

Anu Juvani

KOHTI TALOTEKNISESTI ENERGIAEHOVAKKAAMPAA SAIRAALAA

KOHTI TALOTEKNISESTI ENERGIATEHOKKAAMPAA SAIRAALAA

Anu Juvani
Opinnäytetyö
Syksy 2019
Talotekniikan tutkinto-ohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Talotekniikan tutkinto-ohjelma, LVI-suunnittelu

Tekijä: Anu Juvani
Opinnäytetyön nimi: Kohti taloteknisesti energiatehokkaampaa sairaalaa
Työn ohjaaja: Tomi Jäävirta
Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Syksy 2019
Sivumäärä: 37 + 8

Opinnäytetyö on tehty Ramboll Finlandin ohjauksessa Suomen Sairaalatekniikan yhdistys ry:n LVI-jaokselle. Opinnäytetyön tarkoituksena on tarkastella uusiutuvien energioiden hyödyntämistä modernissa sairaalassa.

Opinnäytetyön alussa tarkastellaan sairaalan energiankulutusta ja energian alkuperiä. Esimerkkikohteen avulla havainnoidaan missä energiaa sairaalassa kuluu ja missä kierrätettävää hukkaenergiaa syntyy. Laskennallisten esimerkkien avulla tutkitaan, millaisia määriä energiaa voitaisiin kierrättää ja millaisia säästöjä niistä syntyisi rahallisesti ja päästöllisesti. Lisäksi lasketaan kierrätysratkaisuille taloudellinen kannattavuus ja takaisinmaksuaika.

Opinnäytetyössä havaitaan, että sairaalan jatkuvat toiminnot tuottavat runsaasti hyödynnettävää hukkalämpöä kierrätettäväksi. Ympärivuotinen jäähdytystarve, höyryntuotanto ja paineilma luovat hyödynnettävää lauhdelämpöä runsain määrin. Jätevedessä poistuu suuri määrä lämpöenergiaa ja lämmöntalteenotolla se saadaan kierrätettyä uudelleen käytettäväksi. Energian tuotantotapojen muuttaminen aurinko- ja maalämpöön laskevat päästöt, mutta ovat investointikustannuksiltaan suuria. CO₂-päästöissä saadaan hyvin voittoa, mutta taloudellisesti energian kierrättäminen maksaa itsensä nopeammin takaisin kuin aurinko- tai maalämpö.

Työ toteutettiin teoreettisena tutkimuksena, sillä esimerkkikohteena toimiva sairaala on rakennusvaiheessa ja mittaustuloksia siitä ei ole. Taustatiedoksi löytyi esimerkkikohteen suunnittelu- ja mitoitussasiakirjoja sekä sairaanhoitopiirien julkaisemia ympäristöraportteja.

Asiasanat: energiatehokkuus, energian kierrätys, lämmöntalteenotto, jäteveden lämmöntalteenotto, lauhdelämpö, aurinkolämpö, maalämpö, hiilineutraali

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Building engineering, HVAC design

Author: Anu Juvani

Title of thesis: Towards a more energy efficient hospital from HVAC point of view

Supervisors: Tomi Jäävirta

Term and year when the thesis was submitted: Fall 2019

Number of pages: 37 + 8

This thesis was made for HVAC-section of the Finnish Association of Hospital Engineering under the guidance of Ramboll Finland. Purpose of this thesis was to study the usage of renewable energy in modern hospitals.

In the beginning of this thesis, it is studied how hospital energy consumption is divided and where the used energy is consisting. It is observed with an example which building services uses energy and where does the recyclable energy is forming. With computational examples it is studied how much energy could be recycled and what kind of money and CO₂-emission savings would be achieved with these actions.

The thesis reveals that the hospital's continuous operations produce a lot of usable waste heat for recycling. Year-round cooling demand, steam production and compressed air generate lots of condensate heat for energy recycling. Large amount of heat energy exits with waste water and with heat recovery it can be recycled. Changing energy production methods to solar and geothermal heat will reduce emissions but will have high investment costs. CO₂ emissions are very profitable, but economically recycling of energy pays for itself faster than solar or geothermal heat.

This study was made purely theoretical as the example hospital was under building phase and measurements were not available. As a background data some planning and dimensioning documents and environment reports from health care districts.

Keywords: energy efficient, energy recycling, heat recovery, waste water heat recovery, condensation heat recovery, solar heating, geothermal heating, carbon neutral

ALKUSANAT

Kiitokset ohjaava opettaja Tomi Jäävirta, kielenohjaaja Pirjo Partanen, asiantuntijat Rambollilla ja opiskelutoverini Marja ja Tiina tuesta, jonka sain teiltä tämän opinnäytetyön aikana.

Suurin kiitos perheelleni, joka jaksoi tukea minua opinnoissani.

Kempeleessä 13.12.2019

Anu Juvani

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ.....	3
ABSTRACT.....	4
ALKUSANAT	5
SISÄLLYS.....	6
SANASTOA	7
1 JOHDANTO	8
2 SAIRAALAN ENERGIANKULUTUS	9
2.1 Energia.....	9
2.1.1 Kaukolämpö.....	10
2.1.2 Sähkö	10
2.1.3 Jäähdytys	11
2.1.4 Maakaasu	12
2.2 Esimerkkikohteen suunnitteluarvot.....	12
2.3 Hukkaenergianlähteet sairaalassa	13
2.3.1 Kuvantamistilat	14
2.3.2 Puhdistustilat	14
2.3.3 Paineilma	16
2.3.4 Muut tilat ja toiminnot.....	16
3 KOHTI ENERGIAEHOVAKKAAMPAA SAIRAALAA	18
3.1 Kuorman vähentäminen	19
3.2 Lämmöntalteenotto.....	21
3.2.1 Poistoilmasta	21
3.2.2 Jätevedestä	22
3.2.3 Lauhdelämmöstä	25
3.3 Uusituvan energian tuotantotavat.....	28
3.3.1 Aurinkoenergia ja -lämpö.....	29
3.3.2 Geoterminen lämpö, maalämpö ja -kylmä	30
4 SÄÄSTÖPOTENTIAALIN VAIKUTUS	32
4.1 Vaikutukset CO ₂ -päästöihin	32
4.2 Kustannushyötyvertailu	33
4.3 Säästöjen seuranta.....	34
5 YHTEENVETO	36
LÄHTEET.....	38
LIITTEET	41
LIITTEET	42

SANASTOA

CO ₂	hiilen ja hapen yhdistelmä, joka on merkittävä ihmisen toiminnan tuottama kasvihuonekaasu
COP	<i>coefficient of performance</i> , hyötysuhde, joka kertoo kuinka paljon lämpötehoa syntyy verrattuna ottotehoon
fossiilinen polttoaine	munaisten eliöiden fossilisoituessa syntynyttä polttoainetta, esimerkiksi öljy, kivihiili, maakaasu ja turve
gCO ₂ /kWh	vapautunut hiilidioksidi grammoina per kilowattitunti
hiilineutraali rakennus	rakennus, joka ei muuta ilmakehän CO ₂ -pitoisuutta
LTO	lämmöntalteenotto
MRI	magneettikuvantamislaitte

1 JOHDANTO

Euroopan unioni hyväksyi joulukuussa 2008 ilmasto- ja energiatavoitteet, jotka ulottuvat vuoteen 2020. Tavoitteissa listattiin kasviuonepäästöjen vähentäminen ja uusiutuvien energianlähteiden osuuden nostaminen 20 %:lla vuoden 1990 tasoihin verrattuna. Suomen tavoite on nostaa uusiutuvien energianlähteiden käytön taso 38 %:iin kokonaisenergiankulutuksesta. Vuonna 2014 Eurooppa-neuvosto vahvisti uudet tavoitteet vuodelle 2030. Uusiutuvan energian osuutta lisätään ja energiatehokkuutta parannetaan 27 %:lla vuoden 1990 tasoihin nähden. (1, s. 2–3.)

Valtioneuvoston julkaisemassa hallituksen tavoitteessa listataan, että Suomella on tavoitteena olla hiilineutraali vuonna 2035. Näkyvimpinä keinoina pyrkiä kohti hiilineutraalia yhteiskuntaa ovat päästövähennykset ja hiilinielujen eli metsien hyvinvoinnin ja määrän lisääminen. Lisäksi julkaisussa listataan, että Suomella on pyrkimys olla ensimmäinen fossiilisen polttoaineen käytöstä luopunut hyvinvointiyhteiskunta maailmassa. Havainnollistavia keinoja fossiilivapaudelle on listattu lähinnä energiatukitoimenpiteinä, joiden toivotaan ohjaavan yhteiskunnassa toteutettavia ratkaisuja ja hankkeita ympäristöystävällisemmiksi. (2.)

Hiilineutraali rakennus määritellään rakennukseksi, joka ei muuta ilmakehän CO₂-päästöjä. Rakennuksen tuottamia CO₂-päästöjä joko hyvitetään tai korvataan. Korvaaminen voi tapahtua esimerkiksi tuottamalla saman verran uusiutuvaa energiaa jakeluverkkoon, kuin mitä on käyttänyt, tai ostamalla CO₂-päästöjä hyvittäviä hiilinielunlisäysohjelmia.

Sairaala on rakennus, jossa suuret määrät energiaa käytetään jatkuvasti, vuoden jokaisena päivänä ja tuntina. Käytetty energia on suoraan verrannollinen syntyneisiin CO₂-päästöihin ja osastoenergian määrä kustannuksiin. Energiatehokas sairaala on lähempänä hiilineutraalia rakennusta ja energiatehokkuuteen vaikuttavat käytetyt energiamuodot. Ympäristöministeriö on määritellyt eri energiamuodoille kertoimet, joiden avulla ohjataan valitsemaan ilmastoystävällisempiä energiamuotoja.

Opinnäytetyön tarkoituksena on tarkastella modernin sairaalan energiatehokkuutta, uusiutuvien energianlähteiden käyttöä sekä hiilidioksidipäästöjä taloteknisten ratkaisujen näkökulmasta. Lisäksi pohditaan erilaisten energiankierrätysmahdollisuuksien soveltuvuutta kohteeseen ja tarkastellaan, mitä säästöt tarkoittaisivat talouden sekä CO₂-päästöjen kannalta. Opinnäytetyössä käytetään malliesimerkinä sairaalarakennusta, joka on opinnäytetyötä kirjoitettaessa vielä rakennusvaiheessa.

2 SAIRAALAN ENERGIANKULUTUS

Sairaala on rakennus, joka toimii vuoden jokaisena päivänä ja jonka energiansaannin täytyy olla luotettavaa ja tasaista. Sairaaloiden talotekniset vaatimukset poikkeavat tavallisista toimistorakennuksista esimerkiksi ilmamäärien, paine-erojen sekä puhtauden osalta. Lisäksi olosuhteiden on pysyttävä stabiileina ja miellyttävinä niin potilaille, työntekijöille kuin laitteistoillekin ympäri vuorokauden. Tämä tarkoittaa sitä, että energiankulutus on jatkuvaa ja energiaa käytetään suurina määriä. Taulukossa 1 on esitetty muutaman sairaalan mitatut energiankulutuslukemat sekä esimerkkikohteen arvioidut kulutuslukemat yhdelle kalenterivuodelle.

TAULUKKO 1. Sairaaloiden energiankulutusjakaumia vuositasolla

Sairaala	Energiankulutus [MWh/a]			Kustannukset [M€]	Rakennustilavuus [r-m ³]
	Sähkö	Lämmitys	Jäähdytys		
Puijon sairaala (2017) ^(a)	33 873	29 883	sis. sähköön	2,75 ^(*)	766 409
Vaasan Keskussairaala (2017) ^(b)	16 072	24 836	-	2,30	492 608
TYKS T-sairaala (2017) ^(c)	16 731	22 375	-	2,75	126 800
Esimerkkikohteen	12 000	14 000	1000	1,67	330 000

Lähde: ^(a) 3, s. 14-15. ^(b) 4, s. 12. ^(c) 5, s. 35. ^(*) ei sisällä lämmönkulutusta

Käyttöveden lämmityksen osuutta ei ole taulukossa 1 listattu erikseen, sillä se sisältyy lämmitysenergiankustannuksiin ja -kulutuksiin.

2.1 Energia

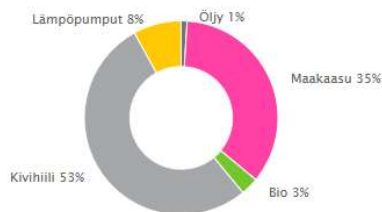
Rakennuksen energiankulutukseen LVI-tekniikan kannalta vaikuttavat suurilta osin ilmanvaihto, lämpimän käyttöveden valmistus, tilojen lämmitys ja jäähdytys. Energianlähteinä on perinteisesti toiminut kaukolämpö ja sähkö, joiden alkuperänä voi olla niin uusiutuvaa kuin fossiilistakin polttoainetta. Energian ilmastoystävällisyyttä voidaan arvioida sen CO₂-päästökertoimella.

