



samk

Satakunnan ammattikorkeakoulu  
Satakunta University of Applied Sciences

HEIDI LÄHTEENMÄKI

# **Energiatehokkuussuunnitelma For- tum Waste Solutions Oy:lle**

ENERGIA- JA YMPÄRISTÖTEKNIIKAN TUTKINTO-OH-  
JELMA  
2021

Tekijä Lähteenmäki, Heidi	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Päivämäärä Tammikuu 2022
	Sivumäärä 46 + 9	Julkaisun kieli suomi
Energiatehokkuussuunnitelma Fortum Waste Solutions Oy:lle		
Tutkinto-ohjelma Energia- ja ympäristötekniikka		
<p><b>Tiivistelmä</b></p> <p>Opinnäytetyön tarkoituksena oli tehdä Fortum Waste Solutions Oy:n Kirrinsannan jätteenkäsittelylaitokselle energiaterhokkuussuunnitelma, joka vaaditaan viimeisimmässä ympäristöluvassa. Suunnitelmaa varten kartoitettiin Kirrinsannan jätteenkäsittelylaitoksen toiminta ja energian kulutus. Lisäksi laskettiin eristämättömien varastosäiliöiden lämpöhäviöitä ja varastosäiliöiden lämmitysjärjestelmän luovuttama teho sekä tehtiin toimenpide-ehdotuksia energian säättämiseksi.</p> <p>Opinnäytetyö oli työelämälähtöinen ja se tehtiin projektina yhteistyössä Kirrinsannan jätteenkäsittelylaitoksen työntekijöiden kanssa. Heiltä saatiin tarvittavat tiedot jätteenkäsittelylaitoksen toiminnasta ja energian kulutuksesta. Energiaterhokkuussuunnitelman tekemistä ohjaa lainsäädäntö ja sen sisällön määrittää jätteen käsittelyn parhaan käytössä olevan tekniikan vertailuasiakirja. Energian kulutustietojen ja vertailuasiakirjan pohjalta Kirrinsannan jätteenkäsittelylaitokselle koottiin energiaterhokkuussuunnitelma, joka on erillinen dokumentti.</p> <p>Opinnäytetyötä tehdessä selvisi, että Kirrinsannan jätteenkäsittelylaitoksella kuluu eniten energiaa varastosäiliöiden lämmitykseen. Lisäksi jätteenkäsittelylaitoksen kokonaisenergiankulutus oli jätteen käsittelyn parhaan käytössä olevan tekniikan vertailuasiakirjan mukaan keskimääräistä suurempaa. Varastosäiliöiden lämpöhäviölaskelmilla työssä osoitettiin konkreettisemmin eristämättömien varastosäiliöiden lämpöhäviöiden määrää sekä niiden eristämällä saatavia energian säästöjä. Lämmitysjärjestelmän laskettu teho oli suuntaa-antava, mutta sen pohjalta pystyttiin toteamaan, että tulevan kaukolämpöliittymän teho on riittävä.</p>		
<p><a href="#">Asiasanat</a> energiaterhokkuus, energiankulutus, jätteiden käsittely, lämpöenergia, lämpöhäviö</p>		

Author Lähteenmäki, Heidi	Type of Publication Bachelor's thesis	Date January 2022
	Number of pages 46 + 9	Language of publication: finnish
Energy efficiency plan for Fortum Waste Solutions Oy		
Degree program Energy and Environmental Engineering		
<p data-bbox="312 685 424 707"><b>Abstract</b></p> <p data-bbox="312 719 1447 931">The purpose of the thesis was to make an energy efficiency plan for Fortum Waste Solutions Oy's Kirrinsanta waste treatment plant, which is required in the latest environmental permit. For the plan, the operation and energy consumption of the Kirrinsanta waste treatment plant were surveyed. In addition, the heat losses of the uninsulated storage tanks and the power delivered by their heating system were calculated and a measure was proposed to regulate the energy.</p> <p data-bbox="312 976 1447 1223">The thesis was working life based and was done in collaboration with the employees of the Kirrinsanta waste treatment plant. They provided the necessary information on the operation and energy consumption of the waste treatment plant. The drawing up of an energy efficiency plan is guided by legislation and its content is determined by the BAT reference document for waste management. Based on the energy consumption data and the reference document, an energy efficiency plan was compiled for the Kirrinsanta waste treatment plant, which is a separate document.</p> <p data-bbox="312 1267 1447 1559">According to the thesis, it became clear that the Kirrinsanta waste treatment plant uses the most energy to heat storage tanks. In addition, according to the BAT reference document for waste treatment, the total energy consumption of the waste facility was higher than average. The heat loss calculations of storage tanks showed more concretely the amount of heat loss of uninsulated storage tanks and the energy savings obtained by insulating them. The calculated capacity of the heating system was indicative but based on it was possible to conclude that the capacity of the future district heating connection is sufficient.</p>		
<p data-bbox="312 1738 456 1760"><u>Key words</u></p> energy efficiency, energy consumption, thermal energy, thermal loss, waste treatment		

# SISÄLLYS

1 JOHDANTO .....	5
2 FORTUM WASTE SOLUTIONS OY .....	6
2.1 Kirrinsannan jätteenkäsittelylaitos .....	6
2.2 Varastosäiliöiden lämmitysjärjestelmä .....	8
2.3 Energian kulutus.....	9
3 ENERGIATEHOKKUUS.....	12
3.1 Energiatehokkuussopimus.....	12
3.2 Energiakatselmus .....	12
4 ENERGIATEHOKKUUSSUUNNITELMA.....	14
4.1 Energiatehokkuussuunnitelman tekemistä ohjaava lainsäädäntö.....	14
4.2 Energiatehokkuussuunnitelman sisältö .....	15
4.3 Laskut.....	16
5 LÄMPÖENERGIALÄHTEIDEN VERTAILU.....	18
5.1 Öljylämmitys.....	18
5.2 Kaukolämpö .....	19
5.3 Laskut.....	20
5.4 Päätelmät .....	23
6 LÄMPÖHÄVIÖT .....	24
6.1 Laskut.....	24
6.1.1 Laskuissa käytetyt kaavat .....	25
6.1.2 Laskuissa käytettyjä varastosäiliöiden tietoja.....	29
6.1.3 Esimerkki 1 .....	31
6.1.4 Esimerkki 2.....	33
6.1.5 Esimerkki 3 .....	35
6.1.6 Esimerkki 4.....	37
6.2 Päätelmät .....	39
7 TOIMENPIDE-EHDOTUKSIA .....	41
7.1 Valaistuksen muuttaminen energiatehokkaammaksi .....	41
7.2 Putkien ja varastosäiliöiden eristäminen .....	42
7.3 Energian kulutuksen seuranta .....	43
7.4 Tekniikan energiatehokkuus ja mittauspisteiden lisääminen.....	43
7.5 VOC-halli aurinkoenergialla toimivaksi .....	43
8 YHTEENVETO .....	45
LÄHTEET	
LIITTEET	

## 1 JOHDANTO

Opinnäytetyön tarkoituksena on tehdä energiatehokkuussuunnitelma Fortum Waste Solutions Oy:n Kirrinsannan jätteenkäsittelylaitokselle sekä toimenpide-ehdotuksia energian säästämiseksi. Aihe on työelämälähtöinen ja tarve sen tekemiselle tuli Kirrinsannan jätteenkäsittelylaitoksen viimeisen ympäristöluvan myöntämisen jälkeen.

Opinnäytetyössä tutustutaan aluksi Kirrinsannan jätteenkäsittelylaitoksen toimintaan, jonka jälkeen kartoitetaan mihin kaikkialle energiaa kuluu. Lisäksi tutustutaan energiatehokkuussuunnitelmaa edellyttävään lainsäädäntöön ja sen sisältöä ohjaavaan jätteenkäsittelyn vertailuasiakirjaan. Kerättyjen tietojen pohjalta tehdään energiatehokkuussuunnitelma, yhteistyössä Kirrinsannan jätteenkäsittelylaitoksen käyttöpäällikön, Erkki Laineen, ja Fortum Waste Solutions Oy:n Länsi-Suomen materiaalikeskusten päällikön, Tommi Niemisen, kanssa. Lisäksi opinnäytetyössä tehdään lämpöhäviölaskelmia varastosäiliölle eri sääolosuhteissa sekä lasketaan öljykattilan luovuttama lämpöteho kahtena eri ajankohtana. Lämpöhäviölaskelmat tehdään teoreettiselta pohjalta ja niiden tarkoitus on osoittaa eristämättömistä varastosäiliöistä aiheutuvaa energian turhan kulutuksen määrää. Raskaalla polttoöljyllä toimivan kattilan luovuttaman lämpötehon laskelmilla arvioidaan tulevan kaukolämpöliittymän tehon riittävyyttä.

Energiatehokkuussuunnitelman tekemistä ohjaa jätteenkäsittelyn parhaan käytössä olevan tekniikan vertailuasiakirja (Best Available Techniques (BAT) Reference Document for Waste Treatment). Sen sisällössä määritetään erilaisia toimenpiteitä, joilla pyritään energian tehokkaaseen käyttöön. (Canova, Pinasseau, Roth, Roudier & Zerger 2018, 215.)

## 2 FORTUM WASTE SOLUTIONS OY

Fortum Waste Solutions Oy on perustettu vuonna 1979 ja on osa Fortum konsernin kierrätys ja jätepalveluita, päätoimialana ongelmajätehuolto (Fortum www-sivut n.d.1.; Finder www-sivut n.d.). Fortumin palveluihin kuuluu muun muassa asiakasyritysten ohjaaminen vaarallisten- ja tavanomaisten jätteiden lajittelussa, erilaisten jättemateriaalien kierrätys ja käsittely asianmukaisesti, erilaiset asiantuntijapalvelut, jätehuoltolaitteisiin liittyvät palvelut sekä jäteasioiden huolto- ja vuokrauspalvelut. Fortum Waste Solutions Oy:llä on valmius kerätä, kuljettaa ja loppukäsitellä jätteitä asianmukaisesti. Käsittelymenetelminä käytetään esimerkiksi ongelmajätteen termistä käsittelyä korkealämpötilapoltoissa tai pilaantuneiden jätevesien haihduttamista. (Fortum www-sivut n.d.1.)

