

Roosa Häkklä

KREMATORION LÄMPÖENERGIAN HYÖDYNTÄMINEN RAKENNUKSEN LÄM- MITYSJÄRJESTELMISSÄ

KREMATORION LÄMPÖENERGIAN HYÖDYNTÄMINEN RAKENNUKSEN LÄM- MITYSJÄRJESTELMISSÄ

Roosa Häkklä
Opinnäytetyö
Kevät 2023
Talotekniikan tutkinto-ohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Talotekniikan tutkinto-ohjelma

Tekijä: Roosa Häkkinen

Opinnäytetyön nimi: Krematorion lämpöenergian hyödyntäminen rakennuksen lämmitysjärjestelmissä

Työn ohjaajat: Olli Koivisto ja Mikko Niskala

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Kevät 2023

Sivumäärä: 27 + 2 liitettä

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli suunnitella kappeliin tulevan peruskorjauksen yhteyteen toimiva energiankiertosysteemi, jossa krematorion savukaasuhäviöt hyödynnettäisiin rakennuksen lämmitysenergiatarpeessa. Järjestelmän päätavoitteena on alentaa savukaasujen lämpötilaa ja hyödyntää talteen otettu lämpöenergia rakennuksen lämmitysjärjestelmissä. Opinnäytetyö rajattiin krematoriuuniin ja taloteknisiin ratkaisuihin sekä niiden esittelyihin. Työssä käytettiin lähtötietoina niitä tietoja, jotka olivat sillä hetkellä saatavilla, sekä hyödynnettiin vastaavanlaisista krematorio-kohteista saatuja lähtötietoja.

Krematorion yllämmön hyödyntäminen on yleistynyt paljon taloteknisissä laitteistoissa, sillä niiden avulla saadaan merkittäviä säästöjä aikaan. Tavoitteena oli suunnitella talotekninen ratkaisu, jossa aiemmin ostettu kaukolämpö korvataan alueella syntyvällä lämpöenergialla. Näin saatiin laskettua mahdollinen energiasäästöpotentiaali kyseiselle rakennukselle ja sitä ympäröiville huoltorakennuksille. Tulevaisuudessa myös aluelämpöverkko olisi mahdollinen ratkaisukeino täydelliseen energiaomavaraisuuteen.

Teoriaosassa perehdyttiin kappelin taloteknisiin ratkaisuihin ja peruskorjauksessa tehtäviin muutoksiin, sillä talotekniset järjestelmät olivat tulleet peruskorjausikään. Myös krematoriuunin toimintaperiaate käsiteltiin teoriaosiossa.

Opinnäytetyön tuloksena syntyi tarkka kuvaus kappelin vanhasta talotekniikasta sekä krematoriuunin toimintaperiaatteesta. Myös savukaasulaitteiston tuoma säästöpotentiaali saatiin laskettua sen hetkellä kaukolämmönkeskihinnalla. Säästöjä saatiin tuotettua vuositasolla 56 590,80 €. Se kattaa 54 % tämänhetkisistä vuositason käyttökustannuksista.

Asiasanat: krematorio, lämpöhäviö, energiaremontti, lämmöntalteenotto

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Degree Programme in Building Services

Author: Roosa Häkkinen

Title of thesis: Utilization Of Excess Heat from Crematorium in Building's Heating System

Supervisors: Olli Koivisto and Mikko Niskala

Term and year when the thesis was submitted: Spring 2023

Number of pages: 27 + 2 appendices

The purpose of this thesis was to design an energy circulation system for the upcoming renovation of a chapel, where the waste energy produced by a crematorium would be used for the building's heating energy needs. The main goal of the system is to lower the temperature of the flue gases and utilize the recovered thermal energy in the building's heating systems. The thesis was limited to the crematorium oven and building technical solutions and their presentations. In the work, the data that were available at the time were used as initial data, and the initial data obtained from similar crematorium sites were utilized.

Utilization of the crematorium's excess heat has become much more common with building technology equipment, as significant savings can be achieved. The goal was to get a planned building technology solution in which the previously purchased district heating is replaced with thermal energy generated in the area. And thus the possible energy saving potential for the building in question and the surrounding maintenance buildings was calculated. In the future, a district heating network would also be a possible solution for complete energy self-sufficiency.

In the theory part, we learn about the building technical solutions of the chapel and the other things to be done during the renovation, because the building technical systems had entered the age of renovation. The working principle of the crematorium oven is also discussed in the theory section.

As a result of the thesis, an accurate description of the chapel's old building technology and the operating principle of the crematorium oven was created. The savings potential brought by the flue gas installation could also be calculated with its current average district heating price.

Keywords: crematorium, heat loss, energy renovation, heat recovery

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	6
2	KOHTEEN NYKYTILANNE JA TULEVAT MUUTOKSET	7
2.1	Krematorio.....	7
2.2	Savukaasujen suodatinjärjestelmä	9
2.3	Kappelin LVI-tekniikka	10
3	LÄMMITYSENERGIALASKENTA / KULUTUSTIEDOT	12
3.1	Kappelin U-arvot.....	12
3.2	Kappelin lämpöhäviöt	13
3.3	Kappelin ja huoltoalueen kulutustiedot	15
4	MITOITUKSET JA LÄMMÖNTALTEENOTTO	17
4.1	Ilmanvaihtokonemitoitukset	17
4.2	Ilmanvaihdon lämmöntalteenotot.....	18
4.3	Savukaasusta saatava teho	19
4.4	Kokonaishuipputehon tarve.....	21
5	LÄMMÖN HYÖDYNTÄMINEN.....	22
6	ENERGIANSÄÄSTÖ HUKKAENERGIAA HYÖDYNNETTÄESSÄ	23
6.1	Säästöt	23
6.2	Päästöt	24
7	YHTEENVETO	25
	LÄHTEET.....	26
	LIITTEET	28

1 JOHDANTO

Tuhkahautauksien yleistyminen ympäri Suomea on aiheuttanut vanhojen kappeleiden kunnostuksen tarvetta ja uusien rakentamista. Esimerkiksi Pohjois-Suomen alueella on tällä hetkellä yksi krematoriuuni, joka palvelee koko Pohjois-Suomea pois lukien Koillismaan alue, sillä Kajaanissa sijaitsevat krematoriotilat uuneineen. Rovaniemellä on juuri otettu käyttöön uusi krematorio, jolla toiminnan häiriöttömyys saadaan taattua Suomen Lapissa. Suurten ikäluokkien vanhetessa kuolleisuus tulee kasvamaan, ja se lisää tuhkausten määrää lähitulevaisuudessa kautta maan (1).

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on selvittää ja tarkastella esimerkinomaisesti kappeliin tulevan laajennus- ja perusermontin energialaskelmia ja sitä, kuinka toisen krematorio uunin lisäys vaikuttaa rakennuksen energiataseeseen ja omavaraisuuteen. Opinnäytetyön toimeksiantajana toimii suunnittelun ja konsultoinnin asiantuntijayritys Sweco Finland Oy.

Päätarkoituksena on suunnitella järjestelmä, jolla voidaan hyödyntää poltossa syntyvä lämpöenergia käyttöön rakennuksen ja käyttöveden lämmityksessä mahdollisuuksien mukaisesti. Prosessissa syntyvä ylijäämäenergia voidaan joko lauhduttaa ulkoilmaan lauhdutyksikön kautta tai myydä kaupungin kaukolämpöverkkoon, jolloin kaikki talteen saatu energia saadaan hyödynnettyä maksimaalisesti. Lisäksi tavoitteena on laskea, miten toisen uunin investointi vaikuttaa säästöpotentiaaliin, kun lämpöenergiaa voidaan varastoida ja/tai myydä kaukolämpöverkkoon. Savukaasujen puhdistuslaitteiston myötä savukaasussa ei ole tulevaisuudessa juurikaan hiukkasia eikä myrkyllisiä kaasuja, vaan savukaasu sisältää vain vesihöyryä, hiilidioksidia ja typpeä.

2 KOHTEEN NYKYTILANNE JA TULEVAT MUUTOKSET

Kappeli on valmistunut 1970-luvulla hautausmaan laidalle, evankelisluterilaisen seurakuntien rakennuttamana. Kappelissa on kaksi siunauskappelia aputiloineen, vainajien säilytystilat sekä yhden uunin krematorio. (2.) Kappelia ympäröivä puistomainen hautausmaa-alue on RKY-inventoinnin kohde, eli se kuvastaa alueellisesti ja ajallisesti monipuolista rakennushistoriaa ja kehitystä. Hautausmaa-alueella ilmenevät eriaikaiset muutokset kauneusihanteissa. (3.)

Kaksikerroksinen kappelirakennus urkulehtereineen on rakennettu pääasiassa betonista, missä pääkerroksen osalta julkisivut ovat pesubetonipintaisia elementtejä ja ison siunauskappelin korkeat pystysuorat betoniseinät ovat sileävalettuja kuorielementtejä. Kappelissa on maanalainen kellari-kerros, jossa sijaitsevat rakennuksen tekniikkatilat ja väestönsuoja. Kohteen käyttöään, noin 50 vuoden aikana, rakennukseen ei ole kohdistunut merkittäviä korjaus- eikä uudistoimenpiteitä lukuun ottamatta vesikatteen pinnoitusta ja krematorion peruskorjausta. (2.)