2.1.1 Kaukolämpö

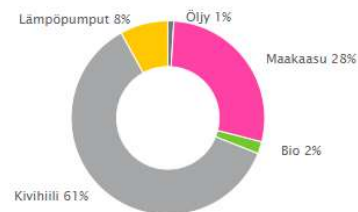
Kaukolämpö on Suomessa yleisin rakennusten lämmitysmuoto, ja se voidaan tuottaa monella eri tavalla. Kuvassa 1 on Helenin tarjoaman kaukolämmön alkuperä vuosina 2017 - 2018. Kuvista voidaan havaita, että prosentuaalisesti iso osa kaukolämmön polttoaineista on fossiilisia polttoaineita, joiden osuutta pyritään vähentämään tulevina vuosina. Pääkaupunkiseudulla kaukolämpöä toimittava Helen ilmoittaa kaukolämpönsä hiilidioksidin ominaispäästökseksi 158 gCO₂/kWh vuonna 2018. Kaukolämmön hiilidioksidipäästöjen trendi on ollut laskeva. (6.)

Kaukolämmön alkuperä

2018



2017



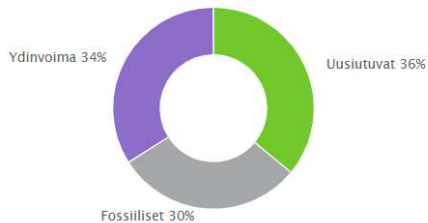
KUVA 1. Helenin kaukolämmön alkuperä (6)

2.1.2 Sähkö

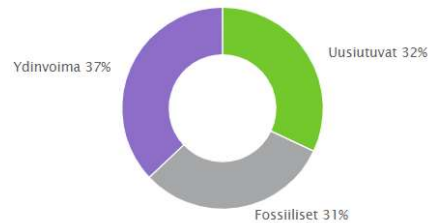
Sähköenergiasta suuri osuus on laitteiden ja valaistuksen käyttämää, mutta LVI-tekniikka käyttää kulutetusta sähköenergiasta kokemukseräisen arvion perusteella noin 15 - 20 %. Kuvassa 2 on esitetty Helenin myymän sähkön alkuperä vuosina 2017 – 2018, ja siitä voidaan havaita, että uusiutuvien polttoaineiden osuus on kasvanut vuoden takaisesta ja on jo aavistuksen suurempi kuin fossiilisten polttoaineiden osuus. Helen ilmoittaa sähköntuotannon hiilidioksidin ominaispäästökseksi 191 gCO₂/kWh. (6.)

Myydyn sähkön alkuperä

2018



2017



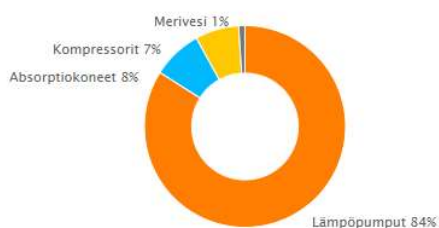
KUVA 2. Helenin sähkön alkuperä (6)

2.1.3 Jäähdytys

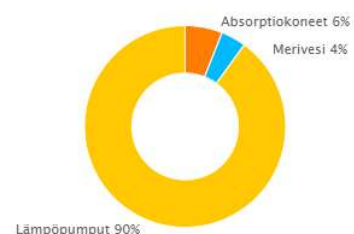
Joillain alueilla Suomea on jo saatavilla kaukolämpöä vastaava jäähdytysratkaisu. Kaukolämpöverkoston kaltaisessa verkostossa liikkuu kylmä vesi. Tätä tuotetta kutsutaan joko kaukojäähdytykseksi tai kaukokylmäksi. Kuvassa 3 on esitetty Helenin kaukojäähdytyksen alkuperä vuosina 2017 - 2018. Helen kertoo kaukojäähdytyksen hiilidioksidin ominaispäästön olleen 72 gCO₂/kWh vuonna 2018. Kaukojäähdytyksen etuna voidaan pitää sitä, että sen avulla tuotettu jäähdytys ei juurikaan kuormita sähköverkkoa, toisin kuin sähköllä tuotettu jäähdytys, ja että sen hiilijalanjälki on pienempi verrattuna sähkön avulla tuotettuun jäähdytykseen. (6.)

Kaukojäähdytyksen alkuperä

2018



2017



KUVA 3. Helenin kaukojäähdytyksen alkuperä (6)

2.1.4 Maakaasu

Maakaasua käytetään teollisuuden prosesseissa, ja sairaaloissa se on yleinen höyryntuotannon käyttöenergia. Suuri osa Suomessa käytetystä maakaasusta kuljetetaan siirtoputkistoa pitkin Venäjältä. Maakaasu on puhtain fossiilista polttoaineista, ja Tilastokeskuksen ilmoittama CO₂-päästökerroin sille on 55,3 gCO₂/kWh. (7)

2.2 Esimerkkikohteen suunnitteluarvot

Opinnäytetyössä lasketut esimerkit on tarkasteltu esimerkkikohteen energiakulutuksen avulla. Taulukossa 2 on esitetty laskemiseen käytettyjä arvoja. Arvot voidaan laskea esimerkiksi Riuska-työkalulla. Tässä käytetyt arvot on suhteutettu olemassa olevaa hanketta, esimerkkikohdetta, vastaviksi ja niitä on käytetty avuksi laskettaessa syntyviä säästöpotentiaaleja. Energian hinnat on pyöristetty alueella vallitsevan hintatason mukaisiksi.

TAULUKKO 2. Esimerkkikohteen lähtötietoarvoja

Suure	Määrä	Yksikkö
Rakennuksen pinta-ala	71 000	m ²
Rakennuksen tilavuus	330 000	r-m ³
Tilojen lämmitystehon tarve	30	kWh/m ² /vuosi
Ilmanvaihdon lämmitystehon tarve	110	kWh/m ² /vuosi
Jäähdytystehon tarve	15	kWh/m ² /vuosi
Ilmamäärä	170 000	m ³ /s
Lämpimän käyttöveden lämmitystehon tarve	30	kWh/m ² /vuosi
Lämpimän käyttöveden määrä	0,52	m ³ /m ² /vuosi
Jäteveden määrä	0,20	m ³ /r-m ³ /vuosi
Höyryntuotannon teho	0,1	MWh/m ² /vuosi
Sähköenergian hinta (alv 0%)	90	€/MWh
Kaukolämmön hinta (alv 0%)	40	€/MWh
Kaukokylmän hinta (alv 0%)	30	€/MWh
Maakaasun hinta (alv 0%)	25	€/MWh

Esimerkkikohteen tilojen, ilmanvaihdon ja lämpimän käyttöveden valmistus toteutetaan kaukolämmöllä ja jäähdytys kaukojäähdytyksellä. Sähköä kuluttavat esimerkiksi ilmanvaihtokoneet ja erilaiset pumput. Sairaalan höyryntuotanto toteutetaan maakaasulla.

2.3 Hukkaenergianlähteet sairaalassa

Sairaalassa hukkalämpöä ja -energiaa syntyy erilaisten sairaalalle ominaisten laitteiden ja prosessien myötä. Osa laitteista on käytössä ympäri vuorokauden, ja pelkkä valmiustilakin tuottaa valtavan lämpökuorman. Laitteiden jäähdytyksen myötä syntyy valtava määrä lauhdelämpöä. Hukkalämpöä voidaan kerätä talteen myös muiden sairaaloille ominaisista prosesseista.

2.3.1 Kuvantamistilat

Sairaalan kuvantamistiloihin lukeutuvat esimerkiksi varjoaine-, röntgen- ja magneettikuvantamisen tilat. Kuvantamistiloissa olevat laitteet tuottavat suuria lämpökuormia ja ovat yksi suurimpia jäähdytystehontarpeen tekijöistä sairaalassa. Yleisesti magneettikuvauslaitteiden lämpökuormat liikkuvat kymmenissä kilowateissa, jopa niiden ollessa valmiustilassa. Esimerkiksi Siemens Healthineers ilmoittaa MRI-laitteelleen Magnetom Altealle (kuva 4) lämpökuormaksi valmiustilassa 8,2 kW ja kuvantamistilassa 20,2 kW. (8, s. 6.)



KUVA 4. Magneettikuvauslaite (8, s. 1)

Kuvantamistilojen käyttöaste on suuri, sillä kuvantamisen avulla saadaan arvokasta tietoa erilaisissa kiireellistä tutkimusta vaativissa tilanteissa. Tässä opinnäytetyössä oletetaan, että laitteiden ajallinen kuormitus on 100 %, jolloin tilojen jäähdytystarve on jatkuvaa.

2.3.2 Puhdistustilat

Sairaalan puhtaudesta ja hygieniasta pitää huolen erilaiset pesu- ja desinfiointitoiminnot sekä laitehuolto. Nämä toiminnot on saatettu keskittää yhteen paikkaan tai sijoittaa lähelle puhdistettavia ja huollettavia välineitä. Puhdistusprosesseissa käytetään paljon kuumaa vettä sekä jopa +135 °C:n höyryä.

Yksi maailman johtavia steriilien puhdistuslaitteistojen valmistaja sveitsiläinen Belimed valmistaa sairaaloissa käytettäviä sänkyepuskoneita. Malli WD750 (kuva 5) tuottaa lämpöä noin kymmenen

kilowattia, käyttää pesun aikana kymmeniä litroja esilämmitettyä vettä sekä höyryä ja tuottaa todella kuumaa kondenssi- ja jätevettä kymmeniä litroja. (9, linkit Vaunupesukoneet -> Belimed WD 750.)



KUVA 5. Belimed WD750 vaunupesukone (9)

Sairaaloiden välinehuollon vastuulla on puhdistaa ja sterilisoida suuret määrät instrumentteja päivittäin. Puhdistuksessa käytetään erilaisia autoklaaveja, höyrysterilisaattoreita ja pesukoneita. Esimerkiksi kuvassa 6 oleva Franken valmistama Deko 2000D -höyrylämmiteinen pesu- ja desinfiointikone kuluttaa yhden pesun aikana noin 70 litraa vettä ja useita kiloja höyryä sekä luovuttaa tilaan lämpöä satoja watteja. (9, linkit Instrumenttien pesu- ja desinfiointikoneet -> DEKO 2000.)

Näitä puhdistuslaitteita varten sairaaloissa on höyrylaitos, jonka tuottama kuuma höyry siirretään putkistoja pitkin välinehuollon tiloihin. Höyryjärjestelmän lauhteenpoiston jälkeen järjestelmästä poistettavaa kuumaa höyryä kutsutaan hönkähöyryksi.



KUVA 6. Franke DEKO 2000 pesu- ja desinfiointikone (9)

2.3.3 Paineilma

Sairaalalle yksi erityinen tarve on paineilma. Paineilmaa käytetään sairaalassa lukuisissa tiloissa ja toiminnoissa. Sen keskeytymätön saanti ympäri vuorokauden leikkaussaleihin, hengityskoneisiin ja potilashuoneisiin on äärimmäisen tärkeää. Paineilmaa käytetään lisäksi myös sairaalan laitehuollon puolella laitteiden huoltoon ja testaamiseen. Paineilmaa tuotetaan paineilmakompressorilla, jota nestelauhdutteisena voidaan hyödyntää lauhdelämmön lähteenä.

