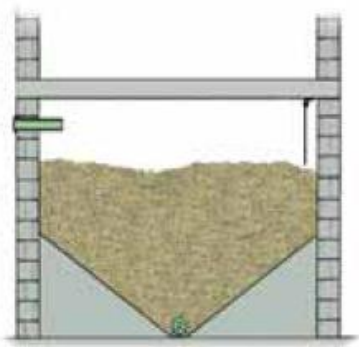
Hake ja pellettikattilat toimivat samalla periaatteella kuin öljykattila. Se voidaan yhdistää vesikiertoiseen lämmitysjärjestelmään vanhojen öljykattiloiden tilalle suhteellisen pienin kustannuksin. Pellettikattila toimii kuukausia automaattisesti, mutta hakekattilan syöttövarastoa tulee täydentää lähes päivittäin. Pellettikattila on kooltaan öljykattilaa vastaava ja se voidaan kytkeä samansuuruiseen savupiippuun kuten öljykattila. Hakekattila on kooltaan suurempi ja sen kytkeminen öljykattilaa varten mitoitettuun savupiippuun ei ole aina mahdollista (piipun koko on määrätty kattilan valmistajan tyyppihyväksyntälausunnossa). Puuhakkeen saanti on ollut paikoin vaikeaa ja laatuerot ovat olleet suuria, usein hake on ollut hyvin epähomogeenista. (Motiva, Kokkonen 2011)

Puuhakkeen lämpöarvo on noin 900 kWh/irto-m³. Hakekattilan vuosihyötysuhde on 0,8 (Ympäristöministeriö, 2007). Tervalammen vuosittainen rakennuksen lämmitysenergian kulutus on 2 736 000 kWh. Jolloin Tervalammen lämmöntuotantoon tarvittaisiin vuodessa noin 3 420 000 kWh eli 3800 irto-m³. Hakkeen tulee olla mahdollisimman kuivaa, sillä kosteus vaikuttaa huomattavasti kattilan hyötysuhteeseen ja toimintaan. Vuosikulutusta vastaavan varaston koko olisi näin noin 20 m x 20 m ja korkeus 10 m. Varastorakennuksen rakentamiskustannukset ovat noin 60 000- 100 000 €

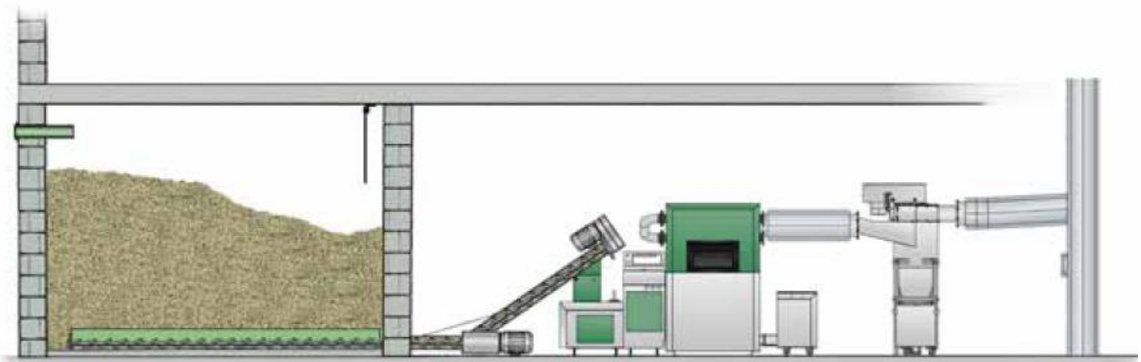
Puupellettien lämpöarvo on noin 3 000 – 3300 kWh/m³, joka vastaa 300–330 litraa raskaspolttoöljyä. Puupellettikattilan vuosihyötysuhde on sama kuin hakekattilan. (Motiva, Kokkonen 2011) Jolloin Tervalammen lämmöntuotantoon tarvittaisiin vuodessa noin 1040 – 1140 m³ puupellettiä ja varastotilaa n. 400 m³, jolloin varastoa täytetään 3 erässä vuosittain.

tain. Jolloin varasto olisi 8 x 10 ja korkeus n. 5 m. Varastorakennuksen rakentamiskustannukset ovat n. 30 000 €

Puupelletti ja etenkin hakekattila lämmityksen miinuspuolena on polttoainevarastonkoko. Laitteisto jossa ei käytetä jousipurkainta on lattia tehtävä vinoksi, katso kuva 6. Kuvassa 7 on pellettivarasto jossa vaakasuoralla siirtoruuvilla ja nousevalla ruuvilla kuljetetaan polttoaine kattilaan. Ilman jousipurkainta varasto vie huomattavasti enemmän tilaa. (Herz-BioMatic)



Kuva 6, Herz-BioMatic, varasto vinolla lattialla.