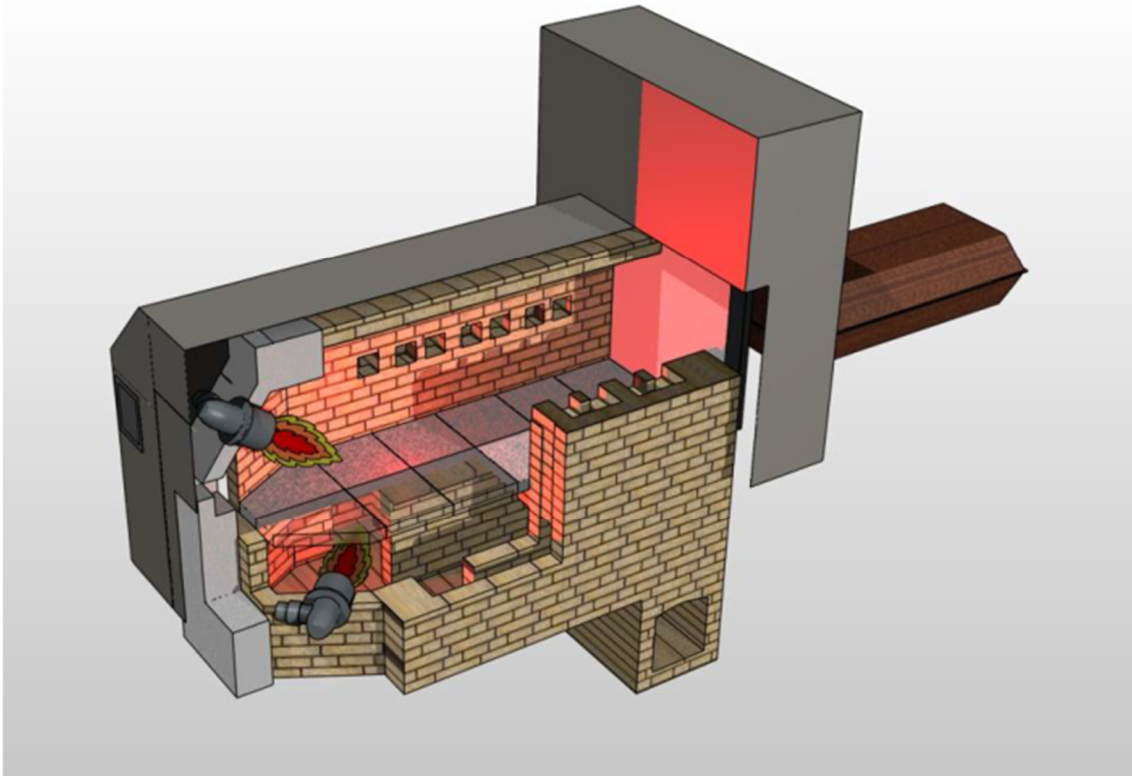
Kappelin läheisyydessä on myös vanha ja uusi huoltorakennus, kaksi kylmää konehalli – varastorakennusta, entinen huoltorakennus – kasvihuone ja pienet kylmät varastot. Näistä kasvihuone tullaan purkamaan pois. Myös vanhempi huoltorakennus puretaan kaukolämpöliittymineen. Tarkoituksena olisi lähitulevaisuudessa rakentaa alueelle aluelämpöverkko, johon krematorion tuottama yllämpö syötetään. Tarvittaessa aluelämpöverkkoa ”buustattaisiin” yhdellä kaukolämpöliittymällä nykyisten kahden sijaan. (2.)

Kappelin rakenteiden ja teknisten järjestelmien peruskorjaus on ajankohtainen, sillä materiaalien ja järjestelmien tekninen käyttöikä on päättymässä. Peruskorjauksen yhteydessä krematoriota laajennetaan kahden uunin tarpeisiin sisältäen etutilat, savukaasujärjestelmän, lämmöntalteenottojärjestelmän ja ilmanvaihtokonehuoneen. LVI-tekniikan lisäksi myös ulko-ovet ja ikkunat uusitaan kokonaisuudessa. Rakenteisiin tulee muutoksia kappelin yläpohjiin ja korkean katto-osuuden ulkoseinään, sillä myös ulkoverhousmateriaali on tullut elinkaarensa päähän. (2.)

2.1 Krematorio

Krematorio on tila, jossa vainajat tuhkataan, kun halutaan perinteisenä pidetyn arkkuhautauksen sijaan uurnatuhkaus. Tuhkauslaitteisto koostuu polttouunista, uunin oheislaitteista ja sen ympärille

rakennetuista laitekokonaisuuksista. Muurattu tuhkausuuni (kuva 1) on varustettu tavallisimmin joko öljy- tai kaasupolttimilla. Oheislaitteena toimivalla arkunkäsittelylaitteella arkku siirretään uuniin, jossa ilmapuhaltimet tuottavat alipainetta ja prosessi-ilmaa paloprosessin ylläpitämiseksi. Savupeltikoneistolla säädetään savukaasukanavan alipainetta ja tuhkan käsittelylaitteella jäähtynyt tuhka käsitellään uunaan laittoa varten valmiiksi. Krematoriossa on usein tuhkausuunin lisäksi aputilat ja säilytystilat vainajille sekä siunaustilat muistotilaisuutta varten. (4.)



KUVA 1 Krematoriouunin poikkileikkaus (4)

Tuhkausuuni esilämmitetään ennen vainajan polttoprosessia haluttuun, noin 700–800 °C:n lämpötilaan. Tarkka lämpötilavaatimus on usein mainittuna ympäristöluvassa. Uuni käynnistyy automaattisesti ajastintoinnolla, jolla käynnistyksen kellonaika voidaan valita halutuksi. Kun uuni on valmis polttoprosessiin ja arkunkäsittelylaite siirtänyt arkun uuniin, syttyy arkku itsestään. Ohjelmoidun logiikan ja mittatietojen mukaan prosessia säädellään automaattisesti seuraten lämpötilaa, alipainetta sekä savukaasujen happi- ja häkäpitoisuutta. Palamisprosessin päätyttyä palaneet jäänteet kerätään uunin etuosassa sijaitsevaan kuiluun, missä ne ilmapuhalluksen avulla hehkuvat loppuun. Tämän jälkeen tuhka pudotetaan jäähtymään jatkokäsittelyä varten teräsastiaan. (4.)

Jatkokäsittelyssä tuhkan seasta erotellaan arkun kiinnitysosat ja vainajassa olleet ortopediset osat kuten tekonivelet. Palamatta jääneet luut jauhetaan. Tuhkauksista ohjauskeskukselle tallen-

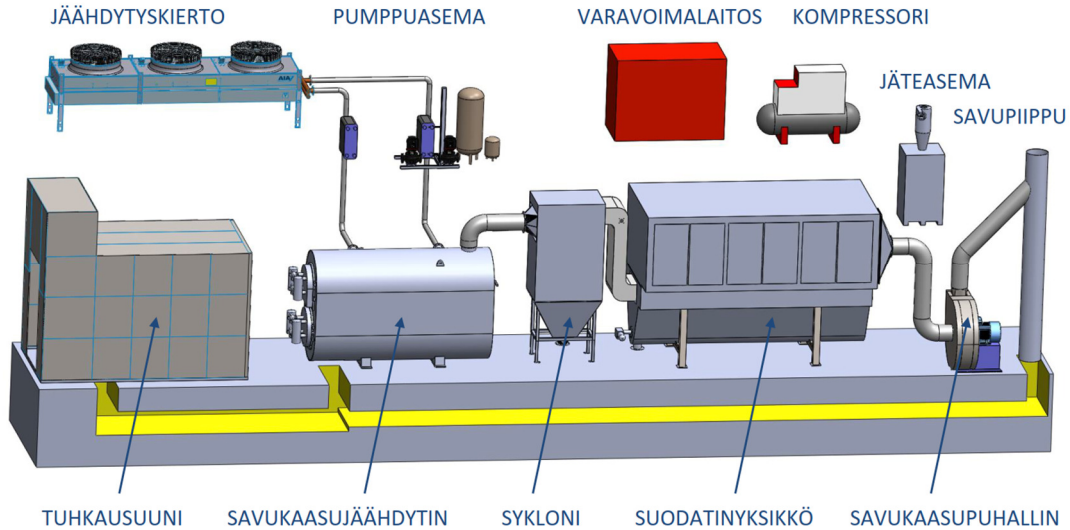
tuvat kaikki tiedot lämpötilasta polttoaineen kulutukseen, ja ohjauskeskus on liitettävissä tietoverkkoon, jonka avulla laitteistoon voidaan tehdä säätöjä ja päivityksiä sekä vianetsintää etäyhteyden avulla. (4.)

Tuhkauskalusteistoon liitettävät laitteet koostuvat savukaasujen puhdistus- ja jäähdytyslaitteistosta. Ennen kuin savukaasuja voidaan puhdistaa, on ne jäähdytettävä lämmönsiirtimien ja jäähdytysvesikierron avulla. Talteen otettu lämpö voidaan hyödyntää varaajan avulla kiinteistössä itsestään tai liittämällä lämpövoimaverkkoon. Jos kuitenkin lämpöä ei syystä tai toisesta voida talteen ottaa vedestä, jäähdytetään se erillisellä jäähdyttimellä. (4.)

Tuhkauksien määrä kappelin krematoriossa on kasvanut vuodesta 2016 vuoteen 2021 likimain 35 %, ja tästä syystä toisen uunin investointi ja laajennus on hyvin ajankohtainen (5). Nykyisin tuhkauksia suoritetaan noin 1440 kappaletta vuotta kohden. Tästä eteenpäin oletetaan tuhkauksien kasvavan noin 80 kappaletta/vuosi, eli vuonna 2027 arvioitu tuhkauskäärä on noussut yli 1700 kappaleeseen. Maksimitaso, eli 2500–2600 tuhkausta, saavutetaan noin vuonna 2035, jolloin myös alueen väestö on huipussaan. Kahdella uunilla saadaan varmistettua toiminnan häiriöttömyys, myös tulevaisuudessa. 2000-luvun loppupuolella kappelin alkuperäinen krematoriuuni on uusittu Tabon -täysautomatisoidulla uunilla, jonka polttoaineena käytetään rikitöntä kevytpolttoöljyä. Kyseisestä polttoprosessista puuttuu kokonaan savukaasujen suodatus sekä lämmöntalteenotto. Nämä tullaan lisäämään peruskorjauksen yhteydessä. (2.)