2.3.4 Muut tilat ja toiminnot

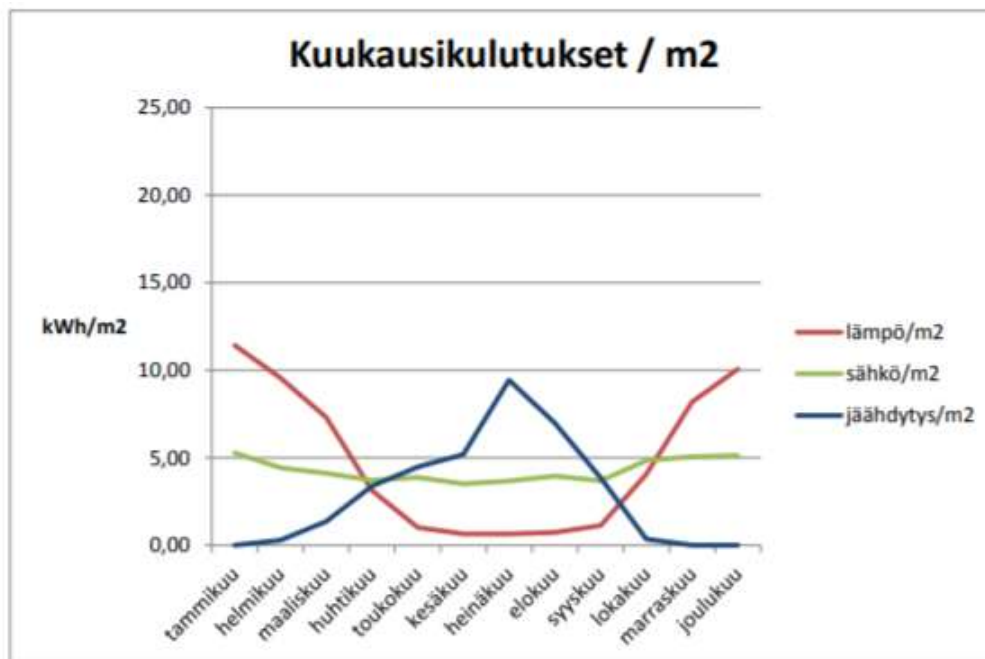
Sairaalalle ominaista on myös tilat, joiden olosuhteiden ylläpito vaatii kuivatusta, kostutusta tai erityistä puhtautta. Tällaisia tiloja ovat muun muassa leikkaussalit ja lääkevarastot. Näissä tiloissa ei synny juurikaan hukkalämpöä, mutta ne vaikuttavat höyryntuotto-, jäähdytys- ja lämmitystarpeisiin ympäri vuoden.

Sairaalassa on muitakin tiloja, joissa lämpökuormat ovat suuria. Tällaisia tiloja ovat muun muassa serverihuoneet, talotekniikalle varatut huoneet ja muut tekniset tilat. Myös nämä tilat vaativat ympärivuotista jäähdytystä. Lisäksi niistä poistettava lämmin ilma hyödynnetään ilmanvaihdon lämmöntalteenotossa.

3 KOHTI ENERGIATEHOKKAAMPAA SAIRAALAA

Sairaalarakennuksen käyttämä energia voidaan joko ostaa, sitä voidaan tuottaa itse tai se voidaan kierrättää taloteknisistä järjestelmistä. Sairaalan energiankulutusta tarkasteltaessa havaitaan, että poistoilmassa ja jätevedessä siirtyy hukkalämpöä suuria määriä pois rakennuksesta. Lisäksi ympärivuotisen jäähdytyksen, paineilman ja höyryn tuotannon sivutuotteina syntyy hyödynnettävää lämpöenergiaa. Näiden hukkaenergioiden kierrättäminen tekee sairaalasta energiatehokkaamman ja täten myös vähäpäästöisemmän rakennuksen.

Kuvassa 7 on havainnollistettu eri järjestelmien energian kuukausikulutuksia vuonna 2012 valmistuneessa toimistorakennuksessa. Sairaalarakennus poikkeaa toimistorakennuksesta siten, että jäähdytystarvetta on ympärivuotisesti eikä jäähdytyksen kulutus putoa täysin noltaan keskellä talveakaan.



KUVA 7. Toimistorakennuksen kuukausikulutukset (10, s. 10)

Lämmitykseen käytettävän energian määrää voidaan arvioida laskukaavojen avulla. Käyttöveden lämmittämiseen tarvittava energia Q [kWh] voidaan laskea kaavalla 1.

$$Q = \frac{\rho * c_p * V * (t_2 - t_1)}{3600} \quad \text{KAAVA 1.}$$

Ilman lämmittämiseen tarvittava energia Q [kWh] saadaan selville kaavalla 2.

$$Q = \frac{\rho * c_p * q * (t_2 - t_1)}{3600} \quad \text{KAAVA 2.}$$

missä ρ on aineen tiheys [kg/m³],

c_p on aineen ominaislämpökapasiteetti [kJ/°C],

V on veden tilavuus [m³],

q on ilmavirta [m³/s],

t_2 on aineen lämpötila lämmityksen jälkeen ja

t_1 on aineen lämpötila ennen lämmitystä.

Tehon kaavoja hyväksikäyttäen voidaan todeta, että veden lämmittäminen 1 °C:lla vie noin 1,167 kWh/m³ ja ilman lämmittäminen 1 °C:lla vie noin 1,2 kWh/m³ energiaa.

Tiedettäessä taloteknisen laitteen sähköverkosta ottama teho P [kW], voidaan laskea laitteen kuluttama energia käyttäen kaavaa 3.

$$Q = P * t \quad \text{KAAVA 3.}$$

missä P on laitteen ottoteho [kW]

ja t on laitteen käyttöaika tarkasteltavana ajanjaksona [h].

Lämpöenergian hinta saadaan selville, kun tiedetään paljonko energian hinta on MWh kohden ja mikä laitteen tai prosessin käyttöaika tarkasteltavalla jaksolla on. Energiateollisuuden mukaan sähkön keskihinta vuonna 2018 oli 46,80 €/MWh (11, linkit Sähkötilastot -> Energiavuosi 2018 – Sähkö) ja kaukolämmön 81,38 €/MWh. (11, linkit Kaukolämpötilastot -> Energiavuosi 2018 – Kaukolämpö)

3.1 Kuorman vähentäminen

Sisäilmastoluokitus 2018 määrittelee sisäilman tavoitetasot ja niille lämpötilarajat. S1-luokitellun sisäilmaston operatiivisen lämpötilan alaraja lämmityskaudella on 20 °C ja lämmityskauden ulkopuolinen yläraja on 27 °C. (12, s. 6.) Lämmityskauden pituus Etelä-Suomessa on noin 250 vuorokautta. (13, s. 16)

Osaan rakennuksen jäähdytystehontarpeesta voidaan vaikuttaa ulkoisilla tekijöillä. Erilaiset ulkoiset aurinkosuojaukset ja läheisten rakennusten varjostukset laskivat kesäaikaista jäähdytystarvetta toimistorakennuksessa jopa 85 %. (10, s. 11.)

Nykyiset rakentamistavat, kuten suuret ikkunat ja tummat julkisivuvärit lisäävät auringon säteilyä aiheuttamaa lämmön vaikutusta rakennuksissa. Lämmityskauden ulkopuolella rakennuksen jäähdytystehontarpeeseen vaikuttavat auringon säteily, ulkoilman lämpötila sekä suhteellinen kosteus. Suurin tekijä lämmitys- ja jäähdytystarpeeseen on ulkoilman lämpötila.

Pienentämällä lämmityskauden aikana sisänpuhallusilman lämpötilaa 0,5 °C:lla saadaan lasketua kaavan 2 avulla vuotuisesti säästöksi noin 3600 kWh/m³. Rahallinen säästö kaukolämmön energiankulutuksessa, hinnan ollessa 90 €/MWh, olisi vuodessa noin 145 €/m³.

Sairaalatasolla ilmanvaihtomäärät ovat isoja, ja esimerkkitilanteessa ilmamääräksi on määritelty 170 000 m³/s. Koska sairaalarakennuksen ilmanvaihtoa ei voi erilaisten painesuhteiden ja ympäri- vuorokautisen käytön takia juurikaan vähentää, voi kuormaa pienentää esimerkiksi lämpötilan sää- tämisellä. Tällaisen ilmamäärän lämmityksen tarkasteleminen 0,5 °C alaspäin säästäisi lämmitys- energiassa yli 600 MWh:n edestä lämmitysenergiaa lämmityskauden aikana. Rahallisesti säästö olisi lähes 25 000 €. Taulukossa 3 on esitetty laskun tulokset, kun ilmaa lämmitetään lämmityskau- den aikana keskimääräisestä ulkolämpötilasta +5 °C sisälämpötilaan +20,5–21 °C.

TAULUKKO 3. Ilman lämpötilan laskeminen 0,5°C alaspäin ja sen vaikutus energiankulutukseen

	Energia [kWh]		Energia [MWh]		Kustannus [€]	
	21°C	20.5°C	21°C	20.5°C	21°C	20.5°C
Lämmityskausi	3264	3162	19584	18972	783360	758880
Yhteensä	3264		19584	18972	783360	758880
			Erotus	-612	Erotus	-24480
Lämmityskausi	250	vrk				
Muu kausi	115	vrk				
Kaukolämmön hinta	40	€/MWh				
Sähkön hinta	90	€/MWh				

Lämmintä vettä kulutetaan sairaalarakennuksessa runsaasti verrattuna vastaavankokoiseen toi- mistorakennukseen, joten lämpimän veden valmistus on oiva paikka säästää kustannuksissa. Mo- tivan ilmoittamien oletusarvojen mukaan terveydenhuollon laitoksissa lämpimän veden kulutus on

noin 520 dm³/br-m²/vuosi, kun toimistorakennuksessa lämpimän veden kulutus on vain noin 100 dm³/br-m²/vuosi. (14)

Lämpimän käyttöveden kulutukseen sairaalassa voidaan vaikuttaa samoilla toimenpiteillä, kuin muissakin rakennuksissa eli valitsemalla vesikalusteita ja laitteita, joiden veden lämpötilaa ja virtausta on rajoitettu. Koska lämpimän veden alarajaa ei ole syytä lähteä laskemaan legionellabakteerin takia, voidaan lämpimän veden määrää vähentämällä yrittää saavuttaa säästöjä. Valitsemalla puhdistukseen käytettäväksi laitteita, jotka tuottavat vain tarvittavan höyryn sähköllä tai käyttävät puhdistukseen UV-valoa, voidaan lämpimän käyttöveden valmistukseen käytettävää energian määrää vähentää.

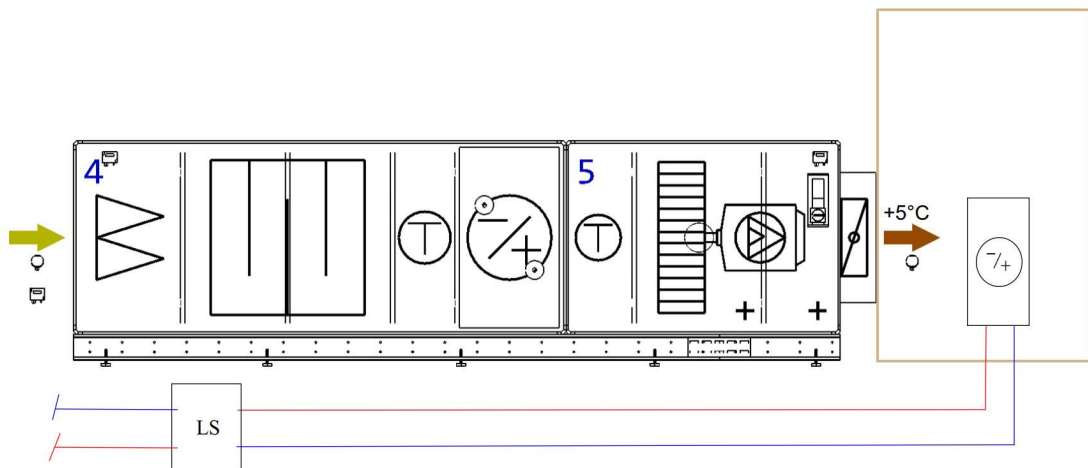
3.2 Lämmöntalteenotto

Osa tilojen, ilmanvaihdon ja käyttöveden lämmitykseen käytettävästä energiasta päätyy pois kiinteistöstä joko poistoilman tai jäteveden mukana. Vaikka ilmanvaihdon lämmöntalteenotto on ollut yleisesti käytössä jo pidemmän aikaa, on siinäkin vielä tehostamisen mahdollisuuksia.

3.2.1 Poistoilmasta

Ilmanvaihdon lämmöntalteenotossa poistoilmasta kerätään lämpöä talteen lämmöntalteenottokennolla. Usein ilmanvaihtokone mitoitetaan rajoittamaan LTO:n jälkeinen ulospuhallusilma +2–+5 °C:een, jolloin siitä voidaan kerätä lämpöä talteen.

Ilmanvaihtokoneen ulospuhallusilmaa varten rakennettuun kammioon sijoitettava poistoilmalämpöpumppu voi kerätä ilmassa olevaa lämpöenergiaa. Samaan kammioon voidaan ohjata useamman ilmanvaihtokoneen ulospuhallusilmat. Koska ilmanvaihto ja rakennuksen huonelämpötilat ovat ympäri vuoden samalla tasolla, voidaan olettaa, että poistoilmalämpöpumppu ottaa ilmasta energiaa talteen ympäri vuoden. Periaatekuva poistoilmalämpöpumpusta kammiossa on esitetty kuvassa 8. Talteen otettu lämpö voidaan hyväksikäyttää esimerkiksi saman ilmanvaihtokoneen lämmityspatterissa tai siirtää lämpö varajaan, josta lämpöä kierrätetään käyttöveden tai tilojen lämmitykseen.