Kierrätysraaka-ainetta Fortum Waste Solutions Oy pystyy tekemään muovi- ja metallijätteestä. Metallit lajitellaan eri jakeisiin ja niistä valmistetaan teollisuuden käyttöön menevää granulaattia. Kierrätysmuovista Fortumilla on oma tuote, Fortum Circo®-granulaatti, joka menee myös teollisuuden käyttöön. (Fortum www-sivut n.d.1.)

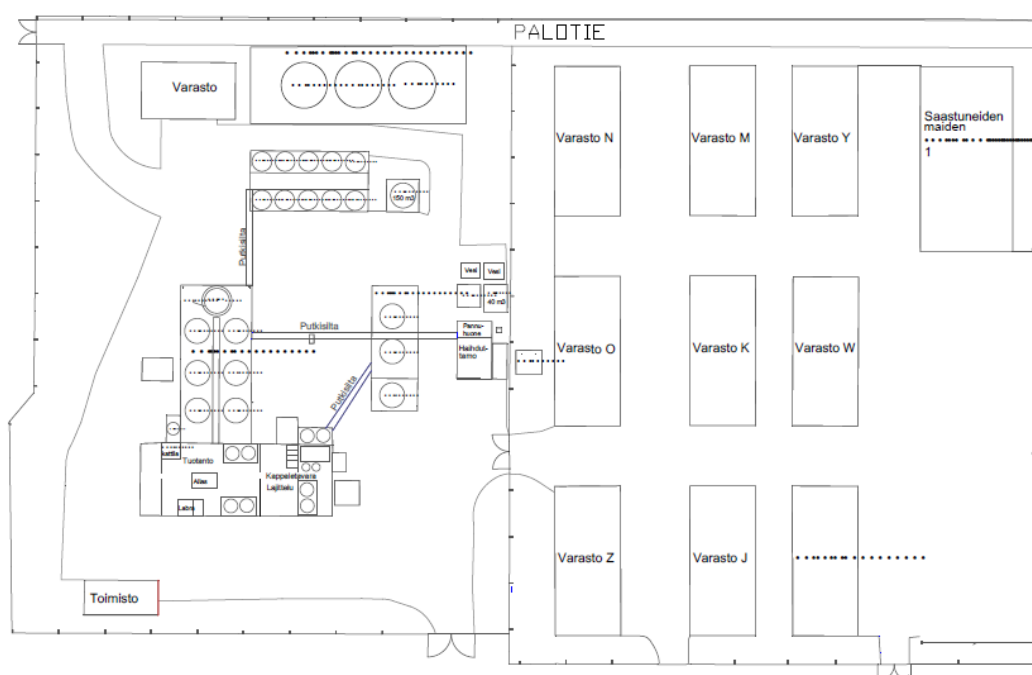
Fortum Waste Solutions Oy:n liikevaihto oli vuonna 2020 162,3 miljoonaa euroa ja yrityksessä työskenteli samana vuonna 376 työntekijää. (Finder www-sivut n.d.) Fortumilla on useita erikokoisia toimipisteitä ympäri Suomea. Porissa sijaitsee niistä kolme, joista yksi on Kirrinsannan jätteenkäsittelylaitos. (Fortum www-sivut n.d.1.)

### 2.1 Kirrinsannan jätteenkäsittelylaitos

Fortum Waste Solutions Oy:n Kirrinsannan jätteenkäsittelylaitoksen alueella on toiminta alkanut vuonna 1985, jolloin siellä on käsitelty laivojen öljyjä ja pilssivesiä. Jätteenkäsittelylaitoksen toiminnasta on vastannut vuodesta 1988 alkaen Ekokem, joka on myöhemmin yhdistynyt Fortum konserniin. Selvityksen teko hetkellä Kirrinsannan jätteenkäsittelylaitoksen toimintaan kuuluu öljyisten vesien ja -jätteiden varastointi sekä vaarallisten jätteiden varastointi, lajittelu ja uudelleen pakkaus. (Ympäristölupapäätös dnro ESAVI/44401/2019.) Viimeisimmässä ympäristölupahakemuksessa on

haettu lupaa uudelle jätevesienkäsittely toiminnalle, jolle ei ole kuitenkaan vielä rakennettu tarvittavaa laitteistoa (Laine henkilökohtainen tiedonanto 8.10.2021).

Kirransannan jätteenkäsittelylaitoksen alueella sijaitsee varastokatoksia, VOC-halli ja suodatinkontti, tuotantohalli, varastosäiliöitä, toimistorakennus, varastorakennus ja parakki. Lisäksi alueella on vanha öljyjenkäsittelyyn tarkoitettu haihduttamo, jonka kanssa samassa rakennuksessa sijaitsee varastosäiliöiden lämmitykseen käytettävä öljykattila. Rakennusten sijoittuminen tontilla näkyy alla olevassa kuvassa 1. Varastokatoksia on yhteensä yhdeksän kappaletta ja niihin otetaan vastaan pääasiassa kiinteitä jätteitä. Yhdessä varastokatoksessa on allas öljyisten jätteiden vastaanottoa varten. VOC-halli on pilaantuneiden maiden käsittelyyn tarkoitettu umpinainen pressuhalli, jonka yhteydessä on suodattimilla varustettu kontti. Tuotantohallissa on tilat öljyisten jätteiden käsittelyyn sekä verstaas ja toimisto. (Nieminen henkilökohtainen tiedonanto 3.6.2021; Ruohola henkilökohtainen tiedonanto 3.6.2021; Ympäristölupapäätös dnro ESAVI/44401/2019.)



Kuva 1. Kirransannan jätteenkäsittelylaitoksen aluekartta. Toimistorakennuksen vieressä sijaitseva parakki puuttuu kuvasta. (Laine sähköposti 15.10.2021.)

Varastosäiliöitä Kirransannan jätteenkäsittelylaitoksen alueella on 28, joista yksi ei ole käytössä. Säiliöitä käytetään pääasiassa öljyisten jätteiden varastointiin.

Varastoitavasta jätteestä noin 90 % on vettä ja loput öljyä ja muita epäpuhtauksia. (Laine henkilökohtainen tiedonanto 8.10.2021.)

## 2.2 Varastosäiliöiden lämmitysjärjestelmä

Kirransannan jätteenkäsittelylaitoksen varastosäiliöt lämmitetään selvityksen tekohehkellä 1,5 MW öljykattilalla, jonka tehot on kuristettu alle 1 MW käsittelylaitoksen toiminnan supistumisen jälkeen. (Nieminen henkilökohtainen tiedonanto 3.6.2021.) Öljykattilan on rakentanut Konepaja Grönroos Oy ja se on tyypiltään tulitorvi-tuliputkikattila. Öljykattilassa on lieriön muotoinen tulipesä, joka sijoittuu kattilan alaosaan. Sen konvektio-osa muodostuu tuliputkista, jotka sijaitsevat tulipesän ympärillä. (Konepaja Grönroos Oy n.d.)

Öljykattila on varustettu Oilon öljypolttimella, joka on tyypiltään RP-203H. Se on kahdella suuttimella varustettu täysautomaattinen paineöljypoltin. Öljykattila ja -poltin näkyvät alla olevassa kuvassa 2. Öljy lämmitetään ensin esilämmittimellä tiettyyn lämpötilaan, jonka jälkeen polttimessa oleva öljypumppu sumuttaa sen ensimmäiselle suuttimelle sytyttäväksi. Öljyn palaessa ensimmäisellä suuttimella öljypoltin käy pienellä teholla. Lämpötehon tarpeen lisääntyessä järjestelmä ohjaa öljyn toiselle suuttimelle. Tehojen tarpeen taas pienentyessä tai loppuessa kokonaan suuttimet sammuvat. Öljypolttimen yhteydessä on puhallin, joka huolehtii järjestelmän palamisilmasta. (Oilon Oy n.d.)





Kuva 2. Kirrinsannan jätteenkäsittelylaitoksen öljypoltin ja -kattila. (Kuvaaja: Heidi Lähteenmäki)

Kiertovesi lähtee kattilalta kahta eri putkilinjaa pitkin, joista toinen menee raskaan polttoöljyn säilytykseen käytettävälle säiliölle ja toinen varastosäiliöiden lämmitykseen. Varastosäiliöiden lämmitykseen menevä putkilinja haarautuu vielä kahteen eri linjaan, joista toinen menee suoraan kolmelle varastosäiliölle ja toinen lämmönsiirtimelle. Lämmönsiirtimeltä lähtevällä kiertovesilinjalla lämmitetään loput järjestelmässä olevista varastosäiliöistä ja tarvittaessa tuotantohallin tiloja lämmittävän puhaltimen ilma. (Laine henkilökohtainen tiedonanto 8.10.2021.) Liitteessä 1 on PI-kaaviot Kirrinsannan toimipisteen lämmitysjärjestelmästä, joissa kiertovesilinjat ja siihen kuuluvat laitteet on merkitty sinisellä.