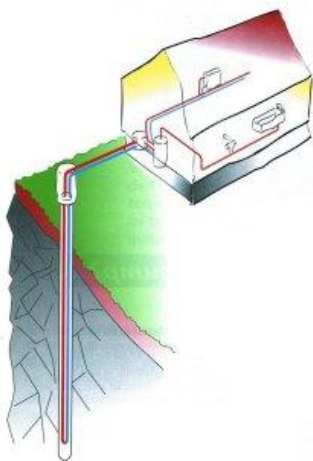
Kuva 7, Herz-BioMatic, vaakasuoralla siirtoruuvilla

Puupelletin hinta on nousut 4,1 % vuodesta 2010, hinnan ollessa marraskuussa 2011 54,7€/MWh. Kevytpolttoöljyn hinnan ollessa 106,8€/MWh, pelletinhinta on noin puolet kevytpolttoöljyn hinnasta. Metsähakkeen hinta ei ole noussut kuin 1,1 % vuodesta 2010, hinnan ollessa syksyllä 2011 18,7€/MWh (alv 0%) (Tilastokeskus, Energian hintojen nousu jatkui, 15.12.2011). Tervalammen kohteen metsähakekustannukset tulisivat olemaan 63 954,00 €alv 0% (78663,42 alv. 23%). Puupelletti kustannukset tulisivat olemaan 187 0074,00 €(alv. 23 %).

4.3 Maalämpöpumppu

Maalämpöpumppu lämpöpumppu hyödyntää maahan, kallioon tai veteen varastoitunutta luonnonlämpöä. Kuvassa 8 esitetty porakaivovaihtoehto. Tervalammen kartanon alue on kallioperäistä aluetta, jolloin yhden reiän hinnaksi (n. 200 m) muodostuisi noin 5000 € Kohteeseen tulee keskitetty lämmönjakelu, jonka lämmöntarpeen voisi tuottaa esimerkiksi Oilon Oy:n Geopro RE maalämpöpumpuilla, 16 kpl 85 kW konetta kytkettäisiin rinnan. Tällöin saataisiin yli 1 300 kW teho. Geopro Re 85 lämpötehomasta on 63,8 kW ja kompressorin ottoteho on 19,2 kW, jolloin teoreettinen maksimi sähkön ottoteho 16 koneella olisi 307,2 kW.

16 konetta varten jouduttaisiin poraamaan noin 160 kpl reikää. Jolloin reikien hinnaksi muodostuisi 800 000,00 € Lämmitysverkosto on pitkä ja suurelta osalta vanha ja lämpöhäviöt verkossa ovat suuria. Tällöin rakennuskohtainen lämmityksen tuotanto maalämpöpumpuilla olisi ainoa järkevä vaihtoehto ja tätä vaihtoehtoa tulisi harkita jos lämpöverkkoa ei otettaisi käyttöön. Jos maalämpöpumput rakennettaisiin rakennuskohtaisesti, pystyttäisiin laitteet mahdollisesti liittämään rakennusten ilmastointilaitteisiin ja näin käyttämään laitteita rakennusten jäähdytykseen kesällä. LämpöYkkönen Oy:n Pasi Urpilaisen kanssa käydyn sähköpostikeskustelun pohjalta karkeaksi kustannusarvioksi saadaan noin 1,6 - 2 M €



Kuva 8, Porakaivo, LämpöYkkönen Oy

Uusien maalämpöpumppujen monipuolinen automaatiikka mahdollistaa muiden energialähteiden käytön maalämmön rinnalla. Maalämpöpumpun rinnalla voidaan käyttää esimerkiksi aurinkokeräimiä, öljy-, pelletti- tai hakekattilaa, jolloin automaatiikka valitsee kulloinkin parhaan energian käyttötavan. (Motiva 2012)

4.4 Maakaasukattila

Maakaasukattila on helppo asentaa öljykattilan tilalle. Yksi kuutiokaasua vastaa noin yhtä kiloa kevyttä polttoöljyä energiasisällöltään. Maakaasu luokitellaan fossiiliseksi polttoaineeksi, mutta muihin fossiilisiin polttoaineisiin verrattuna sen ympäristövaikutukset ovat pienet. Maakaasun palaessa ei synny rikkiä eikä raskasmetallipäästöjä. Metaanin suuren vetypitoisuuden ansiosta hiilidioksidipäästöt jäävät pieneksi, noin puolet kivihiilen hiilidioksidipäästöistä. (Rakennustieto, 2007). Tähän kohteeseen ei kuitenkaan ole mahdollista saada maakaasua, vaikka putki kulkee n. kilometrin päässä. Syynä luonnonsuojelualue joka on putken ja kohteen välissä, jonka läpi kaivaminen on mahdotonta. Jos maakaasua olisi saatavissa, olisi kattilan hinta automaatiikan ja varaajien kanssa ainoastaan noin 200 000 €

4.5 Bioreaktori ja biokaasukattila

Maatalouden sivutuotteet ja kotitalouksien biojätteet tarjoavat hiilineutraalin ja kotimaisen energiavaihtoehdon. Biomassaa kyetään hyödyntämään monella eri tavalla, joista yksi on biokaasun kerääminen kaatopaikoilta tai bioreaktoreista. Mikrobit hajottavat orgaanisia aineksia hapettomassa tilassa, jonka sivutuotteena syntyy biokaasua. Biokaasu muodostuu pääasiassa metaanista sekä hiilidioksidista. Biokaasun metaanipitoisuus on noin 55-70 % metaania ja noin 30-44 % hiilidioksidia, näiden lisäksi kaasu sisältää myös pienen määrän muita yhdisteitä kuten vetyä, ammoniakkaa, rikkivetyä ja häkää. (Rintala et al. 2007).