2.2 Savukaasujen suodatinjärjestelmä

Kuvan 2 periaatekuvassa nähdään selkeästi krematoriuunin toimintaperiaate uuninluukulta jäteasemalle. Ensimmäisenä tuhkausuunista kuumat savukaasut johdetaan savukaasujäähdyttimelle, jossa kuuma savukaasu, noin 600–700 °C, jäähdytetään vedellä 120 °C:n lämpötilaan. Kuumentunut vesi kierrätetään pumppuasemalta jäähdytyskiertoon eli kiinteistön lämmitysjärjestelmiin tai liuosjäähdyttimelle. Sen jälkeen jäähtynyt savukaasu kulkee jäähdyttimeltä syklonille, jossa savukaasusta erotellaan suurikokoiset hiukkaset keksipakoisvoiman avulla. Jotta savukaasusta saadaan suodatettua raskasmetallit ja muut haitalliset aineet pois, imetään savukaasu suodatinyksikköön, jossa kaasu kulkee usean kalkkiaktiivihiliseoksella päällystetyn suodatinkankaan lävitse. Savukaasupuhaltimen avulla puhdistettu savukaasu imetään savupiipun kautta ulos. Toimintahäiriöiden vuoksi savukaasukanava sisältää ohituksen, jolloin savukaasu pääsee suoraan uunista piipun kautta ulos. (4.)



KUVA 2 Krematorion lämmöntalteenoton ja savukaasujen puhdistusjärjestelmän periaatekuva (4)

2.3 Kappelin LVI-tekniikka

Kappelirakennuksen LVI-tekniikka on pääosin alkuperäisessä kunnossa lukuun ottamatta lämmönjakokeskuksessa tehtyä peruskorjausta, uusittua krematorion ilmanvaihtotekniikkaa ja kylmäkoneita. Kappelin ilmanvaihto on toteutettu ilman lämmöntalteenottoa varustetuilla tulo-/poistoilmanvaihdolla. Poistoilmanvaihto on toteutettu huippumureilla. Nykyiset ilmavaihtokoneet sekä huippumurit uusitaan. Uudet ilmanvaihtokoneet varustetaan roottori- ja/tai vastavirtalämmöntalteenotoilla. Kanavavarusteet sekä päätelaitteet uusitaan kokonaisuudessaan. Krematoriotilan etutila ylipaineistetaan aina uunin auetessa ja kohdepoistohuuvat sijoitetaan uunin suuaukolle sekä tuhkan käsittelyyn.

Lämmönjakelu rakennuksen sisällä on toteutettu vesikiertoisella patteriverkostolla, joka on liitetty kaupungin kaukolämpöverkoston. Patterit huoneissa ovat vanhoja Högforsin radiaattoreita ja varustettu käsisäätöisillä patteriventtiileillä. Aulassa ja kappeleissa on saman valmistajan C14- ja C21 RADIA -konvektorit lattiasyvennyksiin asennettuna. Kappelin kaikki lämpöjohdot pattereineen puretaan ja lämpöjohdot asennetaan pinta-asennuksena teräsputkin hitsaus- ja/tai kierrelitoksin. Myös lämmönsiirrin pumppuineen uusitaan. Kaikki sulkuventtiilit, linjasäätöventtiilit ja ilmanpoistimet uusitaan ja vesivirrat säädetään linja- ja patterikohtaisesti tasapainoon.

Rakennus on liitetty kaupungin veden vesi- ja viemäriverkostoihin. Pohjaviemäri on valurautaputkea, joka on liitetty muhvi-/lyijyliitoksiin. Kappelin valurautaviemäreissä on havaittavissa lievää pistemäistä ja yleistä korroosioita sekä karstaa. Vesijohtojen ja viemäreiden osalta kaikki rakennuksen sisäpuoliset vesijohdot, viemärit ja sadevesiviemärit puretaan ja uusitaan. Käytöstä poistuvat viemärit painehuuhdellaan ja tulpataan tiiviisti. Mahdollista on myös hyödyntää viemäreiden sukutusta. Sukituksessa viemäriputkeen asennetaan epoksikyllästetty kuitusukka, jolloin vanhaa viemäriä ei tarvitse purkaa, vaan sukituksella putkesta saadaan lähes uudenveroinen ja lisää käyttöikää noin 40–50 vuotta. Tätä toimintamallia ei kuitenkaan tässä kohteessa hyödynnetä, sillä kaikki talotekniset ratkaisut tullaan uusimaan kokonaisuudessaan.

Kappelin jäähdytysjärjestelmä tullaan toteuttamaan krematoriotiloissa paikallisella split-yksiköllä. Vainajien kylmäsäilytyksessä huomioidaan käyttövarmuus niin pakkas- kuin kylmiösäilytyksessä, ja niitä varten asennetaan omat kompressorit palvelemaan tiloja. Kylmäainevalinnassa käytetään matalan GWP-arvon kylmäainetta, esimerkiksi R1234ze tai R290. GWP-arvo kertoo aineen kasvi-huonehaitallisuuden. (2.)

3 LÄMMITYSENERGIALASKENTA / KULUTUSTIEDOT

Rakennus sijaitsee säävyöhykkeellä 3, eli talvella ulkoilman mitoituslämpötilana käytetään -32 °C :ta, kesäisin $+25\text{ °C}$:ta, mikä perustuu kesäkuun ja heinäkuun keskiarvoon päivän ylimmästä lämpötilasta. Jotta rakennukselle saadaan laskettua savukaasujen lämmöntalteenoton tuoma säästö ja kulutuspotentiaali, on laskettava ensin rakennuksen lämmitysenergiantarve.

3.1 Kappelin U-arvot

U-arvo eli lämmönläpäisykerroin kuvaa eri rakennusosien lämmöneristyskykyä, mikä kertoo rakennososan läpäisevän lämpövuon pinta-alaa kohden, kun lämpötila ero on yhden asteen $[W/(m^2K)]$. Mitä parempi lämmöneristys rakenteessa on, sitä pienemmän U-arvon rakenne saa. Kokonaisuudessa tärkeämpää on keskittyä rakennuksen kokonaisenergiatehokkuuteen, sillä yhden yksittäisen U-arvon ”huonous” voidaan helposti kompensoida huomioimalla se muissa rakenteissa. U-arvoltaan ikkunat ovat rakenteista heikoimpia, ne kuitenkin mahdollistavat auringon valon ja lämmön pääsyn rakennuksen sisätiloihin, jolloin ne eivät ole rakennukselle vain tuottamassa energiahukkaa. (7.)

TAULUKKO 1 Kappelin U-arvot perusremontin jälkeen (2.)

Rakenne	U-arvo
US_{isokappeli}	0.17 W/(m ² K)
US	0.4 W/(m ² K)
AP_{sa}	0.3 W/(m ² K)
AP_{ra}	1.0 W/(m ² K)
AP_{KA}	0.475 W/(m ² K)
YP_{isokappeli}	0.12 W/(m ² K)
YP_{tasakatto}	0.16 W/(m ² K)
Ikkunat	1,0 W/(m ² K)
Ovet	1,0 W/(m ² K)

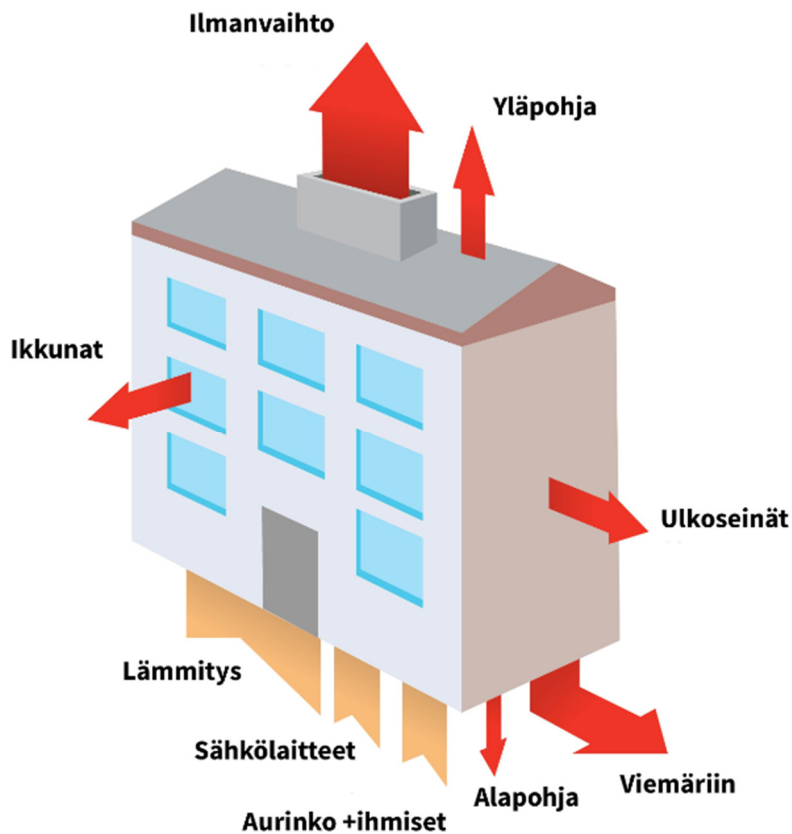
Laajennuksen U-arvoja ei ollut tätä opinnäytetyötä tehtäessä vielä saatavilla, joten U-arvoina käytettiin nykyisiä vaatimuksia, jotka ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen energiatehokkuudesta 1010/2017 3:24 § ohjeistaa (taulukko 2).

TAULUKKO 2 Kappelin laajennuksen U-arvot (6.)