KUVA 8. Poistoilmalämpöpumppu kammiossa

Laskuesimerkkinä lisätään 3 m³/s ilmavirrälle mitoitettuun ilmanvaihtokoneeseen 25 kW:n ilmalämpöpumppu. Ilmanvaihtokoneen lämmityspatteri on mitoitettu talveksi teholle 175 kW ja kesäksi teholle 50 kW. Laskuissa on käytetty lämpöpumpun ottotehona 8,25 kW (COP=3). Taulukossa 4 on esitetty ratkaisun vaikutus energiankulutukseen. Rahallinen säästö vuoden aikana on arviolta 2200 €.

TAULUKKO 4. Energiansäästö ilmalämpöpumpulla

	Teho [kW]		Energia [MWh]		Kustannus [€]	
	ilman PILP	PILP kanssa	ilman PILP	PILP kanssa	ilman PILP	PILP kanssa
Lämmityskausi	175	158,25	1050	949,5	42000	40455
Muu aika	50	33,25	138	91,77	5520	4809,3
Yhteensä	225	191,5	1188	1041,27	47520	45264,3
			Erotus	-147	Erotus	-2256
lämmityskausi	250 vrk					
muu aika	115 vrk					
Kaukolämmön hinta	40 €/MWh					
Sähkön hinta	90 €/MWh					

3.2.2 Jätevedestä

Tilojen ja ilmanvaihdon lämmityksen jälkeen suurin lämmitysenergiankuluttaja sairaalassa on lämpimän käyttöveden lämmitys. Tämä tarkoittaa myös sitä, että suuri määrä lämmitysenergiaa siirtyy

viemäristöön jäteveden mukana. Jätevedestä voidaan kuitenkin kerätä lämpöä talteen LTO-yksiköllä ja hyödyntää kerättyä lämpöä erilaisissa rakennuksen lämmityskohteissa tai käyttöveden lämmityksessä.

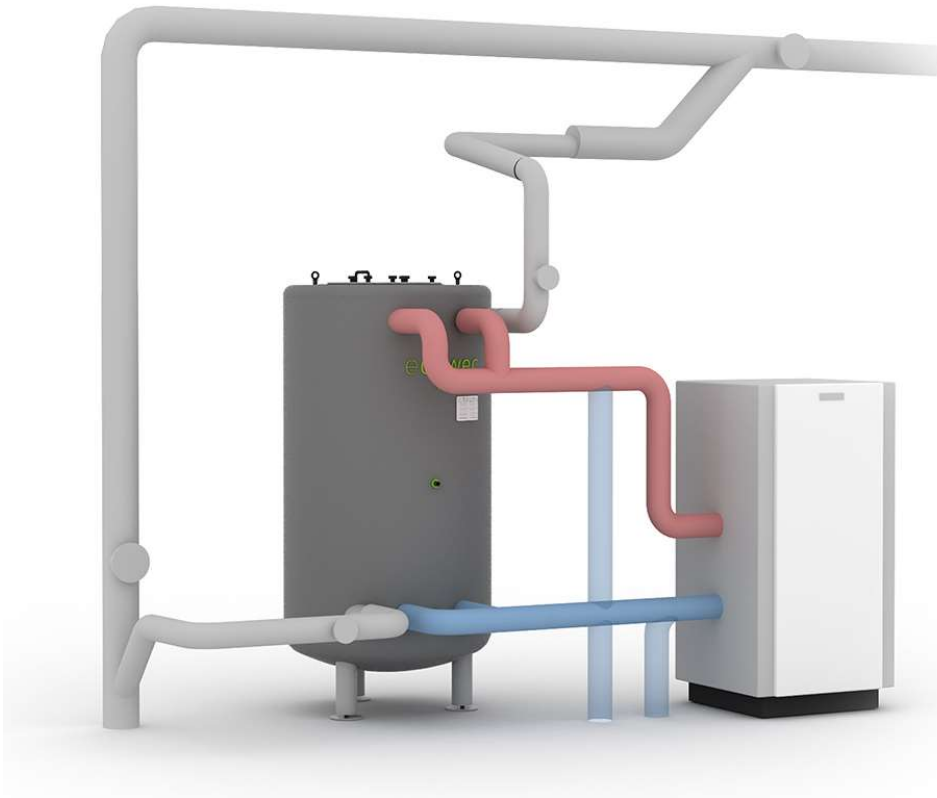
Sairaalan jätevesiä tulee monista eri lähteistä, ja niiden lämpötilat vaihtelevat. Taulukossa 5 on listattu sairaalan jäteveden lähteitä sekä niiden arvioituja lämpötiloja. Jäteveden lämpötilan sairaalassa voidaan arvioida olevan noin +32°C, kun otetaan huomioon, että jäteveden lämpötilat ja määrä vaihtelevat vuorokauden ajan mukaan.

TAULUKKO 5. Sairaalan jätevesien lämpötiloja

Lähde	Lämpötila [°C]
WC-vedet	20
Suihku-, pesu- ja allasvedet	27-35
Keittiön pesuvedet	30-60
Sänkypesukoneet	60-90
Autoklaavit, laitehuolto	100

Suomessa toimii useampikin laitetoimittaja, joiden ratkaisujen avulla jätevedestä voidaan lämpöä kerätä. Oletettavasti suurin hidaste jäteveden lämmöntalteenoton yleistymiselle on ollut aiemmin tarvittava kaksoisviemäröinti sekä helposti likaantuvat lämmöntalteenottoratkaisut, jotka ovat vaatineet puhdistus- ja huoltotoimenpiteitä tiheään.

Jäteveden lämmöntalteenotossa puhdistamaton jätevesi johdetaan lämmönkeruuyksikön lävitse, jossa kerätty hukkalämpö voidaan kerätä talteen hyödynnettäväksi muun muassa käyttö- ja pesuvesien, tilojen, ilmanvaihdon ja erilaisten prosessivesien lämmityksessä. Kuvassa 9 on esitetty Wasencon Ecowec-hybridivaihtimen kytkentäesimerkki jäteveden lämmöntalteenotolle.



KUVA 9. Jäteveden lämmöntalteenottojärjestelmä (15)

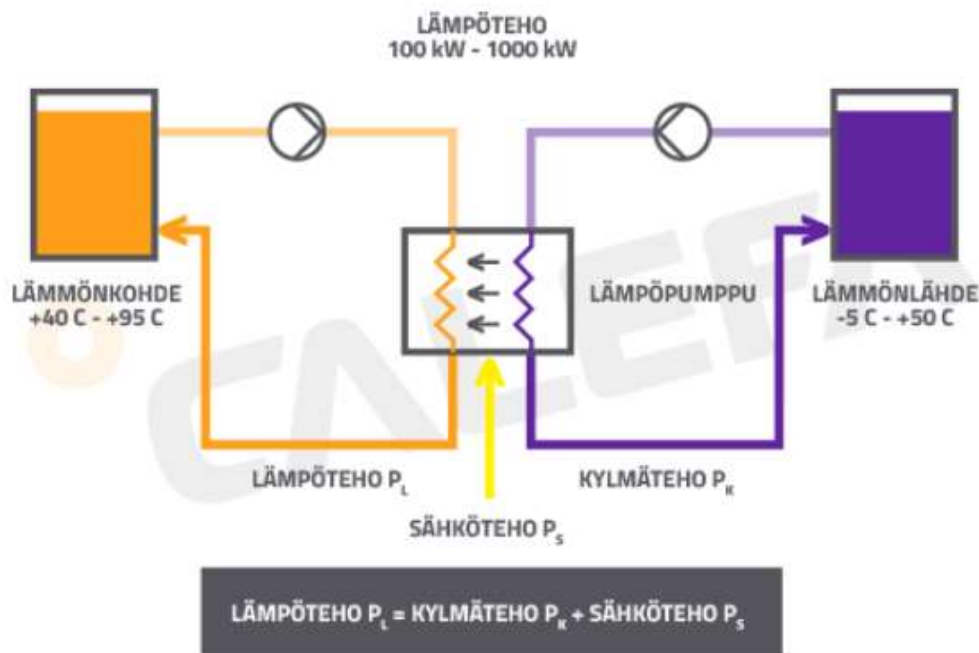
Erittäin kuumassa jätevedessä, esimerkiksi pesulatoimintojen jätevedessä, ei erillistä lämpöpumpua välttämättä tarvita vaan jäteveden hukkalämpö voidaan siirtää Ecowec-hybridivaihtimella suoraan esimerkiksi ilmanvaihtoverkoston lämmitykseen. (15) Ecowec-hybridivaihtimet ovat huoltovapaita ja soveltuvat myös kiintoainesta sisältävälle jätevedelle. Sairaalan keittiön jätevesistä voidaan myös ottaa jäteveden sisältämä lämpö talteen Ecowecin ratkaisulla, kunhan lämmöntalteenottojärjestelmä sijoitetaan rasvanerotimen jälkeen ja rasvanerotin sijoitetaan lämpimään tilaan, jolloin jätevesien lämpötila ei pääse laskemaan liian matalaksi. Valmistaja kertoo Ecowecille 50 - 100 vuoden teknisen käyttöiän.

Esimerkkikohteen arvioitu jäteveden tuotto on 180 m³/vrk:ssa. Liitteessä 1 ja 2 on esitetty laitevalmistajan tuottamat mitoitusarvot kahdelle ja neljälle Ecowec-hybridivaihtimelle ja niiden synnyttämät arvioidut tuotot. Jäteveden lämmöntalteenotolla saataisiin esimerkkikohteessa säästettyä vuodessa 580–830 MWh:n edestä lämmitysenergiaa, joka vastaisi rahallisesti jopa noin 75 000 €.

3.2.3 Lauhdelämmöstä

Lauhdelämpö on lämpöenergiaa, jota syntyy muiden toimintojen myötä. Sitä syntyy sairaalassa esimerkiksi lämpöpumpuilla toimivissa vedenjäähdytyskoneissa, höyrylaitoksissa, nestelauhdutteissa paineilmakompressoreissa ja muissa vastaavissa suurien tehojen laitteissa. Eri prosessien tuottamalla lauhdelämmöllä voidaan lämmittää verkoston lataussäiliötä, josta lämpöä voidaan hyödyntää käyttöveden lämmityksessä, pihojen sulatuksessa, höyryn tuotannossa käytettävän veden esilämmityksessä sekä tilojen ja ilmanvaihdon lämmityksessä.

Suomalainen teknologiayritys Calefa on kehittänyt oman ratkaisun hukkalämmön kierrättämiseen. Calefa kertoo, että heidän *Caleri*® *Energiakierto* -ratkaisulla voidaan poistuvasta energiavirrasta kerätä talteen mahdollisimman paljon energiaa uudelleenkäytettäväksi tilaajan ratkaisuihin sopivaksi. (16, linkit Ajankohtaista - > Calefa muuttaa teollisuuden energian hiilineutraaliksi.) Ratkaisulla voidaan kerätä lämpöä niin ilmasta kuin nesteestäkin. Kuvassa 10 on kaavio lauhdelämmön lämmöntalteenotolle Calefan ratkaisulla.



KUVA 10. Calefan lämpöpumppuratkaisun periaatekuva (16)

Calefan ratkaisua voidaan käyttää esimerkiksi nestelauhdutteisen paineilmakompressorin, vedenjäähdytyskoneen tai höyrylaitoksen LTO:ssa. Calefan lämpöpumpuista löytyy myös kuuma- lämpöpumppu, jolla voidaan kerätä lämpöä jopa +90 °C nesteestä ja tuottaa jopa +130 °C:n saakka. (16,

linkit Palvelut -> Teknologiat -> Lämpöpumput.) Liitteissä 3 ja 4 on esitetty Calefan www-sivuilta löytyvän kannattavuuslaskurin laskelmat nesteelle ja ilmalle.

Esimerkkikohteessa syntyviä lauhteita ja määriä on listattu taulukossa 6. Höyrylaitoksesta talteen otettavan hönkähöyryn määräksi voidaan arvioida 10 % höyrylaitoksen tehosta ja muiden prosessien kohdalla voidaan olettaa, että lauhdetta syntyy saman verran kuin prosessissa on tehoa.