2010 lopussa vuoden Suomessa toimi yhdyskuntien jätevedenpuhdistamoilla 16 biokaasu-reaktorilaitosta. Kiinteitä yhdyskuntajätteitä käsiteltiin kuudessa biokaasulaitoksessa. Kolmessa eri laitoksessa käsiteltiin teollisuuden jätevesiä sekä maatiloilla biokaasulaitoksia oli toiminnassa 10. Vuonna 2010 reaktorilaitoksilla tuotettiin yhteensä 37,5 milj. m³ biokaasua eli noin 179,0 GWh vastaavasti kaatopaikolta pumpatusta biokaasusta tuotettiin energiaa

242,4 GWh. (Huttunen 2010 s.5) Saksassa biokaasulaitoksia on laajasti käytössä. Kuvassa 9 on Doranova Oy:n Saksan Könnerniin toimittama n. 20 MW. tehoinen laitos. Kartiokantiset säiliöt ovat reaktoreja ja sileäkupuiset säiliöt ovat kaasukelloja. Reaktorien raaka-ainevarasto on vihreän katteen alla, varasto muodostuu mm. maissin varsista ja muuta biomassasta sekä hevosen ja muun karjan kuivalannasta. Ylhäällä oikealla musta kenttä on kuivattua rejektiä.



Kuva 9, Doranova Oy toimittama biokaasulaitos Könnern, Saksa..

Maatalouden sivutuotteiden kuten lannan ja muiden orgaanisten jätteiden hävittäminen mädättämällä bioreaktorissa on varteenotettava vaihtoehto. Kannustavia tekijöitä mädättämiselle ovat: jätteen hygienian paraneminen, hajuhaitat vähenevät sekä biokaasusta saatava taloudellinen hyöty. Maataloudet ovat olleet yhä enemmän kiinnostuneita biolaitoksista. Kiihdykkeinä ovat toimineet mm. energiaomavaraisuuden paraneminen, mahdollisuus tuottaa kaasua ajoneuvokäyttöön sekä ympäristöasioiden huomioiminen. (Huttunen 2010)

Bioreaktorin käyttämän raaka-aineen metaanintuottopotentiaali vaihtelee suuresti eri aineilla, vaikuttavia tekijöitä ovat mm. kuiva-aine pitoisuus, prosessin lämpötila sekä pH-pitoisuus. (Hagström, 2005) Taulukossa 6 on lueteltu raaka-aineiden biokaasun tuotto ton-

nia kohden, kuivapaino. Kasvien metaanintuottopotentialit vaihtelivat välillä 25–260 m³/t (märkäpaino). Paras mahdollinen biomassa yhdistelmä muodostetaan kasvimassojen ja eläinperäisten massojen yhdistelmästä. (Lehtomäki, 2007). Tervalammen kartanon alue on taajama-aluetta ja alueella on runsaasti maataloutta, tällöin olisi mahdollista käyttää lähi-alueiden maatalouden sivutuotteita bioreaktorissa. Doranova Oy, Tuomo Kukkamäen mukaan biojätteitä ei tule kotitalouksissa lajitella biohajoaviin muovipusseihin, sillä pussit haittaavat reaktorin toimintaa.

Taulukko 6, Rakka-aineiden biokaasun tuotto, (Hagström, 2005)

Raaka-aine	m ³ /t(VS)
Lehmän lanta	200-600
Sian lanta	400-900
Kananlanta	300-800
Kasvijäte	150-450
Biojäte	500-600
Teurastamojäte	570

4.5.1 Märkä- ja kuivamädättämö

Märkämädättämön kuiva-ainepitoisuus on alle 15%. Märkäprosessin hyvänä puolena on massan sekoittuminen tasaisesti. Massan sekoitus toimii mekaanisella sekoittimella (Kuva 10, reaktorin sisältä). Pääasiallisena raaka-aineena toimii usein lietelanta, mutta osa syötötmateriaalista voi olla kuivaa, parantaa tällöin kaasun tuotantoa. (Luostarinen. 2009). Rejektit on pumpattavaa ja sitä levitetään esim. pellolle lietevaunun avulla, edellyttäen jälkikäsittelyn. Rejektistä voidaan erottaa kuiva-aineita, jotka voidaan jälkikäsitellä ja myydä lannoitteena.



Kuva 10, Doranova Oy. Pitkäakselinen propellisekoitin, jonka moottori on säiliön ulkopuolella.