Rakenne	U-arvo
US	0,17 W/(m ² K)
AP	0,16 W/(m ² K)
YP	0,09 W/(m ² K)
Ikkunat	1,0 W/(m ² K)
Ovet	1,0 W/(m ² K)

3.2 Kappelin lämpöhäviöt

Lämpöhäviöt kuvaavat rakennuksen lämmityksen tehontarvetta, johon vaikuttavat monet rakennustekniset ratkaisut, kuten materiaalivalinnat, rakennuksen sijainti, muoto, koko, ilmanvaihto, lämmöneristys ja niin edelleen. Rakennuksen lämpöhäviöt ovat rakennusvaipan, vuotoilman ja ilmanvaihdon yhteenlaskettu lämpöhäviö. Rakennuksen lämpöhäviöt ja -kuormat ovat esitettyinä kuvassa 3.



KUVA 3 Havainnekuva rakennuksen lämpöhäviöiden ja -kuormien lähteistä. Nuolen suuruus kertoo osuudesta kokonaishäviöstä ja -kuormasta. (8, s. 19.)

Lämpöhäviölaskenta suoritettiin MagiCad Room -sovelluksella, ja laskennassa hyödynnettiin lähtötiedoissa annettuja U-arvoja (taulukot 1–2). Tulokseksi saatiin yhteensä 69,6 kW, johon sisältyvät rakenteelliset lämpöhäviöt sekä vuotolämpöhäviöt. Saatua tulosta hyödynnettiin laitevalinnoissa talotekniikkajärjestelmiä suunniteltaessa. Kyseessä on staattinen lämpöhäviölaskenta, josta saadaan mitoitusteho tulokseksi. Laskenta ei myöskään huomioi rakenteisiin varastoitunutta lämpöä, toisin kuin dynaaminen laskenta. Room sovelluksessa rakennus jaettiin tiloihin, ja jokaiselle tilalle täytettiin kuvassa 4 esiintyvä lähtötietoikkuna. Syötettyjen tietojen mukaan sovellus laski tilalle mitoituslämpöhäviön.

Room User code: <input type="text" value="123"/> ... Room name: <input type="text" value="PIENI KAPPELI"/> ... Room type: <input type="text" value="Not defined"/> v Note <input type="text"/> Room height [mm]: <input type="text" value="3700"/> Area (gross/net)[m ²]: <input type="text" value="116.0"/> <input type="text" value="108.4"/> Room volume (gross/net)[m ³]: <input type="text" value="429.1"/> <input type="text" value="401.0"/>		Temperatures Temperature setpoint for heating [°C]: <input type="text" value="20.0"/> Supply air temperature [°C]: <input type="text" value="0.0"/> <input checked="" type="checkbox"/> Transfer air temperature = outside temperature Transfer air temperature [°C]: <input type="text" value="-32.0"/>	
Ventilation <input checked="" type="radio"/> By manual values Supply airflow [l/s]: <input type="text" value="0"/> [m ³ /h] <input type="text" value="0"/> Extract airflow [l/s]: <input type="text" value="0"/> [m ³ /h] <input type="text" value="0"/> Primary flow for automatic values <input checked="" type="radio"/> Supply <input type="radio"/> Extract <input type="radio"/> By area Supply airflow [l/s,m ²]: <input type="text" value="0.0"/> [m ³ /h,m ²] <input type="text" value="0.0"/> <input type="radio"/> By times per hour Supply airflow [1/h]: <input type="text" value="0.0"/> Extract airflow by percent of supply: <input type="text" value="0"/> Air exchange rate [1/h]: <input type="text" value="0.100"/>		Roof Slab Exception Roof slab: <input type="text" value="-"/> v Area coverage from room area [%]: <input type="text" value="0"/> <input type="checkbox"/> Use outside temperature Background temperature [°C]: <input type="text" value="-32.0"/>	
		Floor Slab Exception Floor slab: <input type="text" value="AP1 Alapohja (maanvastainer"/> v Area coverage from room area [%]: <input type="text" value="100"/> Background temperature [°C]: <input type="text" value="5.0"/>	
		Heat Loss Total heat loss [W]: <input type="text" value="5095"/> [W/net m ²]: <input type="text" value="47.01"/> <input type="checkbox"/> Manual value Manually given heat loss [W]: <input type="text" value="0"/> [W/net m ²]: <input type="text" value="0.00"/> <input type="button" value="Heat loss analysis..."/>	
		Cooling power Total cooling power [W]: <input type="text" value="0"/> [W/net m ²]: <input type="text" value="0.00"/>	
		Electrical Loads Average load [W]: <input type="text" value="0"/> [W/net m ²]: <input type="text" value="0.00"/> Fixed load [W]: <input type="text" value="0"/>	
<input type="button" value="IDA ICE properties..."/>		<input type="button" value="Ok"/> <input type="button" value="Cancel"/>	

KUVA 4 Pienen kappelin lämpöhäviölaskennan tulos, sisältäen rakenteelliset ja vuotolämpöhäviöt.

3.3 Kappelin ja huoltoalueen kulutustiedot

Kappelin ja sitä ympäröivien rakennuksien kulutustietoja (taulukot 3–5) hyödynnetään energiansäästölaskuissa (liite 2). Tämän pohjalta on myös päädytty mahdolliseen ratkaisuun, jolloin alueen rakennukset saisivat lämpöenergian kokonaisuutenaan savukaasuista talteen otetusta energiasta. Näin syntyisi kappelin ja sitä ympäröivien huoltorakennusten kattava aluelämpöverkko.

TAULUKKO 3 Kappelin kulutustiedot vuosina 2017–2020 (2.)

	Vesi	Lämpö	Sähkö
2017	90,3 m ³	357,2 MWh	132,5 MWh
2018	118,8 m ³	339,7 MWh	141,1 MWh
2019	89,8 m ³	347,1 MWh	140,3 MWh
2020	105,6 m ³	370,0 MWh	153,9 MWh

TAULUKKO 4 Varasto - kasvihuoneen C kulutustiedot 2019–2020 (2.)

	Vesi	Lämpö
2019	4576,6 m ³	312,1 MWh
2020	3930,6 m ³	290,7 MWh
2021	4094,2 m ³	352,4 MWh

TAULUKKO 5 Huoltorakennuksen B sähkön kulutustiedot vuosina 2019–2020 (2.)

	Sähkö
2019	124,4 MWh
2020	135,9 MWh
2021	136,6 MWh

Kappelissa ja sen toimitiloissa kuluu yhteensä vuodessa keskimäärin vettä 4300 m³, lämpöä 670 MWh ja sähköä 270 MWh. Polttoainetta vuositasolla on yhdellä uunilla kulunut noin 14 400 litraa/vuosi. Tämä tulee tuplaantumaan toisen uunin myötä.

Höganäs Borgestadn takuuarvolaskelman (liite 1) mukaan polttoaineen keskipöytä vuositasolla kahdella tuhka-uunilla ja tuhkausten määrän ollessa 1440 kpl/vuosi on likimain 24 480 kg (28 800 litraa, kun $\rho=0,85 \text{ kg/dm}^3$) sisältäen lämmityksen käyttölämpötilaan. Sähkönkulutus samana aikana on 31,68 MWh.

4 MITOITUKSET JA LÄMMÖNTALTEENOTTO

4.1 Ilmanvaihtokonemitoitukset

Ilmanvaihdon ilmamäärät on mitoitettu tiloille sisäilmaluokituksen S2 mukaisesti (kuva 5). WC-, pukuhuonetilat ja siivouskomerot, eli hajuhaittoja aiheuttavat tilat toteutettiin alipaineisina. WC-tilat mitoitettiin 20 l/s yhtä WC-istuinta kohden, pesuhuoneet 16 l/s/paikka, siivouskomeron minimi poistoilmavirta 15 l/s ja pukuhuoneet 4 l/s/kaappi. Kaikissa tiloissa on kuitenkin oltava vähintään 4 l/s/m².

Tila	Lattia-ala m ² /hlö	S1-luokka		S2-luokka		S3-luokka	
		dm ³ /s, hlö	dm ³ /s, m ²	dm ³ /s, hlö	dm ³ /s, m ²	dm ³ /s, hlö	dm ³ /s, m ²
Toimitila, normaali tilatehokkuus	10–12	16	1,5	11	1,0	6	1,0
Toimitila, suuri tilatehokkuus	6–8	14	2,0	9	1,5	6	1,5
Neuvotteluhuone	3	12	4,0	8	3,5	6	3,0
Taukotila, kahvio	1,5	11	5,0	8	4,0	6	2,0
Hotellihuone		10		8		6	
Opetustila tai muu oleskelutila	2	11	5,5	8	4,0	6	3,0
Luentosali		10		8		6	
Päiväkodin ryhmätilat	3	12	4,0	8	3,0	6	3,0
Käytävä ja porrashuone			1,0		0,5		0,5
Käytävä, aula			1,5		1,0		1,0
Ruokala ja kahvila	2	11	5,5	8	4,0	6	3,0
Kuumennus- ja jakelukeitin ¹⁾			10		10		5–10
Valmistuskeitin ¹⁾			15–40		15–40		15–25
Astianpesuhuone ¹⁾			12–20		10–15		10
Liiketila, myymälä ¹⁾		10	1–3	8	1–3	6	1–3
Näyttelytila			3		3		2
Kirjasto			3		2		2
Salit (konsertti-, teatteri-, elokuva-, koulun sali)		10		8		6	
Lämpö			5		5		5
Kuntosali			6		6		6
Liikuntahalli, urheilijat			2,5		2		2
Liikuntahalli, katsojat		10		8		6	
Potilashuone ²⁾		15	3,5	12	3	10	2,5
Varasto, arkisto (poisto)			0,5		0,5		0,35

¹⁾ Prosessien aiheuttama ilmanvaihdon tarve tai yllämmön poistaminen tulee suunnitella tapauskohtaisesti.