### 2.3 Energian kulutus

Kirrinsannan jätteenkäsittelylaitoksen alueella kuluu sähkö- ja lämpöenergiaa. Sähköenergiaa käytetään valaistukseen, pumppujen käyttöön sekä käyttöveden ja rakennusten lämmitykseen. Raskaalla polttoöljyllä tuotettua lämpöenergiaa käytetään varastosäiliöiden lämmitykseen. Lisäksi toimipisteessä on käytössä auto, jonka polttoaineena on diesel sekä trucki, jonka polttoaineena kevyt polttoöljy. (Laine henkilökohtainen tiedonanto 11.10.2021.)

Kirransannan jätteenkäsittelylaitoksen alueella sijaitsevista varastosäiliöistä kaksi on eristämättömiä ja 11 on lämmittämättömiä (Laine henkilökohtainen tiedonanto 11.10.2021). Varastosäiliöitä lämmitetään vuoden kylmimpinä aikoina, eikä kaikkia säiliöitä yleensä tarvitse lämmittää yhtä aikaa. Lämmitysjärjestelmä on tarkoitus vaihtaa kaukolämpöön talvella 2022 ja tästä on saatu tarjous Pori Energialta. (Nieminen henkilökohtainen tiedonanto 3.6.2021.) Varastoitavat jätteet pumpataan säiliöihin sähkökäyttöisillä pumpuilla, joita alueella on 25 kappaletta. Pumppujen keskimääräinen teho on 5,5 kW. (Laine henkilökohtainen tiedonanto 11.10.2021.)

Varastokatoksissa energiaa kuluu ainoastaan valaistukseen. Siellä on loisteputkivalaistus, 12 loisteputkea per katos sekä yksi elohopealamppu katoksessa, jossa on allas öljyisten jätteiden vastaanottoa varten. Varastokatosten valaistusta ohjataan katkaisijoilla. Katosalueen ulkovalaistuksena käytetään elohopealamppuja, joita on yhteensä 12 kappaletta. Ulkovalaistusta ohjataan ajastimella. (Laine henkilökohtainen tiedonanto 11.10.2021.)

VOC-hallissa käsitellään pilaantuneita maita ja se on käytössä ainoastaan kesällä (Ruohola henkilökohtainen tiedonanto 3.6.2021). Hallista imetään imureiden avulla ilmaa suodatinkonttiin, jossa se menee aktiivihiihliuodattimien läpi ja sieltä johdetaan ulkoilmaan. VOC-hallilla energiaa kuluu imureiden ja yhden uppopumpun käyttöön. (Laine henkilökohtainen tiedonanto 11.10.2021.)

Toimistorakennuksessa, tuotantohallin toimistotiloissa ja parakkirakennuksessa on suora sähkölämmitys ja yhteensä 4 kappaletta ilmalämpöpumppuja. Tuotantohallissa on tällä hetkellä käytössä yksi koneellinen poistoilmanvaihtokone ja tarvittaessa siellä saa joitakin kohde poistoja päälle. Kohde poistot eivät ole jatkuvassa käytössä. (Ruohola henkilökohtainen tiedonanto 3.6.2021.) Toimistotiloissa on led-loisteputket, joita ohjataan katkaisijoilla. Tuotantohallissa on myös led-loisteputket, joista osaa ohjataan liiketunnistimilla ja osaa katkaisijoilla. (Laine henkilökohtainen tiedonanto 11.10.2021.)

Varastorakennuksessa, joka sijaitsee isojen varastosäiliöiden vieressä, on varastotilaa ja pumppuhuone. Siellä sähköä kuluu tilojen lämmitykseen ja valaistukseen.

Lämmityksestä huolehditaan sähköpatterilla. (Laine henkilökohtainen tiedonanto 11.10.2021.)

Kirrensannan jätteenkäsittelylaitoksella on kaksi vesiliittymää (Laine sähköposti 12.10.2021). Lämmin käyttövesi lämmitetään kolmella lämminvesivaraajalla. Lämmin käyttövettä käytetään ainoastaan toimistotiloissa sekä parakissa ja sen käyttö on vähäistä. (Laine henkilökohtainen tiedonanto 8.10.2021) Tässä työssä ei selvitetty Kirrensannan jätteenkäsittelylaitoksen veden kulutusta, eikä arvioitu lämpimän käyttöveden määrää. Lämpimän käyttöveden osuus energian kulutuksesta ajateltiin olevan niin pieni, että sillä ei olisi suurta merkitystä työn kannalta.

### 3 ENERGIATEHOKKUUS

Energiatehokkuus tarkoittaa mahdollisimman tehokasta energian käyttöä (Peda www-sivut n.d.1.). Sen parantamisella pystytään vähentämään kasvihuonekaasujen määrää, energian kulutusta sekä kustannuksia (Energiaviraston www-sivut n.d.). Energiatehokkuudella voidaan vaikuttaa myös energian riittävyyteen ja ulkomailta ostetun energian määrään. Suomen energiatehokkuustoimia ohjaa EU:n energiatehokkuusdirektiivi (EU/27/2012) sekä sen muutos ((EU)2018/2002) ja näiden pohjalta valmisteltu energiatehokkuuslaki (1429/2014). (Työ- ja elinkeinoministeriö www-sivut n.d.1.) Tärkeimpiä energiatehokkuuden parantamistoimia ovat esimerkiksi energiatehokkuussopimukset ja energiakatselmuks (Energiaviraston www-sivut n.d.).

#### 3.1 Energiatehokkuussopimus

Suomen valtio ja eri toimialat ovat tehneet vapaaehtoisia energiatehokkuussopimuksia, joiden tarkoitus on saada kansainväliset energiatehokkuusveloitteet toteutettua. Niillä ohjataan yrityksiä sekä yhteisöjä energiatehokkuuden parantamiseen. Opinnäytetyön teko hetkellä on menossa energiatehokkuussopimuskausi 2017–2025, jossa on neljä eri sopimusalaa: Elinkeinoelämä, joka pitää sisällään energia-alan, teollisuuden ja yksityinen palveluala; kiinteistöala; kunta-ala sekä lämmityspolttonesteiden jakelu. Energiavirasto toimii työ- ja elinkeinoministeriön alla, ja heidän tehtävänä on huolehtia sopimusten valmistelusta, parantamisesta sekä toimeenpanosta. Energiatehokkuussopimuksilla saavutetuista energiansäästöistä Suomi raportoi vuosittain EU:lle. (Työ- ja elinkeinoministeriö www-sivut n.d.2.) Kirrinsannan jätteenkäsittelylaitoksen ei tarvitsisi tehdä energiatehokkuussuunnitelmaa, mikäli heillä olisi käytössä vapaaehtoinen energiatehokkuussopimus.

#### 3.2 Energiakatselmus

Energiakatselmus on yrityksen energiankäytön ja sen säästämahdollisuuksien sekä uusiutuvan energian käytön mahdollisuuksien kartoittamista. Sen tekemiseen ja raportointiin on tehty erilliset ohjeet. Energiakatselmus on suurille yrityksille pakollinen ja tehdään neljän vuoden välein. Sen tekemisestä on säädetty energiatehokkuuslaissa

(1429/2014) ja tekemistä valvoo Energiavirasto. Pienet- ja keskisuuret yritykset voivat myös tehdä vapaaehtoisesti energiakatselmuksen, jota ohjaa valtion kestävä kehityksen yhtiö Motiva. Vapaaehtoiseen energiakatselmukseen on mahdollista saada tukea työ- ja elinkeinoministeriöltä, mikäli se tehdään siihen tarkoitettujen ohjeiden mukaisesti. (Työ- ja elinkeinoministeriö www-sivut n.d.2.) Suuren yrityksen on mahdollista vapautua pakollisen energiakatselmuksen tekemisestä, mikäli sillä on sertifioitua ISO 50 001 energianhallintajärjestelmä tai ISO 14 001 ympäristöjärjestelmä ja EJT+ -energianhallintajärjestelmä (Motiva www-sivut 2020b).

Energiakatselmuksen tekemistä ja raportointia varten on olemassa ohjeet, jotka löytyvät Motivan verkkosivuilta. Kyrönsannan jätteenkäsittelylaitoksen energiatehokkuussuunnitelman tekemisessä käytettiin apuna näitä ohjeita. Ne ovat hyvä muistilista, siitä mitä kaikkea pitää huomioida energiatehokkuutta tarkastellessa. Energiatehokkuussuunnitelmassa tarkastelu painottuu kuitenkin enemmän jätteenkäsittelyprosessiin kuuluvaan energiaan. Vähemmälle tarkastelulle energiatehokkuussuunnitelmassa jää alueen kiinteistöjen ominaisuudet. Niistä energiatehokkuussuunnitelmassa huomioidaan sähköenergian kulutus sekä esimerkiksi lämmityksen- ja valaistuksen tyypit.

## 4 ENERGIATEHOKKUUSSUUNNITELMA

Fortum Waste Solutions Oy:n Kirrinsannan jätteenkäsittelylaitoksen viimeisimmässä ympäristöluvassa edellytetään heitä tekemään energiatehokkuussuunnitelma. Edellytys perustuu Ympäristönsuojelulakiin (527/2013). (Ympäristölupapäätös dnro ESAVI/44401/2019.) Energiatehokkuussuunnitelma on kirjallinen dokumentti, joka tarvittaessa esitetään valvovalle viranomaiselle. Tässä luvussa käsitellään energiatehokkuussuunnitelman tekemiseen ohjaavaa lainsäädäntöä sekä energiatehokkuussuunnitelman sisältöä.