Kuivamädättämön kuiva-aine pitoisuus on luokkaa 20-40 %. Siirrot prosessissa suoritetaan mm. ruuvikuljettimilla tai hihnoilla. Sekoittamiseen tarvitaan erikoislaitteet ja kaasunpoisto reaktorista voi olla hankalaa. Prosessin lämmitys tarve on alhainen ja siinä voidaan käyttää ainoastaan jätettä, joka on kiinteää eikä siitä valu huomattavan paljon nestettä ennen prosessia tai sen aikana. (Luostarinen. 2009). Yksinkertainen kuivamädättämöratkaisu on ilmatiivis yleensä betonirakenteinen säiliö. Prosessi kestää 1-2 kk jona aikana vapautuva metaani kerätään ja kun tuotanto on pienentynyt, avataan säiliö ja käsitelty lanta poistetaan ja ladataan astia uudestaan. Ko. panosmenetelmässä säiliöitä rakennetaan rinnakkain usein 5-10 kpl, jotta metaanin tuotanto olisi jatkuvaa. Laitoksen rakentamiskustannukset ovat suhteellisen alhaiset, mutta ne vaativat suurikokoisia koneita ja tilaa, jotta laitos saadaan huollettua ja toimimaan (Katso kuva 11).



Kuva 11. Yksinkertainen panosreaktori, jonka katto ja etuseinä on avattu. Kaasutiivis katto ja etuseinä on nostettu reaktorin päälle.

4.5.2 Biokaasuntuotantoon vaikuttavat lait.

Jätettä raaka-aineenaan käyttävä biovoimalaitos tarvitsee ympäristöluvan. Mikäli biolaitoksessa käsitellään yli 20 000 tonnia vuodessa, edellyttää se ympäristövaikutusten arviointia tai jos alueellinen ympäristökeskus niin määrää. (YVAL 468/1994, YVA 713/2006). Ympäristöluvan myöntää kunta, jos vuosittainen jätteen käsittely on alle 5000 t vuodessa ja jos se ylittää 5000 t luvan myöntää alueellinen ympäristökeskus. (Kangas, 2009) Helsingin ympäristökeskus myöntää 10 000 t asti, jonka jälkeen luvat käsittelee aluehallintokeskus.

4.5.3 Hankekustannukset

Hankekustannukset muodostuvat suunnittelusta, laitoksen rakentamisesta, laitehankinnoista, energiantuotantoyksiköstä, liitos ja laitoksen huolto- sekä varaosakustannuksista. Biovoimalaitoksen kokoluokkaa suurennettaessa kannattavuus paranee, sillä investointien yksikkökustannukset alenevat sekä hyötysuhde paranee. Vaikka pieniä laitteita löytyisi pieniin laitoksiin, eivät kustannukset laske samassa suhteessa. (Hagström 2005, s.37).

Mädätys jätteen, eli rejektin myyminen taikka antaminen on mahdollista, jos elintarvike-turvallisuusvirasto Evira myöntää laitoshyväksynnän. Laitoksen tulee olla lannoitevalmistelain 539/2006 ja sivutuoteasetuksen (EY) N:o 1069/2009 mukainen. Eviralta saadun tiedon mukaan rejekti, eli reaktorin lopputuote, tulee kuumentaa +70 °C:n lämpötilaan kahden tunnin ajaksi, jotta rejektiä voidaan myydä tai antaa eteenpäin. Ongelmana on, että juuri kylmimpänä vuodenaikana laitoksen lämpöhäviöt ovat suurimmillaan ja syötteen lämpötila on alhaisimmillaan, joten rejektin loppulämmittäminen vie paljon energiaa. Kyselyiden mukaan moni märkämädättämöhanke on kaatunut juuri tähän jälkikuumennusvaatimukseen.

Bioreaktorin investointi kustannukset ovat korkeat, mutta käyttökustannukset ovat matalat verrattuna esimerkiksi öljykattilaan. Laitosten investointikulut vaihtelevat hyvin paljon. Esim. 1,5 MW:n laitos voi halvimmillaan maksaa alle 1 000 000 € mutta keskihinta toteutuneissa laitoksissa, joissa käsitetään kunnan biojätteitä on ollut sähköntuotantoyksikön kanssa ollut 3-5 M€ Eviran vaatiman rejektin jälkikäsitteily tekee matalaa toimintalämpötilaa käyttävän märkämädättämön erittäin kalliiksi. Kuivamädättämössä massa on vain 1/5 osa märkämädättämön käyttömassasta. Kuivalaitokset ovat toimintavarmoja ja lopputuote on kaupallisesti arvokasta. Ongelmana niissä on korkea alkuinvestointi sekä tilantarve. 1,5 MW kuivalaitoksen investointikulut ovat noin 5-10 M€ tilaa varattava 50 - 100 m x 20 m alue sekä lisäksi varastotilat. Märkämädättämön tilantarve on n. 20 m x 40 m ja 1,5MW tehoisen laitoksen hintakyselyiden perusteella hinta vaihtelee 1-5 M € Arvioidaan kuivalaitoksen investointikustannuksiksi noin 5 000 000 € ja märkämädättämön 3 000 000 €