²⁾ Sairaalatiolien sisäilmaston suunnittelusta ja ilmavirroista on tietoja raportissa Sairaalailmanvaihdon suunnitteluohjeita (Ryynänen 2007).

KUVA 5 Ulkoilmavirtojen mitoitusarvot tiloissa, kun käyttötilanne on normaali. (9.)

Ilmanvaihtokoneet on jaettu alueellisesti palvelualueisiin (kuva 6) hyödyntäen nykyisiä ratkaisuja ja kanavareittejä. Uudet ilmanvaihtokoneet sisältävät lämmöntalteenoton, jotta kaikki mahdollinen energia, jota voisi jatkossa uudelleen käyttää on hyödynnettävissä.

Ilmastointikone	Konemalli	Koko	Ilmamäärä	Puhaltimen sähköteho	SFPv	Ulkoisen painehäviö	LTO:n tyyppi	η lämpötila (kuiva)	Leveys (mm)	Korkeus (mm)	Pituus (mm)
TK01 Iso sali	Flexomix	190	2,20/2,20	2,57/1,84	2,00	270/270	Ei mitään		1400/1400	930/930	3290/2690
TK02 Pieni sali	Flexomix	100	0,70/0,70	0,56/0,43	1,41	270/270	Ei mitään		1020/1020	740/740	2840/2320
TK03 Aula	Flexomix	150	1,20/1,20	0,93/0,73	1,38	270/270	Ei mitään		1120/1120	930/930	3290/2690
TK4 sakasti ym.	Flexomix	100	0,50/0,50	0,33/0,35	1,36	200/200	Roottori	84,0	1070	1285	3560
TK5 Sos.tilat	Flexomix	150	1,00/1,00	0,75/0,85	1,60	200/200	Roottori	79,4	1170	1665	3860
TK6 krematorio	Flexomix	150	1,00/1,00	0,79/0,85	1,64	200/200	Roottori	79,4	1170	1665	4530
TK7 kellarin tilat	Envistar Top	06	0,30/0,30	0,21/0,19	1,31	200/200	Vastavirtasiirrin ODS	87,2	890	1655	1960

Projekti, painotetut arvot	SFPv	η lämpötila (kuiva)	Roottori	Vastavirtasiirrin	Levyämönsiirrin	Patteri
Kappeli	1,65	81,1	80,3	87,2		

KUVA 6 Kappelin ilmanvaihtokoneiden mitoitus palvelualueittain (2).

4.2 Ilmanvaihdon lämmöntalteenotot

Kappelin vanhaa osaa palvelevat koneet ovat tuloilmakoneita, joiden poisto tapahtuu huippuimureilla. Huippuimurit ovat tarkoitus uusien kokonaisuudessaan, ja uudet huippuimurit tulevat sisältämään nestekiertoisen lämmöntalteenottojärjestelmän. Lämmöntalteenoton putkisto kuljetetaan vesikatolta raitisilmakammioon Retermian neulaputkipatteriin. Loput ilmanvaihtokoneet sisältävät sisäänrakennetun lämmöntalteenottojärjestelmän, joko roottori tai vastavirtalämmönsiirtimen. Krematorion hukkalämpö halutaan hyödyntää parhaalla mahdollisella tavalla, joten huippuimureiden lämmöntalteenotto voidaan korvata myös tuomalla hukkalämpöä suoraan varaajalta putkistoa pitkin tuloilmakoneelle. Näin saadaan karsittua ylimääräisten lämmöntalteenottojen asentamisen kolmeen huippuimuriin. Varaajalta, josta savukaasuilla lämmitetty vesi kiertäisi ilmanvaihtokoneiden lämpöpatterille, aivan kuten muissakin lämmityspatteritapauksissa. Krematoriotilan ilmanvaihto tulaa toteuttamaan roottorilämmöntalteenotolla varustetulla ilmanvaihtokoneella (kuva 6). Näin kattilahäviöt saadaan säilöön ja sitä kautta uudelleen hyödynnettäväksi. (2.)

TAULUKKO 6 Tulokoneiden 1–3 lämmityspattereiden tehontarpeet ilman lämmöntalteenottoa ja lämmöntalteenotolla varustettuna. (2.)

Lämmityspatteri		
Tuloilmakoneet	Ilman LTO:ta	LTO:lla
TK1	163,7 kW	119,9 kW
TK2	52,1 kW	38,2 kW
TK3	89,3 kW	65,4 kW

4.3 Savukaasusta saatava teho

Jotta laskuista saatavat tulokset ovat vertailukelpoisia keskenään, oletetaan, että ihminen painaa keskimäärin 75 kg, josta 70 % on vettä. Ihmistä tuhkaessa kehoon sitoutunut vesi höyrystyy ja kulkeutuu savukanavaan, josta se poistuu kokonaisuudessaan ulkoilmaan. Polttoaineen kulutus tuhkausta kohden on 17 kg (liite 1). Ihmisen tehollisena lämpöarvona käytetään 7,08 MJ/kg, ja kevytpolttoöljyn tehollisena lämpöarvona 42,6 MJ/kg (10). Savukaasuista talteen otettu energiamäärä koostuu enimmäkseen poltetusta polttoaineesta. Kun otetaan huomioon poltetun aineiden massa, on ero todella huomattava. Ruumiin tuottama energia on 42 % kokonaisenergiasta.

$$Q_{tuhkaus} = Q_{ihminen} * m_{ihminen} + Q_{pa} * m_{pa}, \quad (\text{KAAVA 1})$$

jossa

$Q_{tuhkaus}$	tuhkauksessa siirtynyt lämpöenergia	[MJ]
$Q_{ihminen}$	ihmisen tehollinen lämpöarvo	[MJ/kg]
$m_{ihminen}$	ihmisen massa	[kg]
Q_{pa}	polttoaineen tehollinen lämpöarvo	[MJ/kg]
m_{pa}	polttoaineen massa	[kg]

$$Q_{tuhka} = 7,08 \text{ MJ/kg} * 75 \text{ kg} + 42,6 \text{ MJ/kg} * 17 \text{ kg} = 1\,255,2 \text{ MJ}$$

Yhden tuhkauksen kokonaisaika on 1,5 tuntia, mutta varsinainen poltto tapahtuu noin yhden tunnin aikana, ja kun aiemmin laskettu tuhkauksessa siirtynyt lämpöenergia jaetaan tuhkauksen ajalla, saadaan laskettua savukaasusta saatava teho kaavalla 2. Hyötysuhteessa on huomioitu lämmön johtuminen ja säteileminen ympäristöön eli kattilahäviöt, tuhkahäviöt, jotka muodostuvat palamattomista aineista sekä sidotut savukaasuhäviöt. Palamattomien kaasujen määrä riippuu polttoprosessin säädöistä ja niiden ollessa kohdillaan, on palamatta jääneiden kaasujen osuus pieni.

$$\phi_{lto,tuhkaus} = \frac{Q_{tuhka}}{t} * \eta, \quad (\text{KAAVA 2})$$

jossa

$\phi_{lto,tuhkaus}$	lämmönvaihtimen teho tuhkauksen aikana	[MW]
Q_{tuhka}	tuhkauksesta siirtynyt lämpöenergia	[MJ]

t	tuhkauksen aika	[s]
η	teoreettinen hyötysuhde	[-]

$$\phi_{lto,tuhkaus} = \frac{1\,255,2\,MWs}{3600\,s} * 0,7 = 0,244\,MW$$

Lauri Heikkilän opinnäytetyön mukaisesti laskettu lämmönvaihtimen teho, kun käyttöaika on kahdeksan tuntia, tuhkauksia kuusi kappaletta, on teho 0,244 MW hyötysuhde huomioituna (10). Kun tuhkauksia tehdään 6 kappaletta/päivä, on päivän tuhkauksista tuleva tehontuotto seuraava:

$$\phi_{lto,tuhkaus,vrk} = \phi_{lto,tuhkaus} * t$$

$$\phi_{lto,tuhkaus,vrk} = 0,244\,MW * 6\,h/vrk = 1,464\,MWh/vrk.$$

Lämmöntuottoa tapahtuu myös tuhkauksien ulkopuolella, eli kun uuni käy tyhjäkäynnillä esilämmitysvaiheessa sekä tuhkauksien välissä. Kun lämpöenergiaan huomioidaan lämmöntalteenoton hyötysuhde ja kulunut aika, saadaan ulos lämmöntalteenoton teho silloin, kun uunissa palaa ainoastaan polttoainetta.

$$\phi_{lto,pa} = \frac{Q_{pa} * m_{pa}}{t} * \eta$$

$$\phi_{lto,pa} = \frac{42,6\,MJ/kg * 17\,kg}{3600\,s} * 0,7 = 0,141\,MW$$

Tuhkausten ulkopuolella uunia lämmitetään 2 tuntia/päivä, on lämmöntuotto seuraava:

$$\phi_{lto,pa,vrk} = \phi_{lto,pa} * t$$

$$\phi_{lto,pa,vrk} = 0,141\,MW * 2\,h/vrk = 0,282\,MWh/vrk.$$

Tuotto yhteensä kuukausitasolla yhdellä krematoriuunilla:

$$\phi_{lto,kk} = (\phi_{lto,tuhkaus,vrk} + \phi_{lto,pa,vrk}) * t$$

$$\phi_{lto,kk} = (1,464 + 0,282) \text{ MWh/vrk} * 5 \text{ vrk/vk} * 4 \text{ vk/kk} = 35 \text{ MWh/kk}.$$

Yhden uunin tuotto on 35 MWh/kk, jolla laskennallisesti voidaan kattaa kappelin lämpöenergian-tarve. Kahden uunin yhteiskäytöllä lähtötilanteessa lämpöenergiantuotto ei riitä kattamaan kaikkien alueen rakennuksien lämpöenergiavaadetta. Vuonna 2027 saa kappelista ja sen huoltoalueesta energiaomavaraisen ennustetuilla tuhkausmäärillä. Laskuista kun pudottaa ruumiiden tuottaman lämpöenergian pois, jää polttoöljyn tuottoenergiaksi hyötysuhde huomioituna noin 17 MWh/kk.