### 4.1 Energiatehokkuussuunnitelman tekemistä ohjaava lainsäädäntö

Kirrinsannan jätteenkäsittelylaitos määritellään direktiivilaitokseksi EU:n teollisuuden päästödirektiivin (2010/75/EU) ja ympäristönsuojelulain (527/2014) mukaan (Ympäristölupapäätös dnro ESAVI/44401/2019). EU:n teollisuuden päästödirektiivin (2010/75/EU) liite 1:ssä määritetään toiminnat, joissa direktiiviä sovelletaan. Liite 1 kohdan 5.1 mukaan se koskee jätehuollon toimintaa, jossa käsitellään tai hyödynnetään vaarallisia jätteitä yli 10 tonnia päivässä. Se koskee myös toimintaan, joka sisältää: b) fysikaaliskemiallisia käsittelyitä tai d) uudelleen pakkaamista ennen 5.1 ja 5.2 kohdissa lueteltuja toimintoja, sekä kohdan 5.5 mukaista vaarallisen jätteen välivarastointia. (EU:n teollisuuden päästödirektiivi 2010/75/EU, Liite 1.) Ympäristönsuojelulain (527/2014) liite 1:n taulukko 1:ssä on määritetty toiminnat, joiden harjoittajat luokitellaan direktiivilaitoksiksi. Taulukon 1 kohdan 13 d) mukaan direktiivilaitoksia ovat muun muassa toiminnan harjoittajat, jotka käsittelevät öljyisiä vesiä ja jätevesiä, jotka on luokiteltu vaarallisiksi jätteiksi sekä pakkaavat vaarallisia jätteitä uudelleen ja kohdan 13 h) mukaan välivarastoivat vaarallisia jätteitä. (Ympäristönsuojelulaki 527/2014, Liite 1.)

Ympäristönsuojelulain (527/2013) 74§ säädetään direktiivilaitoksen energiatehokkuudesta seuraavasti: Direktiivilaitoksen ympäristöluvasta täytyy ilmetä toiminnan energiatehokkuutta ja sen parantamista koskevat määräykset, joiden täytyy olla teknisesti, taloudellisesti ja tuotannollisesti toteuttamiskelpoisia. Määräykset voivat koskea selvitystä ja hallintakeinoja sekä seurantaa. Mikäli laitoksen toimintaa ollaan

uudistamassa radikaalisti, sen ympäristövaikutuksia ja niiden ennaltaehkäisyä täytyy arvioida parhaan käyttökelpoisen tekniikan perusteella, huomioiden päästöt ja energiatehokkuus. Ympäristöluvassa voidaan velvoittaa direktiivilaitosta toimittamaan lupaviranomaiselle tietoja energiatehokkuuden kehittymisestä. Mikäli direktiivilaitos on tehnyt energiatehokkuussopimuksen tai jonkun muun vastaavan vapaaehtoisen sopimuksen, jossa on määritetty, miten energiatehokkuutta seurataan ja parannetaan, ympäristöluvassa ei tarvitse enää antaa niitä koskevia määräyksiä. (Ympäristösuojelulaki 527/2014, 74§.)

#### 4.2 Energiatehokkuussuunnitelman sisältö

Euroopan komission jätteenkäsittelyn parhaan käytössä olevan tekniikan viiteasiakirjasta (Best Available Techniques (BAT) Reference Document for Waste Treatment. JRC. 2018.) löytyy ohjeet energiatehokkuussuunnitelman tekemiseen jätteenkäsittelylaitokselle. Ohjeiden mukaan energiatehokkuussuunnitelmassa tulee esittää toimenpiteitä, joiden tavoitteena on energian tehokas käyttö ja sen parantaminen. Viiteasiakirjasta löytyy tietoa erilaisista tekniikoista, joilla pystytään parantamaan energiatehokkuutta sekä vähentämään energian kulutusta ja päästöjä. (Canova, ym. 2018, 215.) Siihen on kerätty jätteenkäsittelylaitosten energian kulutuksen määriä ja laskettu niistä keskiarvo (Canova, ym. 2018, 675).

Fortum Waste Solution Oy:llä on ainakin kahdelle jätteenkäsittelylaitokselle, Juvamalmille ja Hausjärvelle, tehty energiatehokkuussuunnitelmat parhaan käytettävissä olevan tekniikan viiteasiakirjan pohjalta. Molemmissa suunnitelmissa käydään ensin läpi käsittelylaitosten energian kulutusta, sen jälkeen on energiatehokkuussuunnitelma ja lopuksi käsittelylaitoksissa käytettävä energiatasekirjanpito. (Fortum 2020; Ympäristölupapäätös dnro ESAVI/1787/2020.) Kirrinsannan jätteenkäsittelylaitoksen energiatehokkuussuunnitelma tehtiin tällä samalla tyylillä, jotta se olisi mahdollisimman yhtenäinen muiden suunnitelmien kanssa.

### 4.3 Laskut

Kirjinsannan jätteenkäsittelylaitoksen energiatehokkuussuunnitelmaan kuuluu taulukko, johon laitetaan sähkö- ja lämpöenergian sekä käytettävien polttoaineiden kulutus vuoden ajalta ja suhteutetaan ne sinä vuonna vastaanotetun jätteen määrään. Näitä lukuja voi vertailla jätteenkäsittelyn parhaan käytössä olevan tekniikan vertailuasiakirjassa oleviin energian kulutuslukuihin. Laskujen alapuolella oleva taulukko 1 on esimerkki tällaisesta taulukosta. Opinnäytetyön toimeksiantajan pyynnöstä alla olevissa laskuissa käytettävät jätemäärät ovat keksittyjä lukuja.

Vuonna 2020 raskasta polttoöljyä on tilattu 81900 k, sähköä on kulunut 220979 kWh, kevyttä polttoöljyä ostettu 500 litraa (Laine henkilökohtainen tiedonanto 11.10.2021; Laine sähköposti 12.10.2021) ja jätettä on vastaanotettu 6200 tonnia. Laskuissa tarvitaan myös raskaan polttoöljyn tiheys, joka on noin  $0,95 \text{ kg/dm}^3$  ja lämpöarvo noin  $11,8 \text{ kWh/dm}^3$  (Kotimaan Lämpö www-sivut n.d.). Raskaan polttoöljyn sisältämä energiamäärä on näillä laskettuna  $11,21 \text{ kWh/kg}$  ja kulutetulla määrällä saatava energia on  $918099 \text{ kWh}$ . Raskaan polttoöljyn ominaiskulutus on  $13,2 \text{ kg/jätetonne}$  ja energian ominaiskulutus on  $148 \text{ kWh/jätetonne}$ . Sähkön ominaiskulutus on  $36 \text{ kWh/jätetonne}$ . Nämä lasketaan vielä yhteen, jotta saadaan kokonaisenergian ominaiskulutus  $184 \text{ kWh/jätetonne}$ . Kevyestä polttoöljystä lasketaan vain ominaiskulutus  $0,08 \text{ litraa/jätetonne}$ , sitä ei muuteta energiaksi.

Vuonna 2021 raskasta polttoöljyä on tilattu 59661 kg, sähköä on kulunut 224766 kWh, kevyttä polttoöljyä ostettu 350 litraa (Laine sähköposti 13.1.2022) ja jätettä on vastaanotettu 7100 tonnia. Laskuissa tarvittavat raskaan polttoöljyn tiheys ja lämpöarvo ovat samat kuin vuoden 2020 laskuissa käytettävät arvot. Raskaan polttoöljyn sisältämä energiamäärä on näillä laskettuna  $11,21 \text{ kWh/kg}$  ja kulutetulla määrällä saatava energia on  $668800 \text{ kWh}$ . Raskaan polttoöljyn ominaiskulutus on  $8,4 \text{ kg/jätetonne}$  ja energian ominaiskulutus on  $94 \text{ kWh/jätetonne}$ . Sähkön ominaiskulutus on  $32 \text{ kWh/jätetonne}$ . Nämä lasketaan vielä yhteen, jotta saadaan kokonaisenergian ominaiskulutus  $126 \text{ kWh/jätetonne}$ . Kevyestä polttoöljystä lasketaan taulukkoon vain ominaiskulutus  $0,05 \text{ litraa/jätetonne}$ , sitä ei muuteta energiaksi.



	<b>2020</b>	<b>2021</b>
Vastaanotetun jätteen määrä	6200 tn	7100 tn
Raskaan polttoöljyn kulutus	81,9 tn	59,6 tn
Polttoaine-energian määrä	918,1 MWh	668,8 MWh
Polttoaine-energian ominaiskulutus	148 kWh/tn	94 kWh/tn
Sähkön kulutus	221 MWh	225 MWh
Sähkön ominaiskulutus	36 kWh/tn	32 kWh/tn
Kevyen polttoöljyn kulutus	500 litraa	350 litraa
Kevyen polttoöljyn ominaiskulutus	0,08 litraa/tn	0,05 litraa/tn

Taulukko 1. Esimerkki energiatehokkuussuunnitelmassa olevasta taulukosta

## 5 LÄMPÖENERGIALÄHTEIDEN VERTAILU

Kirrensannan jätteenkäsittelylaitoksen varastosäiliöt on tähän asti lämmitetty öljykattilalla. Siitä on nyt kuitenkin päätetty luopua, koska käsittelylaitoksen toiminta on supistunut ja öljykattilan käyttöikä alkaa olla loppuillaan. Uudeksi lämmitysmuodoksi on valittu kaukolämpö, josta on neuvoteltu Pori Energian kanssa. Kaukolämpöön liittymisen olisi tarkoitus tapahtua talvella 2022. (Laine 2021; Nieminen henkilökohtainen tiedonanto 3.6.2021.) Eri lämmitysmuodoista ei ole tehty vertailuja ennen uuden lämmitysmuodon valintaa. Tässä luvussa tarkastellaan näitä kahta lämmitysmuotoa teoreettiselta kannalta sekä selvitetään kaukolämpöliittymän mitoituksen riittävyttä laskennalla.