4.5.4. Bioreaktorin mitoitus

Kappaleessa 2.1 rakennuksen vuosittaiseksi lämmitysenergian kulutukseksi laskettiin 2 736 000 kWh. Arvioidaan biokaasu kaasukattilan hyötysuhteeksi 0,94.

$$G_{\text{lämmitys,osto}} = 2736 \frac{000 \text{ kWh}}{0,94} = 2910638 \text{ kWh}$$

Biokaasun tehollinen lämpöarvo on noin 5,0–5,5 kWh/m³ (Gasum). Tällöin biokaasua tarvitaan noin 529 207m³ vuodessa. Biomassasta saatava biokaasun määrä vaihtelee suuresti, mm. raaka-aineen koostumuksen, reaktorin lämpötilan ja muiden olosuhteiden mukaan. Oletetaan että biomassasta saataisiin keskimäärin 100m³/t (kuivamassa) biokaasua. Tällöin vuosittainen biomassan tarve olisi noin 5292 t vuodessa. Kuivamädättämön vuosittainen raaka-ainetarve noin 3000-6000 t. Pienin syötetarve saavutetaan eläinrasvojen käytön avulla, kuiva-aine pitoisuus 100%. Märkämädättämön vuosittainen raaka-ainetarve noin 10 000 -19 999 t (alle 20 000 t on YVA-raja). Tuottoa voidaan lisätä lisäämällä korkea kuiva-ainepitoisia raaka-aineita, kuten leipää, josta ei synny saosta. Raaka-aineena pelkkä lietelantaa käyttävän biolaitoksen massan tarve voi olla suurempikin.

4.6 Hybridijärjestelmä

Hybridijärjestelmässä käytetään aurinkokeräimiä, aurinkopaneeleita, biokaasukattilaa, hake tai pellettikattilaa ja tai öljyä. Aurinkopaneelien hyöty kohdistuu kesäaikaan ja niitä käytetään yleensä vesivaraajan kanssa osana vesikiertoista lämmitystä ja tai käyttöveden esilämmittämiseen. Hybridijärjestelmässä optimoidaan energialähteiden käyttö. Mahdollista olisi esimerkiksi lämmittää suurimmanosan ajasta pellettikattilalla ja kesäisin apuna toimisi aurinkokeräimet. Tervalammen kohteessa on ongelmana lämmönjakoverkko. Pieniin kaukana oleviin rakennuksiin olisi esimerkiksi mahdollista asentaa aurinkokeräimiä lämpimän käyttöveden käytön kattamiseen. Hybridijärjestelmä on hyvä vaihtoehto ainakin jollain osalla, mutta tarvitsee lisää tutkimusta järkevimmän järjestelmän saamiseksi.

Biolaitos ja pellettilaitos on myös mahdollista yhdistää, tällöin biolaitos toimisi ensisijaisena energialähteenä ja pellettiä poltetaan, kun energiantarve on ylittänyt biolaitoksen esim. 500 kW:n kapasiteetin. Tällöin biolaitoksen reaktoriastian koko olisi pienempi ja myös hinta alenisi. Pellettikattilan teho mitoitetaan kokonaistehon mukaiseksi eli 1,5 MW ja järjestelmään lisätään vesivaraaja esim. 2 x 5 m³, jolla tasataan energiankulutuspiikkejä. Biolaitoksen kustannukset eivät kuitenkaan laske suhteessa laitoksen kokoon, investointikustannuksista tehtävä jatkotutkimuksia.

5 INVESTOINTIKUSTANNUKSET JA TAKAISINMAKSUAIKA

Investointikustannusten ja takaisinmaksun arvioiminen on tärkeä osa lämmitysjärjestelmän valintaa. Taulukossa 7 on esitetty erijärjestelmien investointi- ja polttoainekustannukset, sekä niistä on laskettu takaisinmaksuaika. Taulukko on erittäin karkea arvio ja paremman tuloksen saamiseksi on tarkemmin ja perusteellisemmin tutkittava oikeita investointikustannuksia. Hankeen kannattavuuslaskelma perustuu laskelmaan, jossa investointikustannukset jaetaan käyttökulujen ja nykyisten öljynkustannuksen summalla. Öljynkulutus ei muutu merkittävästi, vaikka uusi kattila ym. rakennetaan, joten takaisinmaksuaikaa ei voida arvioida. Taulukossa on määritelty tuodulle jätteelle puolet HSY:n nykyisestä porttimaksusta. Kuitenkaan ei ole varmaa asetettaisiinko jätteille porttimaksua vai ei. Sähköntuottoa ei ole huomioitu taulukossa (ei investointina eikä hyötynä). Laitosten käyttökustannukset on oletettu kuluvan kiinteistönhoitoon.