TAULUKKO 6. Esimerkkikohteen lauhdelämpömääriä

Prosessi	Teho [kW]	Lauhdelämpöä [kW]
Paineilmakompressorit	195	195
Vedenjäähdytyskone	500	500
Höyrylaitos	300	30
Summa	995	725

Paineilmakompressorin käyttämä energia ja sen tuottama lämpö ovat merkittäviä jopa sairaalan mittakaavassa. Paineilman tuotannossa käytettävä nestelauhdutteinen kompressorit tuottaa lämpöä arviolta tehonsa verran. Nykyisin markkinoilla olevia paineilmakompressoreita saa lämmöntalteenotolla varustettuina, jolloin myös paineilmakompressorien liittäminen energiankierrätykseen on mutkatonta. Jos esimerkkikohteen paineilmakompressorit toimivat puolella teholla läpi vuoden, lauhdelämpöä voidaan laskea lämpöenergian kaavaa 3 hyväksikäyttäen syntyvän noin 850 MWh vuodessa:

$$Q_{lauh, vuosi} = P * t = 50\% * 195 \text{ kW} * 8760 \frac{h}{a} = 854 \text{ MWh/vuosi}$$

Höyrylaitoksen energiatehokkuutta pystytään parantamaan hyödyntämällä laitoksessa syntyvä hönkähöyry, jota voidaan käyttää esimerkiksi esilämmittämään höyryntuotannossa käytettävää raakavettä. Höyrylaitoksessa vuoden aikana syntyvän hönkähöyryn määrää voidaan arvioida lämpöenergian kaavalla. Höyrylaitoksen toiminta-ajaksi vuodessa on tässä arvioitu olevan 70 % ajasta eli karkeasti vuoden kaikki arkipäivät:

$$Q_{hönkähöyry, vuosi} = P * t = 70\% * 30 \text{ kW} * 8760 \frac{h}{a} = 184 \text{ MWh/vuosi}$$

Swegonin ilmalauhdutteisen vedenjäähdytyskoneen Tetris 2A+ LN44.6 mitoitus tietoja on esitetty kuvassa 11. Tällaisella koneella voitaisiin hoitaa esimerkkikohteessa osaa ympärivuotisesta jäähdytyksestä ja ottaa syntynyt lauhdelämpö talteen. Syntyvää lauhdelämpöä voidaan varastoida laussa säiliöön ja hyväksikäyttää käyttöveden lämmityksessä, pihojen sulatuksessa tai tilojen lämmityksessä.

TETRIS 2 A+

			31.4	36.4	41.5	44.6
TETRIS 2 A+						
Cooling (A35°C; W7°C)						
Refrigeration capacity	(1)	kW	310	372	404	435
Total absorbed power	(1)	kW	93	112	121	130
EER	(1)		3,33	3,33	3,35	3,35
EER energy class (Eurovent)	(1)		A	A	A	A
ESEER			4,28	4,30	4,25	4,20
TETRIS 2 A+ /HP						
Cooling (A35°C; W7°C)						
Refrigeration capacity	(1)	kW	307	361	398	432
Total absorbed power	(1)	kW	96	111	125	135
EER	(1)		3,18	3,26	3,19	3,20
EER energy class (Eurovent)	(1)		A	A	A	A
ESEER			4,08	4,20	4,05	4,01
Heating (A7°C/87%; W45°C)						
Heating capacity	(2)	kW	323	373	419	453
Total absorbed power	(2)	kW	100	112	129	140
COP	(2)		3,24	3,33	3,25	3,23
COP energy class (Eurovent)	(2)		A	A	A	A
Compressors						
Compressors/Circuits		n°/n°	4/2	4/2	5/2	6/2
Minimum capacity reduction step		%	24%	25%	19%	17%
Refrigerant charge CH (MCHX)		kg	42	48	56	61
Refrigerant charge CH (Cu/Al)		kg	63	72	83	91
Refrigerant charge HP		kg	100	115	130	144

KUVA 11. Swegonin vedenjäähdytyskoneen mitoitus tietoja (20, s. 31)

Lasketaan ajallisesti hyödynnettävä yhden vedenjäähdytyskoneen lauhdelämmön määrä perustuen arvioituihin käyttötuntimääriin. Oletuksena pidetään, että kone on käytössä ympäri vuoden, sen käyrät ovat lineaariset ja kaikki syntynyt lauhde voidaan käyttää hyväksi. Taulukossa 7 on esitetty tulokset näiden oletusten perusteella.

TAULUKKO 7. Vedenjäähdytyskoneen teho- ja kulutusarvot vuositasolla

Ajankohta	Tuntimäärä [h]	Teho [%]	Jäähdytys-teho [MWh]	Lauhde-lämpö [MWh]	Sähköteho [MWh]
Kesä, täysi teho	960	100	391	503	111
Kesä, osateho	1320	75	403	518	115
Talvi, osateho	2400	50	489	628	139
Talvi, minimiteho	4080	25	416	534	237
Summa	8760	-	1699	2183	602

Lauhdelämmön hyödyntämisen kustannushyöty riippuu paljon siitä, millaiset käyttöprofiilit ajallisesti ja tehollisesti prosesseilla on. Edellä mainittujen lauhdelämpöjen hyödyntäminen vähentäisi yli 3200 MWh:n verran lämmitysenergian tarvetta vuodessa. Syntyvän lauhteen lämpötila vaikuttaa siihen, mihin sitä voidaan hyödyntää. Lämpimän käyttöveden valmistus vaatii kaikista kuumimman lämpötilan, mutta tilojen lämmitykseen, höyryn käyttöveden esilämmitykseen ja pihasulatukseen riittää matalampi lämpötila. Lämpimän käyttöveden valmistusta voi auttaa lisäämällä energiankierätyjärjestelmään lämpöpumppu tai käyttämällä kaukolämpöä

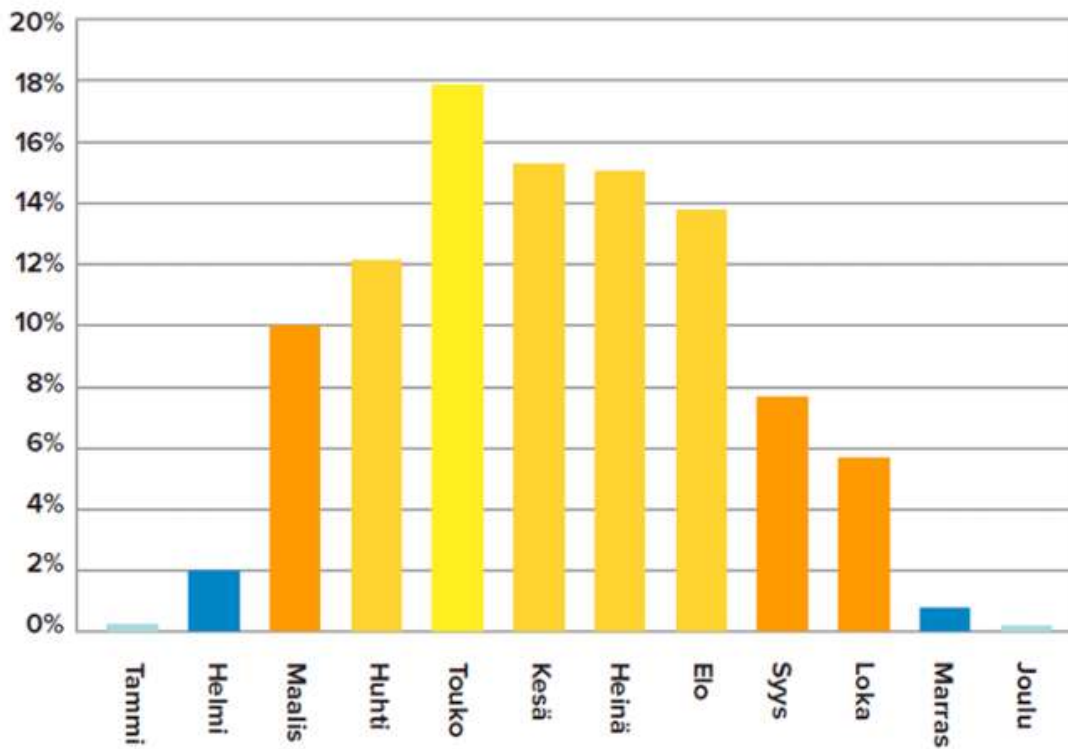
3.3 Uusituvan energian tuotantotavat

Uusituvia energioita saadaan, kun hyödynnetään luonnonvoimia. Auringon säteily voidaan valjastaa energiaksi ja lämmöksi ja maaperästä voidaan kerätä lämpöä tai kylmää. Lämpöenergian tuotantotapoina aurinko- ja maalämpö ovat ekologisia vaihtoehtoja. Opinnäytetyötä kirjoitettaessa kommentointikierroksella on ohje-ehdotus lämpöenergian kausivarastoinnille, jonka avulla vuodenaikoihin sidonnaista lämpöenergiaa voitaisiin varastoida käytettäväksi ympäri vuoden. Uusiutuvaa energiaa voidaan tuottaa tuulen ja veden avulla ja eloperäisestä jätteestä tuottaa biokaasua, mutta nämä jätetään tämän työn ulkopuolelle.

3.3.1 Aurinkoenergia ja -lämpö

Aurinkoenergia on ehtymätön ja puhdas energiamuoto, jota rajoittaa vain sen saatavuus. Aurinkoenergian säteily vaakapinnalle Etelä-Suomessa on noin 1000 kWh/m²/vuosi ja Pohjois-Suomessa enää vain noin 800 kWh/m²/vuosi. Aurinkoenergian saatavuuteen merkittävästi vaikuttavien auringonpaistetuntien lukumäärä riippuu sekä maantieteellisestä sijainnista että säästä. Lisäksi aurinkoenergian määrään vaikuttavat rakennuksen sijainti ja suuntaus. On laskettu, että jos aurinkopaneeleita asennettaisiin Suomen pinta-alasta 1 % alueelle, koko Suomelle riittäisi energiaa ympärivuotiseen tarpeeseen.

Aurinkoenergian tuotto on epätasaista ja paras teho saavutetaan maaliskuun ja syyskuun välisenä aikana. Kuvassa 12 on esitetty, miten aurinkopaneelien energiantuotto lisääntyy kevätkuukausina ja vähenee päivän lyhetessä. (17.)



KUVA 12. Aurinkopaneelien tuotto (17)

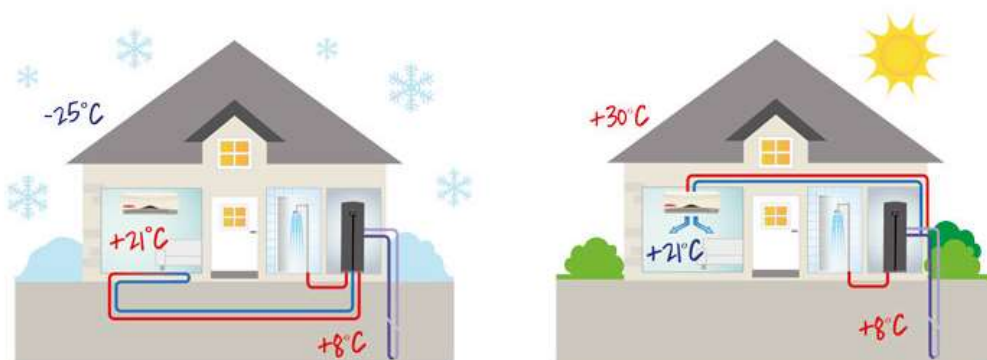
Aurinkoenergia voidaan valjastaa joko aurinkolämmöksi tai -sähköksi. Energian keräämistä varten sijoitetaan paneelit tai keräimet rakennuksen kattopinnalle, integroidaan osaksi julkisivua tai lasi-

pintoja. Aurinkolämpöä voidaan passiivisesti varastoida rakenteisiin tai hyväksikäyttää lämmityskautena erilaisten lasipintojen ja -rakenteiden avulla. Lämpö voidaan myös siirtää aktiivisesti talteen varajaan tai energiakaivoon, joista lämpöä voidaan hyödyntää esimerkiksi käyttöveden lämmitykseen.

Aurinkolämmöntoimittajat tarjoavat kotisivuillaan laskureita, joilla voi arvioida olemassa oleville rakennuksille aurinkolämmön soveltuvuutta ja tuottoa. Finsolarin (18) mukaan hyvätasoinen aurinkokerääjä tuottaa noin 0,5 MWh/keräin-m². Kattopinta-alaa esimerkkikohteella on noin 2500 m², mutta suuntaukset ja varjostukset huomioiden keruupinta-alaksi sopivaa kattopinta-alaa on vain noin 1250 m². Tällä pinta-alalla saataisiin teoreettisesti tuotettua vuoden aikana jopa 625 MWh aurinkolämpöä, josta suurin osa sijoittuisi lämmityskauden ulkopuolelle. Tämän kokoisten järjestelmien hinta liikkuu Finsolarin (18) arvion mukaan 400–500 €/keräin-m², jolloin aurinkolämmön tuotantohinta on 28–35 €/MWh.