### 5.1 Öljylämmitys

Öljylämmitys on energiatehokas lämmitysjärjestelmä, uusi järjestelmä pystyy hyödyntämään öljyn energiasta noin 95 %. Lämmitysjärjestelmän energiatehokkuutta pystytään ylläpitämään öljypolttimen säännöllisellä huoltamisella. (Lämmitysenergia Yhdistys [www-sivut n.d.](#)) Asuinkiinteistöjen öljylämmityksen polttoaineena käytetään kevyttä polttoöljyä ja isommissa lämmöntuotantoyksiköissä raskasta polttoöljyä (Kotimaan Lämpö Oy [www-sivut n.d.](#)).

Raskas polttoöljy kuuluu fossiilisiin polttoaineisiin, jotka ovat uusiutumattomia luonnonvaroja. Ne ovat muodostuneet maaperään varastoituneesta biomassasta miljoonien vuosien aikana. (Motiva [www-sivut 2020a](#); Tilastokeskus [www-sivut n.d.](#)) Raskas polttoöljy valmistetaan raakaöljyn tislautumattomasta jakeesta (Tilastokeskus [www-sivut 2015, 2](#)). Siihen voidaan valmistuksessa lisätä palamiskatalyyttiä, jonka avulla varmistetaan polttoaineen palaminen täydellisemmin (Teboil [www-sivut n.d.](#)). Raskaasta polttoöljystä pääsee ilmakehään hiilidioksidia, rikki- ja typpioksidipäästöjä, häkää, erilaisia hiilivetyypäästöjä sekä pienhiukkaspäästöjä. Päästöjen määrään vaikuttaa öljyn palamislämpötila, polttoaineen laatu, hapen määrä ja mahdollinen savukaasujen puhdistus. Poltossa vapautuvan hiilidioksidin määrään ei pystytä kuitenkaan vaikuttamaan muuten, kuin lisäämällä joukkoon uusiutuvaa polttoainetta. (Peda.net [www-sivut n.d.](#)) Rajat erilaisille päästöille on määritetty valtioneuvoston asetuksessa

keskisuurten energiantuotantoyksiköiden ja -laitosten ympäristönsuojeluvaatimuksista (1065/2017), eli niin sanotussa PIPO-asetuksessa (Valtioneuvoston asetus keskisuurten energiantuotantoyksiköiden ja -laitosten ympäristönsuojeluvaatimuksista 1065/2017, 1 §).

## 5.2 Kaukolämpö

Kaukolämpö on yleisin lämpöenergian tuotantomuoto Suomessa. Sitä tuotetaan CHP-laitoksissa, jotka ovat sähkön ja lämmön yhteistuotantolaitoksia, sekä erillisissä lämpölaitoksissa. (Motiva [www-sivut 2019](#).) Lisäksi sitä saadaan teollisuudessa tai kaupungeissa syntyvästä hukkalämmöstä. Yleisimpiä kaukolämmön tuotannon polttoaineita ovat puupohjaiset polttoaineet, kuten esimerkiksi hake tai puuteollisuuden jäte. Polttoaineina voidaan käyttää myös kivihiiltä, maakaasua tai turvetta. (Kaukolampo.fi [www-sivut 2022](#).) Kaukolämmön päästöihin vaikuttaa käytettävä polttoaine ja voimalaitoksen tyyppi. Sähkön- ja lämmön yhteistuotantolaitoksilla on hyvä hyötysuhde ja vähäiset päästöt, mikäli niiden polttoaineena on esimerkiksi puu tai hake. (Ilmasto-opas.fi [www-sivut 2018](#).) Porissa kaukolämpöä tuottaa Pori Energia Oy, sähkön ja lämmön yhteistuotantona. Pori Energia Oy käyttää energialähteinään puuta ja turvetta. (Pori Energia Oy [www-sivut n.d.](#))

Kaukolämpö siirretään tuottajalta asiakkaalle maan alla kulkevaa kuumavesiputkistoa pitkin. Putkisto sisältää kaksi putkea ja sitä kutsutaan kaukolämpöverkoksi. Kaukolämpöverkon vesi kulkeutuu asiakkaalle lämmönjakokeskukseen, joka siirtää lämmön asiakkaan lämmönjakolaitteisiin. Lämpöä siirtyy vain sen verran, kun asiakas tarvitsee. Jäähdyntynyt kaukolämpöverkon vesi palaa asiakkaalta takaisin lämmitettäväksi kaukolämmön tuottajalle. (Kaukolampo.fi [www-sivut 2022](#).)

Pori Energian kaukolämpöverkko kulkee Kirrinsannan jätteenkäsittelylaitoksen läheltä, joten liittymän kaivaminen tontille onnistuu suhteellisen helposti. Kaukolämpöputket on tarkoitus johtaa samaan rakennukseen, missä öljykattila sijaitsee ja sijoittaa lämmönjakokeskus myös sinne. Lämmön siirtämisessä hyödynnetään olemassa olevaa kiertovesipumppua sekä kiertovesilinjaa. (Laine 2021.)

### 5.3 Laskut

Kaukolämmöstä on saatu tarjous 500 kW liittymästä (Laine sähköposti 12.10.2021). Sen mitoituksen riittävyttä halutaan varmistaa selvittämällä vanhan lämmitysjärjestelmän siirtyvä lämpöteho. Järjestelmän kiertoveden virtausnopeudesta ei ole mittausta ja sen suorittamiseen olisi tarvinnut ostaa mittauspalvelu ulkopuoliselta yritykseltä. Tästä syystä asennettiin painemittarit kiertovesipumpun molemmin puolin ja laskelmat tehdään niistä saatujen paine erojen avulla. Kiertoveden lämpötilan mittausta ei myöskään ole järjestelmässä, joten sen mittaukseen käytetään infrapunälämpömittaria. Sillä mitataan kiertovesiputken pinnan lämpötila, jonka ajateltiin olevan riittävän tarkka lämpötila laskemia varten. Laskelmissa käytettiin seuraavia kaavoja:

$$\Delta p = p_1 - p_2$$

$\Delta p$  = paine-ero, eli tarvittava paineen korotus (Pa)

$p_1$  = pumpun imupuolen paine (Pa)

$p_2$  = pumpun painepuolen paine (Pa)

$$H = \Delta p / \rho * g$$

H = nostokorkeus (m)

$\Delta p$  = paine-ero, eli tarvittava paineen korotus (Pa)

$\rho$  = veden tiheys (kg/m<sup>3</sup>)

g = maan vetovoima 9,81 m/s<sup>2</sup>

Pumpulla siirretään nestettä paikasta toiseen, nostamalla nesteen painetta. Nostokorkeus on pumpulla nesteelle aiheutettu korkeuden säätö, eli paineen korotus. (Huhtinen, Korhonen, Pimiä & Urpalainen 2008, 137.)

$$\Delta T = T_1 - T_2$$

$\Delta T$  = tulo- ja paluueden lämpötilaero (K)

$T_1$  = tuloveden lämpötila (°C tai K)

$T_2$  = paluueden lämpötila (°C tai K)

$$q_m = q_v * \rho$$

$q_m$  = kiertoveden massavirta (kg/s)

$q_v$ = kiertoveden tilavuusvirta ( $m^3/s$ )

$\rho$ = veden tiheys ( $kg/m^3$ )

$$\Phi = q_m * c_p * \Delta T$$

$\Phi$ = siirtyvä lämpöteho ( $kJ/s$  tai  $kW$ )

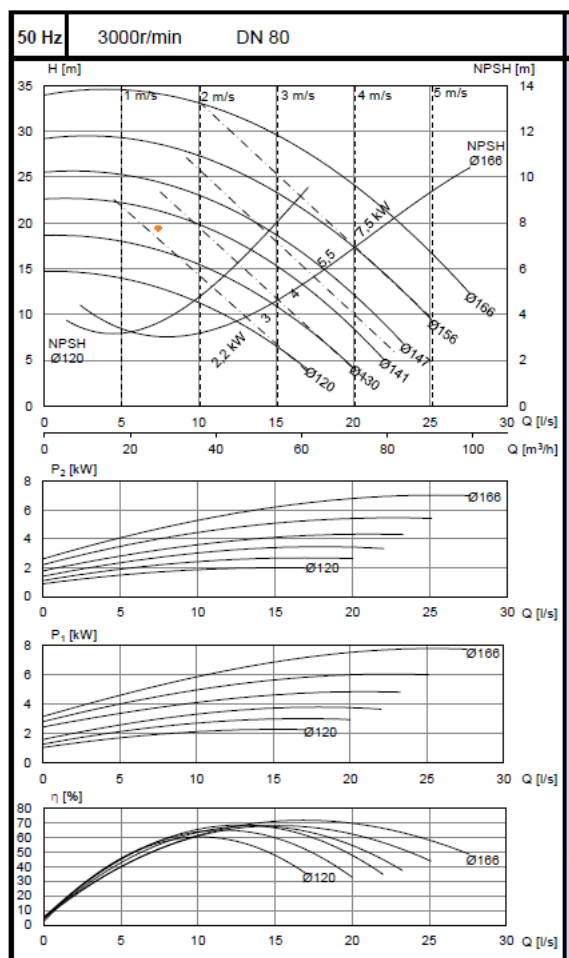
$q_m$ = kiertoveden massavirta ( $kg/s$ )

$c_p$ = veden ominaislämpökapasiteetti ( $kJ/(kg*K)$ )

$\Delta T$ = tulo- ja paluuveden lämpötilaero ( $K$ )

Lämpö siirtyy aina samaan suuntaan, lämpimästä kylmempään. Kiertovedestä siirtyvän lämpötehon määrä voidaan laskea kaavalla, joka on tarkoitettu vastavirtaperiaatteella toimivalle lämmönsiirtimelle. Kaavan periaatteena on, että kuumalla vedellä lämmitetään kylmää vettä. (Pihkala 2013, 102–103.)