Taulukko 7, Eri järjestelmien polttoaine- ja investointikustannukset ja takaisinmaksuaika

Polttoaine	kulutus/v	hin- ta/yksikkö	€/vuosi	investointi	takaisinmaksu- aika
öljy	300 tn	1000 €/tn	-300 000	400 000	ei ole
hake	3800 m ³	20,7 €/m ³	-78 660	300 000	1,3 v
pelletti	730 tn	259 €/tn	-189 070	200 000	1,6 v
maalämpö	830 MWh	55 €/MWh	-45600	1 200 000	4,6
bioreaktori kuiva	5000	+90 €/tn	+ 540 000	5 000 000	5,95
bioreaktori märkä	19 000	+45 €/tn	+855 000	3 000 000	3,85

Taulukon 7 mukaan nopein takaisinmaksuaika on hakkeella ja seuraavaksi pelletillä. Pelletti on varteenotettava vaihtoehto lämmitysjärjestelmäksi, sillä se on teknisesti helpompi ja turvallisempi. Käyttökustannukset ovat polttoaineen osalta kalliimmat, kuin hakkeessa,

mutta hakkeen huoltokustannukset ja työn määrä on kalliimpaa kuin pelletillä. Bioreaktoreiden takaisin maksuaika on huomattavasti pidempi, jos jätteenporttimaksua ei oteta käyttöön. Bioreaktorin investointikustannuksetkaan eivät ole varmoja ja ne voivat nousta korkeammaksi. Kuitenkin rahaa voidaan saada esim. rejektin ja ylimääräisen sähkön myynnistä eteenpäin huomattaviakin määriä. Bioreaktorin käyttö on toinen vaihtoehto lämmitysjärjestelmäksi, mutta se vaatii enemmän tutkimista ja kustannusten arvioimista tarkemmin. Maalämpö olisi varteenotettava vaihtoehto, jos lämmönjakoverkko ei olisi käytössä. Öljylämmitys ei ole vaihtoehto koska kaupunki haluaa päästä eroon fossiilisista polttoaineista.

6 CO₂-PÄÄSTÖVERTAILU

Tässä työssä tarkastellaan ainoastaan energiantuotannosta aiheutuvia hiilidioksidipäästöjä, polttoaineen valmistuksesta tai kuljetuksista aiheutuneita päästöjä ei ole laskettu mukaan. Taulukon 8 mukaan maakaasua käyttämällä hiilidioksidi päästöt pienentyisivät 263 t ja maalämpöpumppua käyttämällä 771 t. Puuperäisten ja biokaasun päästökerroin on tässä laskelmassa nolla, tällöin niitä käyttämällä hiilidioksidi päästöt pienentyisivät vuodessa 954 t.

Tällä hetkellä pienet biopolttoaineista käyttävät voimalaitokset eivät saa suoraa rahallista hyötyä kasvihuonekaasupäästöjen vähenemisestä. Jos rahallista hyötyä saataisiin, voitaisiin sen rahallinen arvo laskea seuraavasti. Hiilidioksidin päästöoikeuksien hintana käytetään 20 €/t. Tervalammen kohteessa saadaan CO₂-päästövähennyksiä yhteensä noin 954 t/vuosi. Jolloin puuperäisiä polttoaineita käytettäessä yhteensä päästöt vähenevät noin 19 080 €/vuosi. Lisäksi jos käytetään bioreaktoriprosessia, sen seurauksena noin 320 000 m³ metaania muuttuu vuodessa hiilidioksidiksi. Hiilidioksidin kasvihuonekaasuvaikutus on sen elinaikana ilmakehässä noin 1/23 osa metaanin vaikutuksesta (Global Warming 100 Years). Tämä määrä vastaa hiilidioksidina noin 5400 t/vuosi. Yhteensä siis päästöt vähenevät on noin 6354 tn/vuosi. Rahassa tämä tarkoittaa 127 080 €/vuosi, jos päästövähennyksiä voitaisiin hyödyntää, olisi kyseessä merkittävä rahasumma biolaitoksen kannalta. (Hagström, 2005 s.43,44). On huomioitavaa että laskenta on vain teoreettista. Biokaasun päästöiksi ja ohipolton osuudeksi on määritelty 0 %.

Taulukko 8, Tervalammen kartanon lämmitysenergiankäytöstä aiheutuva CO₂- tuotto eri energiavaihtoehdoilla (Motiva, 2004)

Polttoaine	MWh/a	kgCO ₂ /Mwh	Kg CO ₂ /a
Raskas polttoöljy	3420	279	954180,00
Maakaasu	3420	202	690840,00
Puuperäiset polttoaineet	3420	0	0,00
Biokaasu	2910	0	0,00
Maalämpöpumppu	2736	66,6	182217,60

7 VARAVOIMA

Tervalammen kartano on hoitolaitos, joten varavoima on kohteessa välttämätön. Tällä hetkellä varavoimaa ei ole. Varavoiman on minimissään riitettävä hätävalaistukseen, päällekkäisyys sekä lääkärien laitteisiin. Kohteesta puuttuu myös tällä hetkellä lämmitysjärjestelmän kattava varavoima. Järjestelmä on erittäin haavoittuvainen sähkökatkosten aikaan.