3.3.2 Geoterminen lämpö, maalämpö ja -kylmä

Maaperästä saatava energia voidaan jakaa geotermiseen lämpöön ja maalämpöön. Geoterminen lämpö syntyy maankuoren sisällä, kun taas maalämpö on auringon maata lämmittävästä vaikutuksesta saatava lämpö. Molemmat lämpömuodot ovat uusiutuvia ja taloudellisia energiamuotoja. Maalämpöratkaisu voidaan myös muuntaa maakylmäksi kesäaikaan, jolloin maalämpöpumpun maapiirin viileä liuos voidaan hyödyntää ilmanvaihdon jäähdytyksessä. Maalämpöä voidaan hyödyntää niin ilmanvaihdon kuin tilojenkin lämmityksessä (kuva 13).



KUVA 13. Maalämmön ja -jäähdytyksen toimintaperiaate (19)

Maalämmön keruuta varten joko porataan kaivo maaperään tai asennetaan keruupiiri. Hankinta- ja asennusinvestoinnit ovat suuria, ja ne ovat hidasteita laajemmalle käytölle. Maalämmön hyödyntäminen on paikkaan ja maaperän laatuun sidottua, ja kaupunkialueella riittävän kokoisen keruupiirin tai energiakaivon mahdolluttaminen tontille on haastavaa ja monesti jopa mahdotonta.

Esimerkkikohteen vaatima tilojen lämmitysteho vuodessa on noin 2100 MWh. Gebwellin (19) mukaan lämpökaivosta saadaan kerättyä energiaa 100 kWh per metri. Tällä perusteella esimerkkikohteeseen tarvittaisiin täystehomitoituksella 21 000 metriä eli 21 kilometriä lämpökaivoa ja 60 % osatehomitoituksella 12 600 metriä eli 12,6 kilometriä lämpökaivoa. Alkuinvestoinnin määräksi on arvioitu 350 000 €. Gebwellin (19) laskurin tuottamat arvot 60 %:n osatehomitoitukselle on esitetty liitteessä 5.

4 SÄÄSTÖPOTENTIALIN VAIKUTUS

Hiilineutraaliutta ja päästöjä tarkasteltaessa pitäisi muistaa myös ottaa huomioon elinkaaren pituus ja sen alku- sekä loppupään toimet. Pitäisi huomioida kuinka paljon valmistuksessa ja kuljettamisessa syntyy päästöjä. Lisäksi huomioon on otettava, ovatko ratkaisut kuinka pitkäikäisiä, vaativatko ne huoltotoimenpiteitä, kuinka hyvin ne ovat kierrätettävissä ja kuinka paljon päästöjä niiden käytöstä poistaminen tuottaa.

Erialaisten energiankäyttöön kohdistuvien toimenpiteiden aiheuttamia säästöjä laskettaessa on hyvä aluksi tarkastella esimerkkikohteen ratkaisujen ostoenergian muodostamat kulut. Taulukossa 8 on esitetty CO₂-päästöt sekä kulutukset oletusratkaisuilla. Ratkaisujen investointien, kuljetusten, käyttöönottoimenpiteiden ja käytöstä poistamisen aiheuttamia kustannuksia ja niiden CO₂-päästöjä ei ole otettu huomioon laskuissa.

TAULUKKO 8. Energian CO₂-päästöt ja kustannukset esimerkkikohteessa ennen säästötoimia

Energia	Kulutus [MWh]	Kustannus [M€]	CO ₂ -päästöt [tonnia]
Kaukolämpö	14 000	0,6	2212
Sähkö	12 000	1,1	2292
Kaukokylmä	1 000	0,03	7
Maakaasu	7 100	0,18	393
Summa	34 100	1,91	4904

4.1 Vaikutukset CO₂-päästöihin

Ilmastotavoitteisiin liittyvät tiiviisti CO₂-päästöt, joiden väheneminen on yksi etu uusiutuvien energioiden käytössä ja energian kierrätyksessä. CO₂-päästöjen säästöjä voidaan arvioida käyttämällä keskiarvoa energiamuodon CO₂-päästöille. Laskuissa käytetään pääkaupunkiseudun CO₂-päästö-kertoimia, eli kaukolämmölle 158gCO₂/kWh ja sähkölle 191 gCO₂/kWh. (6)

Taulukossa 9 on esitetty aiemmin esiteltyjen säästöpotentiaalien vaikutus CO₂-päästöihin, jos kyseinen toimenpide otettaisiin käyttöön sitä parhaiten palvelevalla alueella. Suurin osa lämpöenergiasta esimerkkikohteessa tuotetaan kaukolämmöllä, joten taulukossa 9 esitetyt säästöt on laskettu kaukolämmön CO₂-päästökertoimilla. PILP:n kohdalla huomioon on otettu lisääntynyt sähkönkulutus, mutta muiden kohdalla sähkönkulutus on jätetty huomioimatta.

TAULUKKO 9. CO₂-päästöjen vertailu vuositasonalla

Säästötoimenpide	Ennen [tCO ₂]	Jälkeen [tCO ₂]	Muutos [tCO ₂]
Lämpötilan säätäminen 0,5°C:lla	1234	1136	-98
Lämmöntalteenotto, PILP, ilmanvaihto	182	163	-19
Lämmöntalteenotto, lauhde	2212	1703	-509
Lämmöntalteenotto, jätevesi	332	253	-79
Aurinkolämpö	332	233	-99
Maalämpö, osateho 60%	332	213	-119

Säästötoimenpiteillä voitaisiin tehdä suuria muutoksia päästöihin, mutta edelleenkään mikään niistä ei ole oikotie hiilineutraaliin rakennukseen. Parhaimpaan lopputulokseen päästäisiin yhdistämällä useita erilaisia energiatehokkuutta edistäviä ratkaisuja. Hybridijärjestelmällä, joka sisältäisi esimerkiksi jäteveden LTO:n, aurinko- ja maalämmön, voitaisiin lämpimän käyttöveden lämmityksen tarve kattaa lähes kokonaan. Taloudellisesti ja energiantuotannoltaan tasapainoisen ja järkevän yhdistelmän löytäminen kattamaan koko lämmitysenergian tarpeet tarkoittaisi sitä, että mitoitukset eivät olisi todennäköisesti enää järkeviä.

Höyryntuotannossa käytettävän maakaasun korvaaminen uusiutuvalla biokaasulla laskisi huomioonotettavia CO₂-päästöjä ja vähentäisi käytettävien fossiilisten polttoaineiden osuutta. Siltikään edes näillä ratkaisuilla ei vielä olla hiilineutraalissa rakennuksessa.

4.2 Kustannushyötyvertailu

Laskettaessa eri säästöpotentiaalivaihtoehtojen kustannushyötyä, huomioon täytyy ottaa lukuisia eri asioita. Analysoitaessa energiansäästöpotentiaalilin elinkaarikustannusta täytyy ottaa huomioon

arvio käytetyn energian määrästä, polttoaineen ja sen käytön kustannukset, arvio käytetyn energian hintakehityksestä, hankinta- ja kuljetuskustannukset, kiinteät ja muuttuvat kustannukset, laskentakorot ja monia muita asioita.

Laitetoimittajat tarjoavat omille tuotteilleen erilaisia kustannushyötyvertailuja. Calefan www-sivuilla löytyy helppo laskuri suunnittelijan työkaluksi, ja Ecowec tarjoaa mitoituspalveluita yhteydenotolla. Lämmöntalteenottojärjestelmät ovat hankintakustannuksiltaan edullisempia kuin uusiutuvaa energiaa keräävät ja siitä lämmitysenergiaa tuottavat järjestelmät, ja syntyvät säästöt muodostuvat tuotetusta lämmitysenergiasta. Mitoitustulokset ovat kuitenkin aina teoreettisia ja todellinen hyötymääräytyy käytön mukaisesti. Ecowecin ja Calefan ratkaisujen muutaman vuoden takaisinmaksuajat ovat lyhyitä verrattuina maalämpö- ja aurinkoenergiaratkaisuihin, joilla maksuaika on helposti 15 - 30 vuotta.

Ilmaisenergioita riittää valjastettavaksi, mutta vie vielä aikansa ennen kuin niiden kustannustehokkuus on tarpeeksi hyvä. Tärkein lähestymiskohta on ensin valita energiatehokkaita ratkaisuja, etsiä niistä energiankierrätyksen mahdollistavia hukkaenergioita ja sitten vasta kiinnittää huomio käytettyyn energiamuotoon.

Laskettaessa säästöjen taloudellista kannattavuutta, elinkaarena on käytetty 20 vuotta, vuosittainen huolto- ja ylläpitokustannus on 2 % investointihankinnasta, energian hinnannousuna on pidetty 2 % vuodessa ja laskentakorkona 4 %. Hankinnalle on laskettu elinkaaren puolessavälissä kertaluonteinen korjauskustannus, suuruudeltaan 5 % investointikuluista. Laskenta on suoritettu Motivan laskurilla *Toimenpiteen taloudellinen kannattavuus*. Lauhdelämmön takaisinmaksuajaksi saatiin 2 vuotta, PILP:lle noin 5 vuotta ja jäteveden LTO:lle 3 vuotta. Muille säästöpotentiaaleille ei laskettu taloudellista kannattavuutta. Laskelmat on esitetty liitteissä 6, 7 ja 8.

4.3 Säästöjen seuranta

Erilaiset sensorit, anturit ja mittarit, jotka valjastetaan rakennusautomaation seurantaan, antavat käytönaikaista sekä pitkäaikaista tietoa tilojen sekä laitteiden energiankulutuksesta, käytöstä ja hyötysteestä. Mittausraporttien perusteella voidaan laskea saavutettuja säästöjä. Myös järjestelmien älykäs ohjaaminen tuottaa mahdollisuuden tarkkailla energiankäyttöä ja puuttua tilanteisiin nopealla vasteella, jolloin rakennuksen energiatehokkuus paranee. Tulevaisuudessa *esineiden internet* lisääntyy ja tulee hyödynnettäväksi paremmin myös talotekniikassa.

Energiankulutuksen vapauttamien CO₂-päästöjen määrää ei käytönaikaisesti voi loppukäyttäjä mitata. Tilastokeskus, Motiva ja energiayhtiöt toimittavat vuosittain CO₂-päästökertoimet, joiden perusteella voi laskea CO₂-päästöjen määrän energiankulutuksen pohjalta.

5 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tarkoituksena oli arvioida, miten uusiutuvia energioita ja energiankierrätystä voitaisiin hyödyntää modernissa sairaalassa. Esimerkkinä toimivasta rakennusvaiheisesta sairaalasta löytyikin monta prosessia, joista saataisiin energiaa kierrätettäväksi.

Opinnäytetyötä tehtäessä havaittiin, että energiatehokas rakentaminen lähtee jo huolellisesta suunnittelusta, jossa huomioidaan olosuhteet, jotka vaikuttavat rakentamisratkaisuihin. Ymmärsin myös, että fossiilisten polttoaineiden käytöstä ei voida siirtyä hetkessä pois, vaan se on pitkän aikavälin tavoite. Energiatehokkaat ja ilmastoystävälliset energiaratkaisut ovat monesti kustannuksiltaan korkeammat kuin pitkään käytössä olleet fossiilisten polttoaineiden hyödyntämiseen tarkoitettut. Energiankierrätys on tästäkin syystä oivallinen tapa ryhdistäytyä ilmastotalkoissa. Aloituskustannukset monissa vaihtoehdoissa ovat suuret ja siltä osilta hillitsevät uusien teknologioiden ja vaihtoehtojen käyttöönottoa. Teknologia kehittyy myös tällä alalla hurjaa vauhtia ja kenties alan hektisestä luonteen vuoksi, rakennuttajat, suunnittelijat ja muut rakennushankkeisiin osallistuvat tahot eivät välttämättä ole ehtineet perehtyä tarjolla oleviin tekniikan uusimpiin keksintöihin ja täten osaa esittää suunnitteluvaiheessa oleviin kohteisiin uusimpia ja energiatehokkaimpia ratkaisuja.

Opinnäytetyötä tehdessä pohdin myös, että entäpä jos ei noudatettaisiinkaan määräyksien ilmamääriä tai lämpötiloja. Ilmanvaihdon lämmitys ja jäähditys vaativat suuret määrät energiaa ja suurimmat säästöt saattaisivat syntyä ilmanvaihdossa. Yksi tässä työssä tarkasteltu säästöpotentiaali olikin säättää lämpötilaa lämmityskaudella 0,5 °C matalammaksi, ja se laskelmien mukaan säästäisi yli 600 MWh lämmitysenergiaa ja jopa 55 000 € lämmityskustannuksia esimerkkikohteen kokoisessa sairaalassa. Lisäksi painovoimainen ilmanvaihto tekee uutta tulemistaan, ja sen vaikutus energiatehokkuuteen selvinnee lähivuosina.