Kirjinsannan jätteenkäsittelylaitoksen kiertovesipumppu on malliltaan KOLMEKS L-80A/2, sen taajuus on 50 Hz, kierrosnopeus 3000 rpm, juoksupyörän koko 135 mm ja putken halkaisija 80 mm. Painemittareiden avulla saatiin paine-ero 190 kPa, joten pumpun nostokorkeus on 19,8 m. Näiden tietojen perusteella pumpun toimintakäyrästä katsotaan pumpun toimintapisteen olevan 7,5 l/s. Tämä toimintapiste on merkittynä alla olevassa kuvassa 3.



Kuva 3. Kolmeks L-80A/2 kiertovesipumpun toimintakäyrä, johon on merkitty oranssilla pisteellä pumpun toimintapiste. (Kolmeks www-sivut n.d.)

Vertailun vuoksi siirtyvän lämpötehon määrä lasketaan eri sääolosuhteissa. Ilmatieteenlaitoksen lähin mittauspiste sijaitsee Porin Tahkoluodossa ja sen mukaan ensimmäisellä mittaushetkellä ulkolämpötila on 8 °C ja tuulen voimakkuus 5,8 m/s (Kilotavu www-sivut 2021). Infrapunalämpömittarilla mitattuna tulovesiputken pintalämpötila on ensimmäisellä mittaushetkellä 71,9 °C ja paluuvesiputken pintalämpötila 65,3 °C. Tulo- ja paluveden lämpötilaero on 6,6 °C. Veden tiheys ja ominaislämpökapasiteetti katsotaan taulukosta, jossa 70-asteisen veden tiheys on 977,7 kg/m<sup>3</sup> ja ominaislämpökapasiteetti 4,19 kJ/(kg·K). Kiertoveden massavirraksi saadaan 7,33 kg/s ja siirtyväksi lämpötehoksi 203 kW.

Toisella mittaushetkellä Tahkoluodon mittauspisteen mukaan ulkolämpötila on -14,5 °C ja tuulen voimakkuus 3,6 m/s (Kilotavu www-sivut 2021). Infrapunamittarilla saadaan tulovesiputken pintalämpötilaksi toisella mittaushetkellä 87,2 °C ja

paluuvesiputken pintalämpötilaksi 74,8 °C. Tulo- ja paluuveden lämpötilaero on 12,4 °C. Veden tiheys ja ominaislämpökapasiteetti katsotaan taulukosta, jossa 80 asteisen veden tiheys on 971,6 kg/m<sup>3</sup> ja ominaislämpökapasiteetti 4,197 kJ/(kg\*K). Kiertoveden massavirraksi saadaan 7,29 kg/s ja siirtyväksi lämpötehoksi 379 kW.

#### 5.4 Päätelmät

Energiatehokkuuden kannalta kaukolämpö on hyvä valinta lämmitysmuodoksi Kirrinsannan jätteenkäsittelylaitokselle. Lisäksi jätteenkäsittelylaitoksen energian kulutus vähenee, kun raskaalla polttoöljyllä lämmittämisestä luovutaan. Lämmitysmuodon vaihtamisen myötä, ei enää tarvitse pitää lämpimänä raskaan polttoöljyn säiliötä. Lisäksi muutostöiden yhteydessä kiertoveden joukkoon lisätään jäätymistä estävää glykolia, jolloin vettä ei tarvitse kierrättää järjestelmässä enää jäätymisen estämiseksi. Pori Energia Oy:n kaukolämpö tuotetaan yhteistuotantolaitoksella, jolloin polttoaineesta saadaan kaikki hyöty irti ja näin ollen päästöt ovat pienemmät, kuin lämmön erillistuotantolaitoksella. Kirrinsannan jätteenkäsittelylaitos on tehnyt myös sopimuksen, joka takaa toimitetun kaukolämmön olevan uusiutuvalla energialla tuotettua.

Kirrinsannan jätteenkäsittelylaitoksen tulevan kaukolämpöliittymän tehon voidaan todeta olevan riittävä kokoinen laskelmien perusteella. Niistä pysytään havaitsemaan siirtyvän lämpötehon kasvaminen, johon on vaikuttanut ainakin kylmempi ulkolämpötila. Lisäksi siihen voi vaikuttaa se, onko juuri aloitettu lämmittämään säiliötä, joka sisältää kylmää jätettä sekä lämmitettävien säiliöiden määrä, jolloin energiaa kuluu loogisesti enemmän. Tässä tilanteessa siirtyvän lämpötehon määrä on sen verran maltillinen, että voidaan olettaa varastosäiliöiden olleen lämmityksessä jo jonkun aikaa, eikä lämmitettävä jätemäärä ollut suuri.

## 6 LÄMPÖHÄVIÖT

Lämpöenergia siirtyy aina lämpimästä kylmempään ja sitä voi tapahtua kolmella erilaisella tavalla. Johtumalla, jolloin lämpö siirtyy samassa aineessa/materiaalissa lämpimästä kohdasta kylmempään tai eri aineesta/materiaalista toiseen niiden koskettaessa toisiaan. Kuljettamalla eli konvektiolla, jolloin lämpö siirtyy jonkun toisen aineen mukana, esimerkiksi virtaavan veden tai savukaasun. Säteilemällä, jolloin osa lämpimän aineen/materiaalin energiasta muuttuu säteilyenergiaksi ja takaisin lämpöenergiaksi kohdatessa jonkin toisen aineen/materiaalin. Lämmön siirtyminen tapahtuu yleensä useammalla eri tavalla samanaikaisesti. (Pihkala 2013, 102.) Tässä luvussa käydään läpi lämpöhäviöiden eri tapoja sekä lasketaan teoreettisesti Kirrinsannan jäteenkäsittelylaitoksen varastosäiliöiden lämpöhäviö neljässä erilaisessa sääolosuhteessa.

Konvektion lämmönsiirtyminen voi tapahtua vapaasti tai pakotetusti, riippuen siitä tapahtuuko se itsestään eli luonnollisesti vai ulkoisten syiden takia eli pakotetusti. Esimerkiksi säiliössä oleva lämmin vesi nousee pintaan luonnollisen konvektion avulla, mutta putkistossa eteenpäin siirtyvä lämmin vesi ulkoisen voiman eli paineen avulla. Tuuli on pakotettua konvektiota, vaikka se tapahtuukin luonnollisesti. (Sirén 2020a.)

Kirrinsannan jäteenkäsittelylaitoksen varastosäiliöitä lämmitetään lämpimällä kiertovedellä. Ulkona olevat kiertovesiputkiston osat ovat eristettyjä ja sisällä olevat eristämättömiä. Eristämättömistä putkiosuuksista tapahtuu lämpöhäviöitä säteilemällä ympäristöön sekä konvektiolla. Lämpöhäviöt lämmittävät sisätiloja kylmänä vuoden aikana, eli lämpöhäviöistä on tavallaan hyötyä. Varastosäiliöistä kaksi on eristämättömiä. Niistä tapahtuu lämpöhäviöitä säteilemällä sekä pakotetulla konvektiolla. Varastosäiliöt sijaitsevat ulkona, joten niistä tapahtuvista lämpöhäviöistä ei ole samanlaista hyötyä, kun putkistoista tapahtuvista.

### 6.1 Laskut

Opinnäytetyössä oli alun perin tarkoitus mitata eristämättömien varastosäiliöiden pintalämpötiloja ja tehdä niiden pohjalta lämpöhäviölaskuja sekä verrata ulkolämpötilan



ja eristyksen vaikutuksia niihin. Mittauksien toteuttaminen osoittautui kuitenkin haasteelliseksi, joten häviöitä tarkastellaan teoreettisesti neljässä erilaisessa sääolosuhteessa. Esimerkissä 1 ulkolämpötila on 5 °C ja tuulen nopeus 2 m/s, esimerkissä 2 ulkolämpötila on 5 °C ja tuulen nopeus 10 m/s, esimerkissä 3 ulkolämpötila on -15 °C ja tuulen nopeus 2 m/s ja esimerkissä 4 tuulen ulkolämpötila on -15 °C ja tuulen nopeus 10 m/s.

### 6.1.1 Laskuissa käytetyt kaavat

Erilaisia geometrian yhtälöitä tarvitaan, jotta saadaan selville laskuissa tarvittavia mittoja ja pinta-aloja.

$$P=\pi*d$$

P= ympyrän piirin pituus (m)

$\pi$ = pii, jonka likiarvo on 3,14

d= ympyrän halkaisija (m)

$$A_{\text{vaippa}}=2* \pi*r*h$$

A= lieriön vaipan pinta-ala (m<sup>2</sup>)

$\pi$ = pii, jonka likiarvo on 3,14

r= säde (m)

h= korkeus (m)

$$A_{\text{katto}}= \pi*r^2$$

A= lieriön katon pinta-ala (m<sup>2</sup>)

$\pi$ = pii, jonka likiarvo on 3,14

r= säde (m)

Reynoldsin luku on nesteiden, kaasujen tai plasmojen kokeellisesti todettu hitaus- ja viskoosivoimien suhde. Reynoldsin luvun ollessa alle 2000, putkivirtaus on laminaarista ja sen ollessa 4000–10000, virtaus on turbulenttista. Siihen väliin jäävällä alueella virtaus on epämääräistä. (Sirén 2020a.)

$$Re=v*L/\nu$$

Re= Reynoldsin luku

v= nopeus (m/s)

L= karakteristinen mitta (m)

$\nu_{\text{ilma}}$ = viskositeetti (m<sup>2</sup>/s)