4.4 Kokonaishuipputehon tarve

Kokonaisuudessaan kappelin huipputehontarve kattaa lämmityksen, ilmanvaihdon ja lämpimän käyttöveden lämmityksen (taulukko 7).

TAULUKKO 7 Kappelin tehontarpeet jaoteltuna osa-alueisiin.

	Tehon tarve
Lämmitys	69,6 kW
Ilmanvaihto	250,5 kW
Lämmin käyttövesi	135,0 kW
YHT.	455,1 kW

Lämmityksen tehontarve on saatu MagiCad Room -sovelluksella. Ilmanvaihdon osuus koostuu lämmöntalteenoton tehoista. Neljä uutta ilmanvaihtokonetta on varustettu sisäisellä lämmöntalteenotolla. Kolmeen uusittavaan tuloilmakoneeseen hyödynnetään Retermian LTO-huippuimureita (LTOH), jotka sisältävät neulalämmönsiirtimet. Putkisto kuljetetaan vesikatolta kellarikerrokseen, jossa se viedään ilmanvaihtokoneille. Taulukossa 6 on laskettu lämmöntalteenotolla varustetun tuloilmakoneen tehontarpeet. Lämpimän käyttöveden tehon tarve on laskettu kappeliin tulevien vesipisteiden mukaan (taulukko 7).

5 LÄMMÖN HYÖDYNTÄMINEN

Hukkaenergian käyttö rakennuksen järjestelmissä vähentää kiinteistön ostolämmönkulutusta. Mikäli kaikki krematoriosta saatu energia saadaan hyödynnettyä ja varastoitua, muodostuu kappelista ja sen huoltorakennuksista kahdella uunilla energiaomavarainen. Kesäisin lämmöstä on ylituotantoa, jolloin ylimääräinen energia voidaan syöttää kaukolämpöverkostoon tai jäähdyttää ulkoilmaan. Kaukolämpöä voidaan tarvita kuitenkin lisälämmönlähteenä, sillä krematorion tuotto ja käyttö eivät ole vakioita. Varaajan hyödyntäminen lisää puskuria lämmöntuotantoon, jolloin saadaan tasattua kulutuksen ja tuoton epäsuhtaa. Koska lämmöntuotto krematoriossa on pulssimaista, johtuen tuhkauskäärien epätasaisuudesta, varaajalla on tärkeä tehtävä varastoida saatua lämpöenergiaa. Näin lämpöenergiaa on syötettävissä rakennusten lämmitysjärjestelmiin, vaikka tuhkauskäisiä ei sillä hetkellä ole tai tuhkauskäissä on taukoa.

Lämpöä voidaan lähtökohtaisesti hyödyntää ja kaikissa vesikiertoisissa järjestelmissä, kuten ilmanvaihdon, tilojen ja käyttöveden lämmityksessä. Kyse on enemmänkin kytkennästä, miten lämpö saadaan hyötykäyttöön. Optimaalinen tilanne on, että lämpö hyödynnettäisiin siellä, missä se syntyy. Ensisijaisesti lämpö halutaan varastoida varaajaan, josta se on käytettävissä kappelin lämmönlähteenä. Toissijaisesti voisi ylijäämän syöttää kappelialueen aluelämpöverkkoon, jota ei tosin vielä ole. Tässä hankkeessa aluelämpöverkkoa ei tulla rakentamaan, mutta tulevaisuutta ajatellen se olisi järkevin ratkaisu. Näin päästäisiin energiaomavaraisuustilanteeseen, jossa toiminnan varmuus taattaisiin yhdellä kaukolämpöliittymällä.

Liitteessä 2 on esitetty keskimääräinen uunien tuottama lämpöenergia, ja vanhojen kulutustietojen mukaan (taulukot 3–5) laskennallisesti saatu hukkalämmön määrä MWh:ina. Tuloksena saadaan, että jopa yhdellä uunilla olisi mahdollista saada tuotettua kappelin lämmöntarve. Se ei kuitenkaan riittäisi huoltoalueen lämmöntarpeen kattamiseen kylmimpinä kuukausina. Toinen uuni tuo laskennallisesti mahdollisuuden liittää kaikki rakennukset aluelämpöverkkoon, joka poistaisi kaupungin kaukolämmöntarpeen kokonaisuudessaan. Koska uunien tuottoa ei voida olettaa täysin vakioiksi, on kaukolämpöliittymän oltava toistaiseksi olemassa tuhkauskäärien vaihdellessa.

6 ENERGIANSÄÄSTÖ HUKKAENERGIAA HYÖDYNNETTÄESSÄ

Työn tuloksissa tarkastellaan, kuinka suuri hyöty järjestelmän savukaasujen suodatuksella ja lämmöntalteenotolla saavutetaan rakennuksen energiakuluissa ja kustannuksissa. Kappelin käyttökustannukset ovat olleet keskimäärin 105 000 €/vuosi.

Kappelin energialaskelmassa lasketaan, kuinka suuri energiasäästö saadaan uusilla investoinneilla ja järjestelmillä aikaan. Kun savukaasujen lämmöntalteenoton tuottama hukkaenergia hyödynnetään rakennuksen lämmityksessä, ostoenergian tarve vähenee. Kun savukanavasta talteen otettu lämpöenergia varastoidaan vesivaraajaan, on se käytettävissä rakennuksen ilmanvaihdon, lämmityksen ja käyttöveden lämmitysjärjestelmissä.

6.1 Säästöt

Krematoriuunien tuottama säästö saadaan kaavalla 3, jossa on huomioitu kahden uunin käyttö viitenä päivänä viikossa ympäri vuoden.

$$Q_{\text{säästö}} = \phi_{lto,kk} * t, \quad (\text{KAAVA 3})$$

jossa

$Q_{\text{säästö}}$	mahdollinen savukaasusta saatava lämpöenergia	[MWh/a]
$\phi_{lto,kk}$	lämmönvaihtimen teho tuhkauksessa ja lämmityksessä	[MW/kk]
t	käyttöaika	[kk]

$$Q_{\text{säästö}} = 35 \text{ MWh/kk} * 12 \text{ kk} * 2$$

$$Q_{\text{säästö}} = 840 \text{ MWh/a}$$

Kaukolämmön hinta koostuu liittymis-, perus- ja energiamaksuista sekä veroista. Keskimääräinen kaukolämmönkokonaishinta megawattituntia kohden on laskettu energiamaksusta 66,61 €/MWh (sis. alv 24 %) ja perusmaksusta 2300 €/vuosi (sis. alv 24 %) (11). Perusmaksuun vaikuttaa kiinteistön huipputehontarve mitoituspakkasella (taulukko 7), johon sisältyy ilmanvaihto, lämmitys ja

20 % käyttövedestä. Lämmityskustannuksien säästöpotentiaali, kun kaukolämmön hinta on 67,37 €/kWh:

$$X_{\text{säästö}} = 840 \text{ MWh/a} * 67,37 \text{ €/MWh} = 56 590,80 \text{ €/a}.$$

Kappelin LVI-töille ja uudelle krematoriuunille, sisältäen savukaasujen suodatusjärjestelmän ja lämmöntalteenoton, on kokonaiskustannusarvio 2 466 000 € (sis. alv 24 %). Polttoaineen laskennallinen vuosikustannusarvio, kun kulutus on 60 tn/vuosi, on kahdella uunilla 125 000 €/vuosi sisältäen huollot ja tarkastukset. Rahallinen hyöty, joka säästetään krematoriossa syntyvän lämpöenergian käytöllä, saadaan näillä LVI-työt ja uuni suodatusjärjestelmineen takaisinmaksettua 44 vuodessa.

Kappelin energiatuotantoprofiiliin (liite 2) mukaan kesä-elokuussa lämpöä olisi eniten myytävänä, jolloin myös kaupungin verkossa sille on vähiten tarvetta. Tämän vuoksi kesäkuukausina lämmön myynti ei ole kannattavaa. Tämän takia tuotettu lämpöenergia kannattaa hyödyntää alueella mahdollisimman pitkälle ja näin saada ostoenergiakustannuksia pudotettua. (12.)

Yksi mahdollisuus olisi ollut rakentaa energiakaivo, eli energian varastointi maaperään. Siinä varastoa lämmitettäisiin kesällä krematoriosta saatavalla ylijäämäenergialla, jota purettaisiin talvella rakennuksen energiatarpeiden mukaan. Energiakaivon investointikulut ja kannattavuus eivät olleet tässä kohteessa järkeviä, joten päädyttiin varaajaan. Lisäksi kappelia ympäröivä hautausmaa-alue on maaperältään herkkää aluetta, joten energiakaivon pois jätöllä pyrittiin myös kunnioittamaan vainajia.

6.2 Päästöt

Hiilidioksidipäästöjä krematoriossa syntyy kahdella uunilla vuositasolla 1440 tuhkauksella 89 320 kgCO₂. Polttoainetta kuluu näille päästöille 28 800 litraa. Saman määrän tuhkauksia suoritettuna nesteytetyllä maakaasulla suoritettuna kuluttaisi se kaasua 27 144 kg ja hiilidioksidipäästöjä se tuottaisi 53 449 kgCO₂. (2.)