Parhaimpaan lopputulokseen energiatehokkuuden kannalta kuitenkin päästäisiin, jos valittaisiin monipuolinen hybridijärjestelmä. Laskelmien pohjalta voisi ajatella, että lauhteen ja jätevesien lämmöntalteenoton ja energiatuotantotapojen muutokset toisivat suurimmat säästöt sekä rahallisesti että päästöissä.

Hiilineutraaliuden määre on hieman häilyvä ja käytännössä hyvin haastavaa saavuttaa. Joitain tässä esitettyjä ratkaisuja on jo suunniteltu ja toteutettu Suomen sairaaloihin, mutta mittauksista joudutaan vielä odottamaan. Muutosta täytyy ohjata myös asenne, sillä suuria rahallisia hyötyjä ei

uusiutuvien energioiden käyttö vielä hetkessä tuo. Osa muutoksesta täytyy tapahtua myös energiayhtiöiden toimesta.

LÄHTEET

1. Perustelumuisto 1010/2017. 2018. Ympäristöministeriö. Saatavilla: <https://www.ym.fi/download/noname/%7BA7F89254-6A5A-4738-BCF8-44D3CA8795D4%7D/133736>. Hakupäivä 30.10.2019.
2. Hiilineutraali ja luonnon monimuotoisuuden turvaava Suomi. 2019. Valtioneuvosto. Saatavilla: <https://valtioneuvosto.fi/rinteen-hallitus/hallitusohjelma/hiilineutraali-ja-luonnon-monimuotoisuuden-turvaava-suomi>. Hakupäivä 1.11.2019.
3. Ympäristöraportti 2018. 2019. Pohjois-Savon sairaanhoitopiiri. Saatavilla: https://www.psshp.fi/documents/7796350/7869031/Ymparistokertomus_2018/. Hakupäivä 8.11.2019.
4. Ympäristöraportti 2018. 2019. Vaasan keskussairaala. Saatavilla: https://www.vaasankeskussairaala.fi/globalassets/hallinnon-tiedostot/forvaltning_hallinto/styrelseprotokoll/2018/ymparistoraportti-2017.pdf. Hakupäivä 9.11.2019.
5. Tilinpäätös ja toimintakertomus vuodelta 2017. 2018. Varsinais-Suomen sairaanhoitopiiri. Saatavilla: <http://www.vsshp.fi/fi/sairaanhoitopiiri/talous-ja-toimintaluvut/tilinpaatokset/Documents/Tilinp%C3%A4%C3%A4t%C3%B6s%20ja%20toimintakertomus%20vuodelta%202017.pdf>. Hakupäivä 11.11.2019
6. Energian alkuperä. 2019. Helen. Saatavilla: <https://www.helen.fi/yrittys/energia/energiantuotanto/energia-alkupera>. Hakupäivä 2.11.2019.
7. Polttoaineluokitus 2019. 2019. Tilastokeskus. Saatavilla: http://www.stat.fi/tup/khkinv/khkaasut_polttoaineluokitus.html. Hakupäivä 3.12.2019.
8. Magnetom Altea – Environmental Product Declaration. 2019. Siemens Healthineers. Saatavilla: https://static.healthcare.siemens.com/siemens_hwem-hwem_sxxa_websites-context-root/wcm/idc/groups/public/@global/@imaging/@mri/documents/download/mda4/otix/~edisp/siemens-healthineers-mri_magnetom_altea_epd_brochure-06213748.pdf. Hakupäivä 6.11.2019.

9. Franke Medical - Koneet ja laitteet. 2019. Franke Medical. Saatavilla: http://www.franke-medical.fi/fi/koneet_ja_laitteet/. Hakupäivä 16.11.2019.
10. Rakennusten jäähdytysmarkkinat. 2015. VTT. Saatavilla: https://energia.fi/files/399/Rakennusten_jaahdytysmarkkinat_18-12-2015.pdf. Hakupäivä 19.11.2019.
11. Tilastot kestävän edunvalvonnan tukena. 2019. Energiateollisuus. Saatavilla: <https://energia.fi/julkaisut/tilastot>. Hakupäivä 10.12.2019.
12. RT 07-11299. 2018. Sisäilmastoluokitus 2018. Sisäympäristön tavoitearvot, suunnitteluohjeet ja tuotevaatimukset. Rakennustieto Oy. Saatavilla: <https://kortistot.rakennustieto.fi/kortit/RT%2007-11299> (vaatii käyttäjälisenssin). Hakupäivä 1.11.2019.
13. Ilmastonmuutos ja lämmitystarveluku paikkatietoarvioina Suomessa. 2014. Ilmatieteenlaitos. Saatavilla: <https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/135722/2014nro3.pdf>. Hakupäivä 28.11.2019.
14. Laskukaavat: Lämmin käyttövesi. 2019. Motiva. Saatavilla: https://www.motiva.fi/julkinen_sektori/kiinteiston_energian kaytto/kulutuksen_normitus/laskukaavat_lammin_kayttovesi. Hakupäivä 10.12.2019.
15. Ecowec-hybridivaihdin. 2019. Wasenco. Saatavilla: <http://www.ecowec.com/tuotteet/>. Hakupäivä 7.11.2019.
16. Tuotantosi on energianlähde. 2019. Calefa. Saatavilla: <http://www.calefa.fi/fi/>. Hakupäivä 26.11.2019.
17. Aurinkovoima. 2019. Vattenfall. Saatavilla: <https://www.vattenfall.fi/sahkosopimukset/tuotantomuodot/aurinkovoima/>. Hakupäivä 15.11.2019.
18. Aurinkolämpöjärjestelmien hintatasot ja kannattavuus Suomessa. 2019. Finsolar. Saatavilla: <https://finsolar.net/kannattavuus/aurinkolampojarjestelmien-hintatasot-ja-kannattavuus-suomessa/>. Hakupäivä 15.11.2019.

19. Miten maalämpö toimii? 2019. Gebwell. Saatavilla: <https://gebwell.fi/maalampo/maalamon-toimintaperiaate/>. Hakupäivä 29.11.2019.

20. Tetris 2 Technical Catalogue. 2017. Swegon., Saatavilla: http://www1.swegon.com/Global/PDFs/Chillers%20and%20heat%20pumps/_fi/Tetris%202%20Technical%20catalog.pdf. Hakupäivä 12.12.2019.

LIITTEET

Liite 1. Ecowec-kannattavuuslaskelma, jäteveden LTO, 2 vaihdinta

Liite 2. Ecowec-kannattavuuslaskelma, jäteveden LTO, 4 vaihdinta

Liite 3. Calefa-kannattavuuslaskelma, nesteen hukkalämpö

Liite 4. Calefa-kannattavuuslaskelma, ilman hukkalämpö

Liite 5. Gebwell- kannattavuuslaskelma, maalämpö

Liite 6. Motivan kannattavuuslaskelma, PILP

Liite 7. Motivan kannattavuuslaskelma, jäteveden LTO, 2 vaihdinta

Liite 8. Motivan kannattavuuslaskelma, lauhdelämmön LTO

Kohteen Sairaala 2 kpl Ecowec R10 HST tiedot:

Kiinteistötyyppi	Sairaala / Uusi kohde
Lämpöpumpun tyyppi	LP
Lämmön / sähkön hinta (alv 0 %)	70.0 €/MWh / -
Jäteveden kulutus	65700.0 m ³ /vuosi
Jäteveden sisäänmenolämpötila	32.0 °C
LP-nesteen sisäänmenolämpötila	2.0 °C

Mitoituksen tulokset:

Lämpöenergiaa hukataan viemäriin	1839600 kWh
Ecowec säästää energiaa	580210 kWh
LTO-hyötysuhde	31.50 %
Ecowec säästää CO ₂ -päästöjä	197850 kg/vuosi

Ecowec R10 HST (Pro pack) säästää	40610 €/v (alv 0 %)
Ecowecin takaisinmaksuaika on	1.6 vuotta
Sijoitetun pääoman tuotto-% (ROI)	62.9 %
Investointikustannus	64580 € (alv 0 %)

Investointikustannus sisältää 2 kpl Ecowec R10 HST-hybridivaihdinta

Ecowec: R10 HST
Kytkenä: LP
Kokonaisteho: 88.31 kW

Jätevesi: Sarjaan
Toisioneste: Sarjaan
Lämpökond.: 3557.84 W/K



Teho 40.4 kW
 JV ulos 28.5 °C
 LP ulos 14.7 °C
 LTO-% 15.0 %
 Sääs. ener. 265700 kWh/v



Teho 47.9 kW
 JV ulos 24.4 °C
 LP ulos 8.9 °C
 LTO-% 15.5 %
 Sääs. ener. 314500 kWh/v

Tulokset ovat keskimääräisiä jatkuvia tehoja 18 tuntia/vrk ja energiantuottoja vuositasolla.

ECOWEC KANNATTAVUUSLASKURI, JÄTEVEDEN LTO, 4 VAIHDINTA

LIITE 2

Kohteen Sairaala 4 kpl Ecowec R10 HST tiedot:

Kiinteistötyyppi	Sairaala / Uusi kohde
Lämpöpumpun tyyppi	LP
Lämmön / sähkön hinta (alv 0 %)	70.0 €/MWh / -
Jäteveden kulutus	65700.0 m ³ /vuosi
Jäteveden sisäänmenolämpötila	32.0 °C
LP-nesteen sisäänmenolämpötila	2.0 °C

Mitoituksen tulokset:

Lämpöenergiaa hukataan viemäriin	1839600 kWh
Ecowec säästää energiaa	831720 kWh
LTO-hyötysuhde	45.20 %
Ecowec säästää CO ₂ -päästöjä	283620 kg/vuosi

Ecowec R10 HST (Pro pack) säästää	58220 €/v (alv 0 %)
Ecowecin takaisinmaksuaika on	2.2 vuotta
Sijoitetun pääoman tuotto-% (ROI)	45.1 %
Investointikustannus	129160 € (alv 0 %)

Investointikustannus sisältää 4 kpl Ecowec R10 HST-hybridivaihdinta

Ecowec: R10 HST
KytKentä: LP
Kokonaisteho: 126.59 kW

Jätevesi: Rinnan
Toisioneste: Rinnan
Lämpökond.: 6327.53 W/K



Teho 31.6 kW
JV ulos 21.1 °C
LP ulos 11.1 °C
LTO-% 36.2 %
Sääs. ener. 207900 kWh/v


Teho 31.6 kW
JV ulos 21.1 °C
LP ulos 11.1 °C
LTO-% 36.2 %
Sääs. ener. 207900 kWh/v



Teho 31.6 kW
JV ulos 21.1 °C
LP ulos 11.1 °C
LTO-% 36.2 %
Sääs. ener. 207900 kWh/v


Teho 31.6 kW
JV ulos 21.1 °C
LP ulos 11.1 °C
LTO-% 36.2 %
Sääs. ener. 207900 kWh/v

Hukkalämmönlähde  Ilma Neste

Nykyinen hukkaenergian lämpötila (°C)  5  25 °C 40

Sallittu hukkaenergian lämpötila (°C)  0  5 °C 30

Virtaama 

Prosessin käyttöaika vuorokaudessa (h)  1  24 h 24

TAI Prosessin käyttöaika vuodessa  h

Tuotettava nesteen lämpö (°C)  40  60 °C 95

Lämmitysenergian hinta (€/MWh)  10  40 100

Sähköenergian hinta (€/MWh)  30  90 150

Kohteen nimi 

CALERI® ENERGIANKIERRÄTYS

Case 1, 15.11.2019

Hukkateho

Hukkaenergian virtaama	2.1 kg/s
Prosessin käyttöaika vuorokaudessa	24.0 h/vuorok.
Prosessin käyttöaika vuodessa	8760 h/vuosi
Lämpötila ennen lämmöntalteenottoa	25 °C
Lämpötila talteenoton jälkeen	5 °C
Hukkaenergian lämpöteho	175 kW

Laitteiston energian kulutus

Sähköteho	65 kW
Sähkön kulutus vuodessa	573 MWh
Sähköä vuodessa	51 559 €


Saatava hyöty



Lämpöteho	235 kW
Lämpötila neste	60 °C
Lämpöpumpun COP	3.9
Lämpöenergia vuodessa	2 056 MWh
Lämpöenergian arvo	82 254 €