Kuva 12, Traktori-generaattori AgroVolt 38

Bioreaktorin ja biokaasukattilan toiminnan ylläpitoon tehdään varaus 38 kW:n traktorigeneraattorille, esimerkiksi kuvan 12 mukainen AgroVolt 38, jonka hinta on noin 3500 €. Tehdään varaus myös 4 kW:n piengeneraattorille, joka kattaa poliklinikan lääkinnällistä tilaa ja toimenpidehuoneen valaistuksen. Eli vedetään 5 x 2,5 mm:n kaapelilla syöttö poli-

klinikalle, ja sinne pieni alakeskus sekä käsinohjaus relekytkimet, jossa oma tuotanto/valtakunnanverkko vaihdetaan. Järjestelmä lataa UPS-järjestelmää, jonka kapasiteetti on riittävä ja joka on samalla suojaerotusmuuntaja lääkinnällisten instrumenttien sähköturvallisuusvaatimusten vuoksi. Esimerkiksi esim. APC Smart-UPS 5000VA 230V Rack-mount/Towerk, jonka kapasiteetti 5000 VA. Hinta on asennettuna n. 3000 €

8 YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Tavoitteena oli etsiä Tervalammen kartanon hoitolaitokseen uusi lämmitysjärjestelmä, joka on taloudellisesti järkevä, kestävä sekä mahdollisimman vähän ympäristöä kuormittava. Tässä työssä esiteltiin viisi potentiaalista vaihtoehtoa lämmitysjärjestelmän toteuttamiseen. Näitä olivat öljykattilajärjestelmän säilyttäminen, hakekattila, pellettikattila, maalämpö, maakaasukattila tai bioreaktori.

Tällä hetkellä Tervalammen kartanon alueella on lämmitysjärjestelmänä käytössä öljykattilajärjestelmä, jonka vuosittainen raskaanpolttoöljyn kulutus on noin 300 tonnia. Kaksi vanhempaa kattilaa on yli 27 vuotta vanhoja ja ovat tulleet elinkaarensa päähän. Öljyn käyttäminen on taloudellisesti kallein vaihtoehto jonka lisäksi siihen liittyvät vakavat ympäristöriskit. Helsingin kaupunki on tehnyt periaatepäätöksen, jonka mukaan se haluaa päästä lämmitysöljystä vähitellen kokonaan eroon. Helsingin kaupunki omistaa kolme vastaavan kokoista kiinteistöä kuin Tervalampi, joissa on öljylämmitys, joten Tervalammenkartanon energiahankeselvitystä voidaan hyödyntää myös muissa kohteissa. Työssä on esitetty suuntaa-antavat investointi- ja käyttökulut, mutta tarkat kustannusarviot saadaan vasta urakkatarjouksista.

Öljykattilajärjestelmän säilyttämisen edellytyksenä ovat laajat korjaukset. Korjaukset eivät kuitenkaan merkittävästi vähennä polttoaineen käyttöä. Öljykattilajärjestelmä ei ole edullinen vaihtoehto taloudellisesti, eikä puolla Helsingin kaupungin ilmastopoliittikkaa.

Hakekattila on ympäristöystävällinen vaihtoehto ja sen polttoainekustannukset ovat halvat. Hakkeen käytössä on kuitenkin riskinsä ja ongelmansa. Hakkeen polton ongelmia ovat

mm. suuri varastotarve, tulipaloriski, polttoaineen saatavuus ja laatuongelmat, toimintahäiriöt sekä ympäristömääräykset.

Pellettikattila on toiminnaltaan lähes vastaava, mutta polttoaine/energiayksikkö on hieman kalliimpi. Pellettikattila on erittäin varteenotettava vaihtoehto Tervalammen kohteeseen. Pellettivaraston koko on huomattavasti pienempi ja käytettävyys helpompaa kuin hakkeen. Polttoainekustannukset ovat kohtuullisen halvat, mutta tulevaisuudessa pelletin saatavuus sekä hinta ovat arveluttavia.

Maalämmön käyttö kyseisessä kohteessa ei ole järkevää keskitetyn lämmitysjärjestelmän vuoksi. Investointikustannukset maalämmön käytössä ovat kohtuuttoman kalliit, sekä sähkökatkon aikaan järjestelmä on toimintakyvytön. Maakaasukattilan käyttö ei ole Tervalammen kohteessa mahdollista. Kaasuputki kulkee n. kilometrin päässä, mutta putken ja kohteen välissä on luonnossuojelualue, jonka läpi kaivaminen on mahdotonta.

Bioreaktorin investointikustannukset ovat kalliit, mutta polttoaine on ilmaista (porttimaksu tuo rahaa), lisäksi hiilidioksidi ja muut kasvihuonekaasupäästöt ovat pieniä. Kuivamädättämön kustannukset ovat noin 40 % kalliimmat verrattuna märkämädättämöön. Rejektin jälkikäsitteilyn vuoksi märkämädättämön käyttö on erittäin kallista. Kuivamädättämön biomassan tarve on noin 1/5 kuivamädättämön massasta tehon ollessa sama. Tällöin edullisin ratkaisu on kuivamädättäminen. Kuivamädättäminen sisältää myös riskinsä, ongelmia ovat tulipaloriski, lannan saatavuus ja kilpailu muiden yrittäjien kanssa. Erityisen suuri epävarmuus liittyy bioreaktorin investointikustannuksiin ja rahoituksen toteuttamiseen. Koska raaka-aineen hinta ja biomassan saatavuus ovat laitoksen toiminnan ehto, on tärkeää aloittaa välittömästi yhteistyö alueen kuntien, maatalousyrittäjien ja yrittäjäjärjestöjen kanssa.