7 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tavoitteena oli arvioida saatavilla olevia hukkalämpöjä, ja kuinka niitä voitaisiin hyödyntää uudelleen mahdollisimman hyvin rakennuksen sisällä sekä toisen uunin investointikustannuksia suhteessa sen tuomaan hyötyyn. Laskennallisesti ei voida huomioida toisen uunin tuomaa hyötyä tuhkausten helpottamiseen. Viimeisimmän tiedon mukaan nykyinen uuni liitettäisiin savukaasujen puhdistusjärjestelmään myös, joten kahden uunin hyöty olisi heti käytettävissä.

Krematoriouunin tuottaman lämmön hyödyntäminen hautausmaa-alueella vähentää ostoenergian tarvetta. Tällöin tuhkausten yhteydessä syntyvä lämpö voidaan käyttää hyödyksi rakennuksessa itsessään sekä tulevaisuudessa myös laajemmin koko hautausmaa-alueella aluelämpöverkostona. Tällöin ostoenergian tarve pienenee ja hautausmaa-alue toimii mahdollisimman energiatehokkaasti.

Lämpöenergiaa syntyy uunin esilämmitysvaiheesta aina jäähtymiseen asti. Syntyneen lämpöenergian syöttö suoraan piipusta tai liuosjäähdyttimen kautta ulkoilmaan ei ole energiataloudellisesti kannattavaa. Syntyneen lämpöenergian käyttö rakennuksen lämmitysjärjestelmissä voi sisältää eettisiä haasteita, johtuen sen alkuperästä. Kyseisessä prosessissa syntyvästä energiasta on yli puolet polttoaineesta peräisin olevaa energiaa sekä toisaalta mahdollisuus energian järkevään uudelleenkäyttöön, ja sitä kautta tullessiin säätöihin ei pidä pois sulkea.

LÄHTEET

1. Rinne, Mika 2022. Krematoriot pullistelevat nyt vainajista – tässä syy. Iltalehti.fi 20.6.2022. Hakupäivä 27.6.2022. <https://www.iltalehti.fi/kotimaa/a/fc84bedc-033d-40a1-9ded-a73780344823>.
2. Sweco Finland Oy 2022–2023. Sisäinen lähde.
3. Museovirasto 2009. Valtakunnallisesti merkittävät rakennetut kulttuuriympäristöt RKY. Hakupäivä 1.7.2022. http://www.rky.fi/read/asp/r_default.aspx.
4. Forsström, Markus 2022. Myyntipäällikkö. Höganäs Borgestad Oy. Sähköpostikeskustelu 12.8.2022.
5. Suomen Hautausoiminnan keskusliitto Ry 2022. Tilastot. Hakupäivä 27.6.2022. <https://shk.fi/tilastot>.
6. Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen energiatehokkuudesta 1010/2017. Hakupäivä 22.2.2023. <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2017/20171010>.
7. Rakennuksen suunnittelu 2020. Energiatehokas koti. Hakupäivä 28.7.2022. https://www.energiatehokaskoti.fi/suunnittelu/rakennuksen_suunnittelu/lammoneristys.
8. Virta, Jari ja Pylsy, Petri 2011. Taloyhtiön Energiakirja. Kiinteistöalan Kustannus Oy
9. RT 07-11299. Rakennustieto Oy. Sisäilmastoluokitus 2018. Sisäympäristön tavoitearvot, suunnitteluohjeet ja tuotevaatimukset. Hakupäivä 28.7.2022. https://kortistot.rakennustieto.fi/kortit/RT%2007-11299?external_system=Juha&page=1&navref=Search. Vaatii lisenssin.

10. Heikkilä, Lauri 2018. Kymen krematorion lämmöntalteenoton suunnittelu. Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu. Energiatekniikan koulutus. Opinnäytetyö. Hakupäivä 28.6.2022. https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/151213/Heikkila_Lauri.pdf?sequence=1&isAllowed=y.
11. Sutinen, Markku 2023. Asiakkuuspäällikkö. Oulun Energia Oy. Sähköposti- ja puhelinkeskustelut 2023.
12. Pantsar, Reijo 2022–2023. Kehityspäällikkö. Oulun Energia Oy. Sähköpostikeskustelut 2022–2023.

Takuuliite A

Seuraavat yksilöidyt tiedot ovat takuuarvoja uusissa laitoksissa kohdemaassa:

SUOMI

Päivä	Tuhkaus lkm	Lämmit. aika: Min	Polttoaine kulutus/ Lämmitys: m ³ kaasua tai kg öljyä	Tuhkaus aika min	Polttoaine kulutus/ Tuhkaus: m ³ kaasua tai kg öljyä	Sähkön kulutus lämmityksen aikana kW/h	Sähkön kulutus tuhkauksen aikana kW/h
Ma	6	180	72	60 - 90	8,6-10,2	15	15-20
Ti	6	120	48	60 - 90	8,6-10,2	13	15-20
Ke	6	100	40	60 - 90	8,6-10,2	13	15-20
To	6	80	32	60 - 90	8,6-10,2	12	15-20
Pe	6	60	24	60 - 90	8,6-10,2	12	15-20
La							
Su							

Edellämainitut luvut pätevät edelläkuvattuihin tuhkausmääriin. Lukuihin ei sisälly mahdollista lämmitysvaiheen ja ensimmäisen tuhkauksen välistä odotusaikaa tai tuhkausten välisiä odotusaikoja. Laskelma on tehty tavanomaisille 120 kg puurakenteisille arkuille.

Keskikulutus oheisella käytötavalla:

Öljynkulutus: 17 kg/tuhkaus sisältäen lämmityksen käyttölämpötilaan.

Sähkönkulutus: 22 kWh/tuhkaus sisältäen lämmityksen käyttölämpötilaan.

ENERGIATASELASKELMA

LIITE 2/1

Nykytilanne										
Lämpöenergia kulutus (MWh)					huomioitu ilmanvaihdon LTO-lisäys	Lämmön tuotto (MWh)			Mahdollinen	Varastointiin jäävä
Kuukausi	2017	2018	2019	2020	Keskimääräinen kulutusarvio	Uuni 1. tuotto	Uuni 2. tuotto	Ylijäämä	huoltoalueen kulutus	energia
Tammi	51,7	51,9	53,2	45	40,36	35	35	29,64	46	-16
Helmi	47,9	56,3	48	42,5	38,94	35	35	31,06	42	-11
Maalis	46,2	52	44	43,9	37,22	35	35	32,78	46	-13
Huhti	35,1	31,1	28,6	33,8	25,72	35	35	44,28	25	19
Touko	21,9	10,2	19,7	20,9	14,54	35	35	55,46	17	38
Kesä	12,2	4,9	6,8	5,1	5,8	35	35	64,2	7	57
Heinä	4,8	3,8	5,7	5,2	3,9	35	35	66,1	6	60
Elo	7,9	2,7	5,7	7,2	4,7	35	35	65,3	6	59
Syys	15,9	12,4	17,1	17,1	12,5	35	35	57,5	14	44
Loka	30,2	30,8	35,4	30,3	25,34	35	35	44,66	30	15
Marras	38	30,4	42,6	41,1	30,42	35	35	39,58	37	3
Joulu	45,4	53,2	40,3	77,9	43,36	35	35	26,64	37	-10
Summa	357,2	339,7	347,1	370	282,8	420	420	557,2	313	244,2
Tuhkaosmäärien nousun vaikutus					2024					
vuosi	MWh/kk				huomioitu ilmanvaihdon LTO-lisäys	Lämmön tuotto (MWh)			Mahdollinen	Varastointiin jäävä
					Keskimääräinen kulutusarvio	Uuni 1. tuotto	Uuni 2. tuotto	Ylijäämä	huoltoalueen kulutus	energia
2024	36,8				40,36	36,8	36,8	33,1423	46	-13
2025	38,4				38,94	36,8	36,8	34,5623	42	-7
2026	40,0				37,22	36,8	36,8	36,2823	46	-10
2027	52,9				25,72	36,8	36,8	47,7823	25	23
2028	54,5				14,54	36,8	36,8	58,9623	17	42
2029	61,8				5,8	36,8	36,8	67,7023	7	61
2030	63,4				3,9	36,8	36,8	69,6023	6	64
2031	65,0				4,7	36,8	36,8	68,8023	6	63
2032	66,7				12,5	36,8	36,8	61,0023	14	47
2033	68,3				25,34	36,8	36,8	48,1623	30	18
2034	69,9				30,42	36,8	36,8	43,0823	37	6
2035	71,5				43,36	36,8	36,8	30,1423	37	-7
					282,8	441,014	441,014	599,228	313	286,228

ENERGIATASELASKELMA

LIITE 2/2

2025					
huomioitu ilmanvaihdon LTO-lisäys	Lämmön tuotto (MWh)			Mahdollinen	Varastointiin jäävä
Keskimääräinen kulutusarvio	Uuni 1. tuotto	Uuni 2. tuotto	Ylijäämä	huoltoalueen kulutus	energia
40,36	38,4	38,4	36,3966	46	-10
38,94	38,4	38,4	37,8166	42	-4
37,22	38,4	38,4	39,5366	46	-6
25,72	38,4	38,4	51,0366	25	26
14,54	38,4	38,4	62,2166	17	45
5,8	38,4	38,4	70,9566	7	64
3,9	38,4	38,4	72,8566	6	67
4,7	38,4	38,4	72,0566	6	66
12,5	38,4	38,4	64,2566	14	50
25,34	38,4	38,4	51,4166	30	21
30,42	38,4	38,4	46,3366	37	9
43,36	38,4	38,4	33,3966	37	-4
282,8	460,5393333	460,5393333	638,279	313	325,2786667
2026					
huomioitu ilmanvaihdon LTO-lisäys	Lämmön tuotto (MWh)			Mahdollinen	Varastointiin jäävä
Keskimääräinen kulutusarvio	Uuni 1. tuotto	Uuni 2. tuotto	Ylijäämä	huoltoalueen kulutus	energia
40,36	40,0	40,0	39,6508	46	-6
38,94	40,0	40,0	41,0708	42	-1
37,22	40,0	40,0	42,7908	46	-3
25,72	40,0	40,0	54,2908	25	29
14,54	40,0	40,0	65,4708	17	48
5,8	40,0	40,0	74,2108	7	67
3,9	40,0	40,0	76,1108	6	70
4,7	40,0	40,0	75,3108	6	69
12,5	40,0	40,0	67,5108	14	54
25,34	40,0	40,0	54,6708	30	25
30,42	40,0	40,0	49,5908	37	13
43,36	40,0	40,0	36,6508	37	0
282,8	480,0646667	480,0646667	677,329	313	364,3293333