Säästö vuodessa 30 695 €



Investoinnin takaisinmaksuaika 3.0 vuotta


Investoinnin hinta Calefan toteutuksella 91 092 €*



Hukkalämmönlähde  Ilma Neste


Nykyinen hukkaenergian lämpötila (°C)  10  100



Suhteellinen kosteus (%)  0  100



Sallittu hukkaenergian lämpötila (°C)  5  50



Virtaama 


Prosessin käyttöaika vuorokaudessa (h)  1  24

TAI Prosessin käyttöaika vuodessa  h

Tuotettava nesteen lämpö (°C)  40  95

Lämmitysenergian hinta (€/MWh)  10  100

Sähköenergian hinta (€/MWh)  30  150

Kohteen nimi 



CALERI® ENERGIANKIERRÄTYS

Case 1, 28.11.2019

Hukkateho

Hukkaenergian virtaama	3 741.6 kg/s 3 000.0 m3/s
Prosessin käyttöaika vuorokaudessa	24.0 h/vuorok.
Prosessin käyttöaika vuodessa	8760 h/vuosi
Lämpötila ennen lämmöntalteenottoa	10 °C
Lämpötila talteenoton jälkeen	5 °C
Hukkaenergian lämpöteho	18 952 kW

Laitteiston energian kulutus

Sähköteho	6 015 kW
Sähkön kulutus vuodessa	52 688 MWh
Sähköä vuodessa	4 741 888 €

Saatava hyöty

Lämpöteho	24 398 kW
Lämpötila neste	45 °C
Lämpöpumpun COP	4.5
Lämpöenergia vuodessa	213 727 MWh
Lämpöenergian arvo	8 549 100 €

Säästö vuodessa	3 807 212 €
Investoinnin takaisinmaksuaika	1.4 vuotta
Investoinnin hinta Calefan toteutuksella	5 241 758 €*

Valitse lämmitystapa:

Patteri Lattialämmitys

Lämpöpumpun vuosihyötysuhde

3.2

Arvo perustuu valitsemaasi
lämmitystapaan

Nykyinen lämmitysmuoto

Öljy Sähkölämmitys

Nykyinen energian kulutus

1260000 kWh

Öljyn hinta ⓘ

0.09 €/litra

Öljykattilan hyötysuhde:

50 %

Lämmityssähkön hinta ⓘ

0.04 €/kWh

Tässä säästösi, ole hyvä!

50400,00 €

Nykyisen lämmitysjärjestelmän
vuosittainen kustannus

15750,00 €

Maalämpöjärjestelmän vuosittainen
kustannus

→ Vuotuinen säästö: **34650,00 €**

Maalämpöjärjestelmän investointi **350000** €

Takaisinmaksuaika

10 Vuotta 1 Kuukautta

Investoinnin tuotto 10 %

Kuukausittainen tuotto
15 vuoden ajalta

943,06 € / kk

LATAA LASKELMA
SÄHKÖPOSTIISI

PYYDÄ TARJOUS
MAALÄMPÖRATKAISUSTA



TOIMENPITEEN TALOUDELLINEN KANNATTAVUUS

TOIMENPIDE:	Esimerkki
PÄIVÄMÄÄRÄ/TEKIJÄ:	3.12.2019 / Anu Juvani

LASKENTA-ARVOT

Tarkasteluaika	20 a
Reaalinen laskentakorko	4,0 %

TOIMENPITEEN SÄÄSTÖVAIKUTUKSET

Kaukolämpö	Energian säästö	219,0 MWh/a
	Yksikköhinta	40,0 €/MWh
	Energian hinnan nousu	2,0 %/a
Sähkö	Energian säästö	-72,0 MWh/a
	Yksikköhinta	90,0 €/MWh
	Energianhinnan nousu	2,0 %/a
Energialaji 3	Energian säästö	MWh/a
	Yksikköhinta	€/MWh
	Energianhinnan nousu	%/a
Vesi	Veden säästö	0,0 m ³ /a
	Yksikköhinta	0,0 €/m ³
	Veden hinnan nousu	0,0 %/a
Muut kuin energiaan liittyvät säästöt vuodessa	Summa	0 €/a

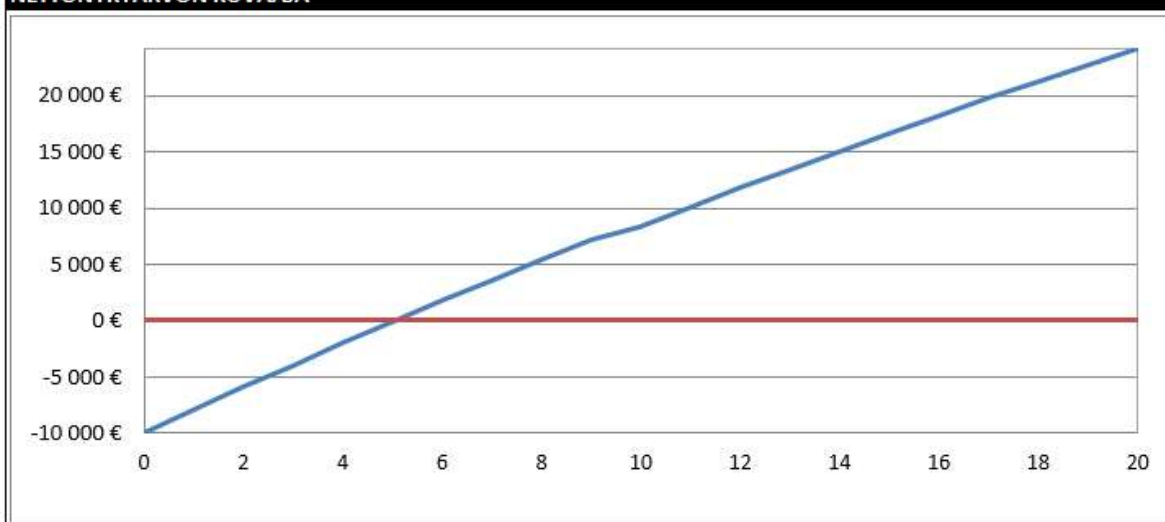
TOIMENPITEEN KUSTANNUKSET

Investoinnin suuruus	10 000 €
Huolto- ja korjauskustannukset vuosittain	200 €/a
Kertaluonteinen huolto- ja korjauskustannus	500 €/a
Huolto- ja korjauskustannuksen toteutusvuosi	10 a

TALOUDELLISET TUNNUSLUVUT LASKENNAN TULOKSENA

Energia- ja vesikustannusten nettosäästöt vuodessa	2 280 €/a
Toimenpiteen nettosäästö vuodessa	2 080 €/a
Suora takaisinmaksuaika	4,81 a
Nettonykyarvo	24 205 €
Sisäinen korkokanta	22,76 %

NETTONYKYARVON KUVAAJA





TOIMENPITEEN TALOUDELLINEN KANNATTAVUUS

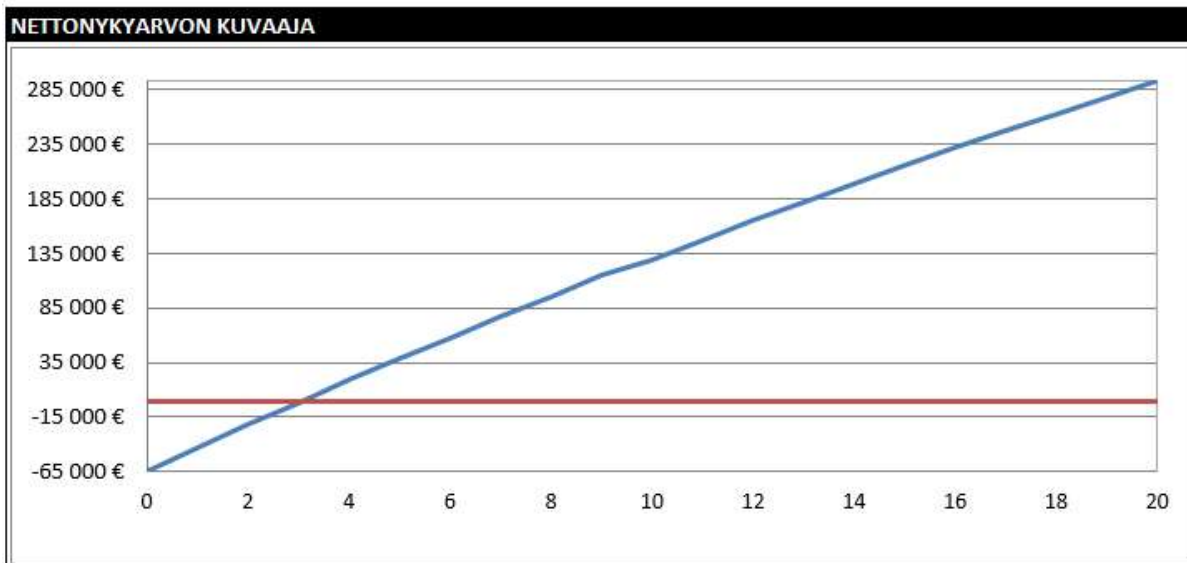
TOIMENPIDE:	Esimerkki
PÄIVÄMÄÄRÄ/TEKIJÄ:	3.12.2019 / Anu Juvani

LASKENTA-ARVOT	
Tarkasteluaika	20 a
Reaalinen laskentakorko	4,0 %

TOIMENPITEEN SÄÄSTÖVAIKUTUKSET			
Kaukolämpö	Energian säästö		580,0 MWh/a
	Yksikköhinta		40,0 €/MWh
	Energian hinnan nousu		2,0 %/a
Sähkö	Energian säästö		-0,9 MWh/a
	Yksikköhinta		90,0 €/MWh
	Energianhinnan nousu		2,0 %/a
Energialaji 3	Energian säästö		MWh/a
	Yksikköhinta		€/MWh
	Energianhinnan nousu		%/a
Vesi	Veden säästö		0,0 m ³ /a
	Yksikköhinta		0,0 €/m ³
	Veden hinnan nousu		0,0 %/a
Muut kuin energiaan liittyvät säästöt vuodessa	Summa		0 €/a

TOIMENPITEEN KUSTANNUKSET	
Investoinnin suuruus	65 000 €
Huolto- ja korjauskustannukset vuosittain	1 300 €/a
Kertaluonteinen huolto- ja korjauskustannus	3 250 €/a
Huolto- ja korjauskustannuksen toteutusvuosi	10 a

TALOUDELLISET TUNNUSLUVUT LASKENNAN TULOKSENA	
Energia- ja vesikustannusten nettosäästöt vuodessa	23 119 €/a
Toimenpiteen nettosäästö vuodessa	21 819 €/a
Suora takaisinmaksuaika	2,98 a
Nettonykyarvo	293 546 €
Sisäinen korkokanta	36,20 %





TOIMENPITEEN TALOUDELLINEN KANNATTAVUUS

TOIMENPIDE:	Esimerkki
PÄIVÄMÄÄRÄ/TEKIJÄ:	3.12.2019 / Anu Juvani

LASKENTA-ARVOT

Tarkasteluaika	20 a
Reaalinen laskentakorko	4,0 %

TOIMENPITEEN SÄÄSTÖVAIKUTUKSET

Kaukolämpö	Energian säästö	3 221,0 MWh/a
	Yksikköhinta	40,0 €/MWh
	Energian hinnan nousu	2,0 %/a
Sähkö	Energian säästö	0,0 MWh/a
	Yksikköhinta	90,0 €/MWh
	Energianhinnan nousu	2,0 %/a
Energialaji 3	Energian säästö	MWh/a
	Yksikköhinta	€/MWh
	Energianhinnan nousu	%/a
Vesi	Veden säästö	0,0 m ³ /a
	Yksikköhinta	0,0 €/m ³
	Veden hinnan nousu	0,0 %/a
Muut kuin energiaan liittyvät säästöt vuodessa	Summa	0 €/a

TOIMENPITEEN KUSTANNUKSET

Investoinnin suuruus	250 000 €
Huolto- ja korjauskustannukset vuosittain	5 000 €/a
Kertaluonteinen huolto- ja korjauskustannus	12 500 €/a
Huolto- ja korjauskustannuksen toteutusvuosi	10 a

TALOUDELLISET TUNNUSLUVUT LASKENNAN TULOSENA

Energia- ja vesikustannusten nettosäästöt vuodessa	128 840 €/a
Toimenpiteen nettosäästö vuodessa	123 840 €/a
Suora takaisinmaksuaika	2,02 a
Nettonykyarvo	1 784 262 €
Sisäinen korkokanta	52,59 %

NETTONYKYARVON KUVAAJA