Nusseltin luku kertoo konvektion ja johtuvan lämmönsiirron suhteesta. Mikäli neste, kaasu tai plasma on täysin paikallaa tai virtaa laminaarisesti, lämmönsiirtyminen tapahtuu johtumalla. Mikäli virtaus taas tapahtuu turbulentsisesti, lämpöä siirtyy myös konvektiolla. (Sirén 2020a.) Alla olevaa kaavaa käytetään pakotetussa konvektiossa laskettaessa tasopinnalle Nusseltin lukua turbulentsisessa virtauksessa, mikäli Reynoldsin luku on suurempi kuin  $5 \cdot 10^5$ , mutta pienempi kuin  $10^7$  (Sirén 2020e). Prandtlin luku saadaan aineominaisuustaulukosta, mutta voidaan myös laskea (Sirén 2020a). Tässä työssä käytettiin aineominaisuustaulukosta saatua Prandtlin lukua.

$$Nu=0,037 \cdot Re^{4/5} \cdot Pr$$

Nu= Nusseltin luku

Re= Reynoldsin luku

Pr= Prandtlin luku

Alla olevaa kaavaa käytetään pakotetussa konvektiossa laskettaessa pystyssä olevan pinnan Nusseltin lukua turbulentsisessa virtauksessa, silloin kun Reynoldsin luku on suurempi kuin  $3 \cdot 10^4$ , mutta pienempi kuin  $10^6$  (Sirén 2020e).

$$Nu=0,037 \cdot Re^{4/5} \cdot Pr^{1/3}$$

Nu= Nusseltin luku

Re= Reynoldsin luku

Pr= Prandtlin luku

Lämmönsiirtymiskerroin on käänteisarvo pintavastuksesta. Se kertoo, miten hyvä on nesteen, kaasu tai plasman lämmönsiirtokontakti kiinteään aineeseen. Pintavastus taas tarkoittaa niiden ja kiinteän aineen välistä vastusta. (Sirén 2020b.)

$$\alpha_k = Nu \cdot \lambda_{\text{ilma}} / L$$

$\alpha_k$ = konvektion lämmönsiirtymiskerroin (W/m<sup>2</sup>\*K)

$Nu$ = Nusseltin luku

$\lambda_{ilma}$ = ilman lämmönsiirtymiskerroin ( $W/m^2 \cdot K$ )

$L$ = karakteristinen mitta (m)

Konvektio on liikkuvassa nesteessä, kaasussa tai plasmassa tapahtuvaa lämpövirtausta. Konvektioon vaikuttaa virtaavan aineen rajakerros, jonka ulkopuolella virtausnopeus on voimakkaimmillaan. Virtauksen ollessa rajakerroksen laminaarisessa osassa, virtaavassa aineessa ei tapahdu sekoittumista. Rajapinnassa virtausta ei ole ollenkaan. Virtauksen ollessa turbulენტtista rajakerroksessa tapahtuva virtaus on myös pintaa vasten kohtisuoraa. Konvektion lämmönsiirtokerroin on tutkittu pienentyvän, mitä paksummaksi rajakerros muuttuu. Sitten kun kerros vaihtuu turbulენტtiseksi, lämmönsiirtokerroin suurenee huomattavasti. Konvektion lämmönsiirtymiskerroin voidaan laskea esimerkiksi Reynoldsin luvun, Prandtin luvun ja Nusseltin luvun avulla. Kun lämmönsiirtymiskerroin on selvitetty, sen avulla voidaan laskea konvektion lämmönsiirtymisteho. (Sirén 2020a.)

$$\Phi_k = \alpha_k \cdot A \cdot (T_p - T_y)$$

$\Phi_k$ = konvektion lämmönsiirtymisteho (W)

$\alpha_k$ = konvektion lämmönsiirtymiskerroin ( $W/m^2 \cdot K$ )

$A$ = pinta-ala ( $m^2$ )

$T_p$ = eristämättömän säiliön pintalämpötila (K)

$T_y$ = ympäristön lämpötila (K)

Pinnan lämpötilan ollessa absoluuttisen nollapisteen yläpuolella se säteilee aina lämpöä ympäristöönsä. Pinnan säteilytehon suuruus riippuu sen emissiivisyydestä, pinnan lämpötilasta ja pinta-alasta. Emissiivisyys kertoo pinnan säteilytehon suuruudesta tietyssä lämpötilassa verrattuna mustan kappaleen säteilytehoon, joka on kaikista voimakkain ja sen emissiivisyys on 1. (Sirén 2020c.)

$$\alpha_{sät} = \varepsilon \cdot \sigma \cdot ((T_e^4 - T_y^4) / (T_e - T_y))$$

$\alpha_{sät}$ = säteilyn lämmönsiirtymiskerroin ( $W/m^2 \cdot K$ )

$\varepsilon$ = pinnan emissiivisyys

$\sigma$ = Stefan-Bolzmaninvakio ( $W/m^2 \cdot K^4$ )

$T_e$ = eristetyn säiliön pintalämpötila (K)

$T_y$ = ympäristön lämpötila (K)

$$\Phi_{\text{sät}} = \varepsilon \cdot \sigma \cdot (T_p^4 - T_y^4) \cdot A_{\text{sät}}$$

$\Phi_{\text{sät}}$ = pinnan säteilyteho (W)

$\varepsilon$ = pinnan emissiivisyys

$\sigma$ = Stefan-Bolzmannin vakio ( $\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}^4$ )

$T_p$ = eristämättömän säiliön pintalämpötila (K)

$T_y$ = ympäristön lämpötila (K)

$A$ = säteilevä pinta-ala ( $\text{m}^2$ )

$$\Phi_{\text{kok}} = \Phi_k + \Phi_{\text{sät}}$$

$\Phi_{\text{kok}}$ = kokonaislämpöhäviö (W)

$\Phi_k$ = konvektion lämmönsiirtymisteho (W)

$\Phi_{\text{sät}}$ = pinnan säteilyteho (W)

$$\alpha_u = \alpha_{\text{sät}} + \alpha_k$$

$\alpha_u$ = ulkopuolinen lämmönsiirtymiskerroin ( $\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$ )

$\alpha_{\text{sät}}$ = säteilyn lämmönsiirtymiskerroin ( $\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$ )

$\alpha_k$ = konvektion lämmönsiirtymiskerroin ( $\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$ )

Lämmönläpäisykerroin kertoo rakenteen kyvystä johtaa lämpöä ja se on eri rakenteilla erilainen. Suuri lämmönläpäisykerroin merkitsee rakenteen hyvää lämmönjohtavuutta ja pieni hyvää lämmöneristävyyttä. Lämmönläpäisykerroin on käänteisluku lämmönvastuksesta. Lämmönvastus kertoo miten tietty rakennekerros vastustaa johtumalla tapahtuvaa lämmön siirtymistä. Suuri lämmönvastus tarkoittaa, että rakenne eristää hyvin lämpöä. Pieni lämmönvastus tarkoittaa, että se johtaa hyvin lämpöä. Kokonaislämmönvastus on useammasta eri materiaalista koostuvan rakenteen lämmönvastus. (Sirén 2020b.) Mikäli rakenteessa on metallisia kerroksia, ne voidaan jättää huomioimatta lämmönläpäisykerrointa laskettaessa, jos rakenteen eristys on hyvä (Sirén 2020d). Eristettyjen varastosäiliöiden lämpöhäviölaskut laskettiin lämmönläpäisykerrotoimen avulla, koska tilanne oli kuvitteellinen, eikä sen takia ollut käytettävissä säiliön pintalämpötilaa.

$$U = 1/R = 1/((1/\alpha_s) + (s/\lambda_{\text{villa}}) + (1/\alpha_u))$$

$U$ = lämmönläpäisykerroin ( $\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$ )

$R$ = rakenteen lämmönvastus

$\alpha_s$ = sisäpuolinen lämmönsiirtymiskerroin ( $\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$ )

$s$ = eristeen paksuus (m)

$\lambda_{\text{villa}}$ = eristeen lämmönjohtavuus ( $\text{W}/\text{m}\cdot\text{K}$ )

$\alpha_u$ = ulkopuolinen lämmönsiirtymiskerroin ( $\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$ )

Johtamalla, rakenteen läpi, siirtyvä lämpöteho voidaan laskea lämmönläpäisykerroimen avulla tai ulkopuolisen lämmönsiirtymiskertoimen avulla (Sirén 2020b). Lämmönläpäisykerroimen avulla laskettaessa käytettiin säiliössä olevan aineen ja ympäristön lämpötilan eroa, kun taas ulkopuolisen lämmönsiirtymiskertoimella laskettaessa käytettiin eristetyn säiliön pinnan ja ympäristön lämpötilan eroa.

$$\Phi = U \cdot A_{\text{säiliö}} \cdot (T_i - T_y)$$

$\Phi$ = eristetyn säiliön kokonaislämpöhäviö (W)

$U$ = lämmönläpäisykerroin ( $\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$ )

$A_{\text{säiliö}}$ = säiliön lämpöä johtavan pinnan ala ( $\text{m}^2$ )

$T_i$ = säiliössä olevan aineen lämpötila (K)

$T_y$ = ympäristön lämpötila (K)

$$\Phi = \alpha_u \cdot A_{\text{säiliö}} \cdot (T_e - T_y)$$

$\Phi$ = eristetyn säiliön kokonaislämpöhäviö (W)

$\alpha_u$ = ulkopuolinen lämmönsiirtymiskerroin ( $\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$ )

$A_{\text{säiliö}}$ = säiliön lämpöä johtavan pinnan ala ( $\text{m}^2$ )

$T_e$ = eristetyn säiliön pintalämpötila (K)

$T_y$ = ympäristön lämpötila (K)