ENERGIATASELASKELMA

LIITE 2/3

2027					
huomioitu ilmanvaihdon LTO-lisäys	Lämmön tuotto (MWh)			Mahdollinen	Varastointiin jäävä
Keskimääräinen kulutusarvio	Uuni 1. tuotto	Uuni 2. tuotto	Ylijäämä	huoltoalueen kulutus	energia
40,36	52,9	52,9	65,4357	46	19
38,94	52,9	52,9	66,8557	42	25
37,22	52,9	52,9	68,5757	46	23
25,72	52,9	52,9	80,0757	25	55
14,54	52,9	52,9	91,2557	17	74
5,8	52,9	52,9	99,9957	7	93
3,9	52,9	52,9	101,896	6	96
4,7	52,9	52,9	101,096	6	95
12,5	52,9	52,9	93,2957	14	79
25,34	52,9	52,9	80,4557	30	50
30,42	52,9	52,9	75,3757	37	38
43,36	52,9	52,9	62,4357	37	25
282,8	634,774	634,774	986,748	313	673,748
2028					
huomioitu ilmanvaihdon LTO-lisäys	Lämmön tuotto (MWh)			Mahdollinen	Varastointiin jäävä
Keskimääräinen kulutusarvio	Uuni 1. tuotto	Uuni 2. tuotto	Ylijäämä	huoltoalueen kulutus	energia
40,36	54,5	54,5	68,6899	46	23
38,94	54,5	54,5	70,1099	42	28
37,22	54,5	54,5	71,8299	46	26
25,72	54,5	54,5	83,3299	25	58
14,54	54,5	54,5	94,5099	17	78
5,8	54,5	54,5	103,25	7	96
3,9	54,5	54,5	105,15	6	99
4,7	54,5	54,5	104,35	6	98
12,5	54,5	54,5	96,5499	14	83
25,34	54,5	54,5	83,7099	30	54
30,42	54,5	54,5	78,6299	37	42
43,36	54,5	54,5	65,6899	37	29
282,8	654,2993333	654,2993333	1025,8	313	712,7986667

ENERGIATASELASKELMA

LIITE 2/4

2029					
huomioitu ilmanvaihdon LTO-lisäys	Lämmön tuotto (MWh)			Mahdollinen	Varastointiin jäävä
Keskimääräinen kulutusarvio	Uuni 1. tuotto	Uuni 2. tuotto	Ylijäämä	huoltoalueen kulutus	energia
40,36	61,8	61,8	83,2094	46	37
38,94	61,8	61,8	84,6294	42	43
37,22	61,8	61,8	86,3494	46	40
25,72	61,8	61,8	97,8494	25	73
14,54	61,8	61,8	109,029	17	92
5,8	61,8	61,8	117,769	7	111
3,9	61,8	61,8	119,669	6	114
4,7	61,8	61,8	118,869	6	113
12,5	61,8	61,8	111,069	14	97
25,34	61,8	61,8	98,2294	30	68
30,42	61,8	61,8	93,1494	37	56
43,36	61,8	61,8	80,2094	37	43
282,8	741,4166667	741,4166667	1200,03	313	887,0333333
2030					
huomioitu ilmanvaihdon LTO-lisäys	Lämmön tuotto (MWh)			Mahdollinen	Varastointiin jäävä
Keskimääräinen kulutusarvio	Uuni 1. tuotto	Uuni 2. tuotto	Ylijäämä	huoltoalueen kulutus	energia
40,36	63,4	63,4	86,4637	46	40
38,94	63,4	63,4	87,8837	42	46
37,22	63,4	63,4	89,6037	46	44
25,72	63,4	63,4	101,104	25	76
14,54	63,4	63,4	112,284	17	95
5,8	63,4	63,4	121,024	7	114
3,9	63,4	63,4	122,924	6	117
4,7	63,4	63,4	122,124	6	116
12,5	63,4	63,4	114,324	14	100
25,34	63,4	63,4	101,484	30	71
30,42	63,4	63,4	96,4037	37	59
43,36	63,4	63,4	83,4637	37	46
282,8	760,942	760,942	1239,08	313	926,084

ENERGIATASELASKELMA

LIITE 2/5

2031					
huomioitu ilmanvaihdon LTO-lisäys	Lämmön tuotto (MWh)			Mahdollinen	Varastointiin jäävä
Keskimääräinen kulutusarvio	Uuni 1. tuotto	Uuni 2. tuotto	Ylijäämä	huoltoalueen kulutus	energia
40,36	65,0	65,0	89,7179	46	44
38,94	65,0	65,0	91,1379	42	49
37,22	65,0	65,0	92,8579	46	47
25,72	65,0	65,0	104,358	25	79
14,54	65,0	65,0	115,538	17	99
5,8	65,0	65,0	124,278	7	117
3,9	65,0	65,0	126,178	6	120
4,7	65,0	65,0	125,378	6	119
12,5	65,0	65,0	117,578	14	104
25,34	65,0	65,0	104,738	30	75
30,42	65,0	65,0	99,6579	37	63
43,36	65,0	65,0	86,7179	37	50
282,8	780,4673333	780,4673333	1278,13	313	965,1346667
2032					
huomioitu ilmanvaihdon LTO-lisäys	Lämmön tuotto (MWh)			Mahdollinen	Varastointiin jäävä
Keskimääräinen kulutusarvio	Uuni 1. tuotto	Uuni 2. tuotto	Ylijäämä	huoltoalueen kulutus	energia
40,36	66,7	66,7	92,9721	46	47
38,94	66,7	66,7	94,3921	42	52
37,22	66,7	66,7	96,1121	46	50
25,72	66,7	66,7	107,612	25	83
14,54	66,7	66,7	118,792	17	102
5,8	66,7	66,7	127,532	7	121
3,9	66,7	66,7	129,432	6	123
4,7	66,7	66,7	128,632	6	123
12,5	66,7	66,7	120,832	14	107
25,34	66,7	66,7	107,992	30	78
30,42	66,7	66,7	102,912	37	66
43,36	66,7	66,7	89,9721	37	53
282,8	799,9926667	799,9926667	1317,19	313	1004,185333

ENERGIATASELASKELMA

LIITE 2/6

2033					
huomioitu ilmanvaihdon LTO-lisäys	Lämmön tuotto (MWh)			Mahdollinen	Varastointiin jäävä
Keskimääräinen kulutusarvio	Uuni 1. tuotto	Uuni 2. tuotto	Ylijäämä	huoltoalueen kulutus	energia
40,36	68,3	68,3	96,2263	46	50
38,94	68,3	68,3	97,6463	42	56
37,22	68,3	68,3	99,3663	46	53
25,72	68,3	68,3	110,866	25	86
14,54	68,3	68,3	122,046	17	105
5,8	68,3	68,3	130,786	7	124
3,9	68,3	68,3	132,686	6	127
4,7	68,3	68,3	131,886	6	126
12,5	68,3	68,3	124,086	14	110
25,34	68,3	68,3	111,246	30	81
30,42	68,3	68,3	106,166	37	69
43,36	68,3	68,3	93,2263	37	56
282,8	819,518	819,518	1356,24	313	1043,236
2034					
huomioitu ilmanvaihdon LTO-lisäys	Lämmön tuotto (MWh)			Mahdollinen	Varastointiin jäävä
Keskimääräinen kulutusarvio	Uuni 1. tuotto	Uuni 2. tuotto	Ylijäämä	huoltoalueen kulutus	energia
40,36	69,9	69,9	99,4806	46	53
38,94	69,9	69,9	100,901	42	59
37,22	69,9	69,9	102,621	46	57
25,72	69,9	69,9	114,121	25	89
14,54	69,9	69,9	125,301	17	108
5,8	69,9	69,9	134,041	7	127
3,9	69,9	69,9	135,941	6	130
4,7	69,9	69,9	135,141	6	129
12,5	69,9	69,9	127,341	14	113
25,34	69,9	69,9	114,501	30	85
30,42	69,9	69,9	109,421	37	72
43,36	69,9	69,9	96,4806	37	59
282,8	839,0433333	839,0433333	1395,29	313	1082,286667

ENERGIATASELASKELMA

LIITE 2/7

2035					
huomioitu ilmanvaihdon LTO-lisäys	Lämmön tuotto (MWh)			Mahdollinen	Varastointiin jäävä
Keskimääräinen kulutusarvio	Uuni 1. tuotto	Uuni 2. tuotto	Ylijäämä	huoltoalueen kulutus	energia
40,36	71,5	71,5	102,735	46	57
38,94	71,5	71,5	104,155	42	62
37,22	71,5	71,5	105,875	46	60
25,72	71,5	71,5	117,375	25	92
14,54	71,5	71,5	128,555	17	112
5,8	71,5	71,5	137,295	7	130
3,9	71,5	71,5	139,195	6	133
4,7	71,5	71,5	138,395	6	132
12,5	71,5	71,5	130,595	14	117
25,34	71,5	71,5	117,755	30	88
30,42	71,5	71,5	112,675	37	76
43,36	71,5	71,5	99,7348	37	63
282,8	858,5686667	858,5686667	1434,34	313	1121,337333