Tulosten perusteella nykyinen lämmitysjärjestelmä korvataan joko biolaitoksella tai pellettilaitoksella. Ennen lopullista valintaa tehdään vaihtoehdoista kustannusanalyysit ja riskiarviot. Myös hybridijärjestelmä on mahdollinen ja sen mahdollisuutta on tutkittava tarkemmin päälämmitysjärjestelmän valinnan jälkeen. Nykyinen uusin öljykattila jätetään varakattilaksi riippumatta uudesta järjestelmästä. Jatkotoimenpiteinä Kiinteistövirasto jatkaa selvityksiä valittujen energialähteiden kelpoisuudesta ja saatavuudesta sekä muista energi-

antuottotavoista. Mukana ovat: Helsingin Energia, HSY, SYKE, Aalto-yliopisto sekä laiteoimittajat. Mikäli Kiinteistövirasto on rakennuttajana, on rahoitus varmistettava, samoin mahdolliset yhtiömuodot ja kumppanit sekä TEM:n tuki. Mikäli biolaitoshankkeen toteuttaa joku muu yhtiö tai taho, on energianhinta sovittava siten, että sen hinta alittaa muut vaihtoehdot esimerkiksi öljyn.

LÄHTEET

Bio Matic. Uuusinta tekniikka biolämmityskattilat. [verkkodokumentti]. [Viitattu 27.12.2011]. Saantitapa: http://www.herz-armaturen.com/herz-feuerung/cms/index.php?option=com_docman&task=doc_view&gid=20&Itemid=51

Markku Hagström, 2005, Biokaasun maatilatuotannon kannattavuusselvitys. Gaia Group Oy

Helsingin Kaupunki. 2009. Työ- ja elinkeinoministeriö sekä Helsingin kaupunki välisen energiatehokkuussopimuksen pohjalta laadittu toimintasuunnitelma (vuosille 2008-1016).

Helsingin kaupungin talous- ja suunnittelukeskus. 2010. [verkkodokumentti]. [Viitattu 27.11.2011]. Saantitapa: http://www.hel.fi/hel2/tauke/julkaisut/2010/hki_energiatehokkuus_nettili.pdf

Markku J. Huttunen. 2010. Suomen biokaasurekisteri n:o 14. University of Eastern Finland Jyväskylä. Kopijyvä Oy.

Ari Kangas. 2009. Biokaasulaitosten BAT ja ympäristölupa. Koulutuspäivä biokaasolaitostentoiminnasta ja lannoitevalmistelansäädännöstä.3.62009. Evira.

Anssi Kokkonen 2011, Puupelletti lämmittää puhtaasti ja uusiutuvasti. Motiva Oy.

Annimari Lehtomäki. 2007. Biogas production from energy crops and crop residue. Jyväskylän Yliopisto.

Laki ympäristövaikutusten arviointimenettelystä 10.6.1994/468. [verkkodokumentti]. [Viitattu 27.01.2012]. Saantitapa: <http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1994/19940468>

Sari Luostarinen. 2009. Biokaasuprosessi. Koulutuspäivä biokaasolaitostentoiminnasta ja lannoitevalmistelansäädännöstä.3.62009. Evira.

Motiva Oy. 2009. Pientalon lämmitysjärjestelmät.

Motiva.2012. Lämpöä omasta maasta, opas maalämmöstä.

Rakennustieto Oy. 2007. Rakennusten lämmitysjärjestelmät. Helsinki. Tammer-Paino.

Ulla Suomi, Janne Hietaniemi. 2004 Yksittäisen kohteen CO₂-päästöjen laskentaohjeistus sekä käytettävien CO₂-päästökertoimet. Motiva Oy.

Tilastokeskus 2011. Energian hinnat 3. [verkkodokumentti]. [Viitattu 27.12.2011]. Saantitapa: http://tilastokeskus.fi/til/ehi/2011/03/ehi_2011_03_2011-12-15_tie_001_fi.html.

Työ ja elinkeinoministeriön ja Helsingin kaupungin energiatehokkuussopimus (2008-2016). Dnro. 16/804/2007.

Työ ja elinkeinoministeriö. 2011. Suomen toinen kansallinen energiatehokkuuden toimintasuunnitelma NEEAP-2. [verkkodokumentti]. [Viitattu 07.12.2011]. Saantitapa: http://www.tem.fi/files/30406/NEEAP_2.pdf

Valtioneuvoston asetus ympäristövaikutusten arviointimenettelystä YVA 713/2006.

Ympäristöministeriö. 2007. Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta. Ympäristöministeriö, Asunto- ja rakennusosasto.