### 6.1.2 Laskuissa käytettyjä varastosäiliöiden tietoja

Eristämättömän varastosäiliön mitat ovat jokaisessa laskussa samanlaiset, vain sääolosuhteet määritetään uudelleen. Varastosäiliön korkeus (h) on 12 metriä, halkaisija (d) 10 metriä ja säde (r) 5 metriä. Lisäksi laskuissa tarvitaan varastosäiliön katon karakteristinen mitta ( $L_{\text{katto}}$ ), joka on sama kuin katon halkaisija eli 10 metriä. Varastosäiliön

vaipan karakteristinen mitta täytyy laskea, se ei ole kuitenkaan tarkka mitta, koska säiliö on lieriön, eikä suorakulmaisen särmiön muotoinen. Mitan arvioitiin kuitenkin olevan tarkkuudeltaan riittävä näihin laskuihin.

$$P = \pi * 10 \text{ m} = 31 \text{ m}$$

$$L_{\text{vaippa}} = 31 \text{ m} / 4 = 7,9 \text{ m}$$

Varastosäiliön lämpöhäviöt tulivat vaipasta ja katosta, joten niille täytyy laskea pinta-  
alat.

$$A_{\text{katto}} = \pi * 5^2 \text{ m} = 79 \text{ m}^2$$

$$A_{\text{vaippa}} = 2 * \pi * 5 \text{ m} * 12 \text{ m} = 377 \text{ m}^2$$

$$A_{\text{yht}} = 79 \text{ m}^2 + 377 \text{ m}^2 = 456 \text{ m}^2$$

Eristämättömän varastosäiliön pintamateriaali on maalattu teräs. Sen emissiivisyys-  
deksi on arvioitu 0,8, koska taulukoista löytyi erilaisia tietoja. Laskuissa käytetään  
Stefan-Bolzmännin vakiota, joka on  $5,67 * 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2 * \text{K}^4)$ . Säiliöön varastoitava jäte  
pyritään lämmittämään Kirrinsannan jätteenkäsittelylaitoksella  $30 \text{ }^\circ\text{C}$  eli  $303,15 \text{ K}$   
lämpötilaan, joten se on laskuissa käytetty varastoidun materiaalin lämpötila ( $T_i$ ). Eris-  
tämättömän säiliön pinnan lämpötilaksi ( $T_p$ ) on arvioitu tämä sama  $30 \text{ }^\circ\text{C}$  eli  $303,15$   
 $\text{K}$ . Ajateltiin, että pintalämpötila ei poikkeaa oleellisesti sen sisällön lämpötilasta.

Laskuilla halutaan selvittää myös, että miten varastosäiliöiden eristäminen vaikuttaa  
lämpöhäviöihin. Eristeeksi on valittu 100 millimetriä eli 0,1 metriä, paksu mineraali-  
villa. Sen on ajateltu voivan olla esimerkiksi ISOVER Premium 33 mineraalivillaa,  
jonka lämmönjohtavuus on  $0,033 \text{ W}/(\text{m} * \text{K})$  (ISOVER www-sivut 2021). Eristämättö-  
män varastosäiliön mittoihin lisätään eristeen paksuus, jolloin eristetylle säiliölle saa-  
daan seuraavat mitat: korkeus ( $h_e$ ) 12,1 metriä, halkaisija ( $d_e$ ) 10,2 metriä ja säde ( $r_e$ )  
5,1 metriä. Eristetyn varastosäiliön katon karakteristinen mitta ( $L_{\text{ekatto}}$ ) on 10,2 metriä.  
Vaipan karakteristinen mitta laskettiin:

$$P_e = \pi * 10,2 \text{ m} = 32 \text{ m}$$

$$L_{\text{evaippa}} = 32 \text{ m} / 4 = 8 \text{ m}$$

Eristetylle säiliölle lasketaan katon, vaipan sekä niiden yhteinen pinta-ala.

$$A_{\text{ekatto}} = \pi * 5,1^2 \text{ m} = 82 \text{ m}^2$$

$$A_{\text{evaippa}} = 2 * \pi * 5,1 \text{ m} * 12,1 \text{ m} = 388 \text{ m}^2$$

$$A_{\text{eyht}} = 82 \text{ m}^2 + 388 \text{ m}^2 = 469 \text{ m}^2$$

Nämä luvut ovat samoja kaikissa esimerkeissä, joten niitä ei enää myöhemmin käydä läpi.

### 6.1.3 Esimerkki 1

Sääolosuhteet ovat esimerkissä 1 seuraavanlaiset, ulkolämpötila on 5 °C eli 278,15 K ja tuulen nopeus 2 m/s. Eristämättömän varastosäiliön pinnan lämpötilan mukaan katsotaan laskuissa käytettävät ilman aineominaisuudet taulukosta. Tässä esimerkissä pinnan lämpötila on 30°C. Viskositeetti on  $1,62 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ , Prandtin luku 0,711 ja lämmönsiirtymiskerroin  $2,64 \cdot 10^{-2} \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ .

Eristämättömälle varastosäiliölle lasketaan katolle ja vaipalle erikseen konvektion lämmönsiirtymisteho. Laskeminen aloitetaan katosta:

$$Re_{\text{katto}} = 2 \text{ m/s} \cdot 10 \text{ m} / (1,62 \cdot 10^{-5}) \text{ m}^2/\text{s} = 1,23 \cdot 10^6$$

$$Nu_{\text{katto}} = 0,037 \cdot (1,23 \cdot 10^6)^{4/5} \cdot 0,711 = 1,96 \cdot 10^3$$

$$\alpha_{\text{katto}} = (1,96 \cdot 10^3) \cdot (2,64 \cdot 10^{-2}) \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K}) / 10 \text{ m} = 5,17 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

$$\Phi_{\text{katto}} = 5,17 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}) \cdot 79 \text{ m}^2 / (303,15 - 278,15) \text{ K} = 10160 \text{ W} = 10,16 \text{ kW}$$

Sen jälkeen lasketaan samat laskut eristämättömän varastosäiliön vaipalle sekä konvektion kokonaislämmönsiirtymisteho:

$$Re_{\text{vaippa}} = 2 \text{ m/s} \cdot 7,9 \text{ m} / (1,62 \cdot 10^{-5}) \text{ m}^2/\text{s} = 9,69 \cdot 10^5$$

$$Nu_{\text{vaippa}} = 0,023 \cdot (9,69 \cdot 10^5)^{4/5} \cdot 0,711^{1/3} = 1,26 \cdot 10^3$$

$$\alpha_{\text{vaippa}} = (1,26 \cdot 10^3) \cdot (2,64 \cdot 10^{-2}) \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K}) / 7,9 \text{ m} = 4,24 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

$$\Phi_{\text{kvaippa}} = 4,24 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}) \cdot 377 \text{ m}^2 / (303,15 - 278,15) \text{ K} = 39938 \text{ W} / 1000 = 39,94 \text{ kW}$$

$$\Phi_{\text{kok}} = 10,16 \text{ kW} + 39,94 \text{ kW} = 50,10 \text{ kW}$$

Eristämättömän varastosäiliön pinnasta aiheutuu lämpöhäviöitä myös säteilemällä, joten se lasketaan seuraavaksi:

$$\Phi_{\text{sät}} = 0,8 \cdot (5,67 \cdot 10^{-8}) \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}^4) \cdot (303,15^4 - 278,15^4) \text{ K} \cdot 456 \text{ m}^2 = 50828 \text{ W} / 1000 = 50,83 \text{ kW}$$

Lopuksi lasketaan eristämättömän varastosäiliön kokonaislämpöhäviö:

$$\Phi_{\text{kok}} = 50,10 \text{ kW} + 50,83 \text{ kW} = \mathbf{100,93 \text{ kW}}$$

Eristetyn varastosäiliön lämpöhäviölaskut lasketaan vähän eri tavalla, koska eristeen pintalämpötila ei ole tiedossa. Eristetylle varastosäiliölle lasketaan ensin konvektion - ja säteilyn lämmönsiirtymiskertoimet. Sen jälkeen lasketaan säiliön seinämän lämmönläpäisykerroin ja lopuksi säiliön kokonaislämpöhäviö. Laskussa käytetään eristetyn varastosäiliön pinnanlämpötilasta arviota, joka on 5,89 astetta. Laskuun tarvitaan myös 6-asteisen ilman aineominaisuuksia, jotka ovat viskositeetti  $1,40 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ , Prandtin luku 0,716 ja lämmönsiirtymiskerroin  $2,45 \cdot 10^{-2}$ . Laskeminen aloitetaan varastosäiliön katon arvoista:

$$Re_{\text{ekatto}} = 2 \text{ m/s} \cdot 10,2 \text{ m} / (1,40 \cdot 10^{-5}) \text{ m}^2/\text{s} = 1,46 \cdot 10^6$$

$$Nu_{\text{ekatto}} = 0,037 \cdot (1,46 \cdot 10^6)^{4/5} \cdot 0,716 = 2,26 \cdot 10^3$$

$$\alpha_{\text{kekatto}} = (2,26 \cdot 10^3) \cdot (2,45 \cdot 10^{-2}) \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K}) / 10,2 \text{ m} = 5,43 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

Sen jälkeen samat arvot lasketaan varastosäiliön vaipalle:

$$Re_{\text{evaippa}} = 2 \text{ m/s} \cdot 8 \text{ m} / (1,40 \cdot 10^{-5}) \text{ m}^2/\text{s} = 1,14 \cdot 10^6$$

$$Nu_{\text{evaippa}} = 0,023 \cdot (1,14 \cdot 10^6)^{4/5} \cdot 0,716^{1/3} = 1,45 \cdot 10^3$$

$$\alpha_{\text{kevaippa}} = (1,45 \cdot 10^3) \cdot (2,45 \cdot 10^{-2}) \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K}) / 8 \text{ m} = 4,43 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

Katon ja vaipan konvektion lämmönsiirtymiskertoimista lasketaan keskiarvo:

$$\alpha_{\text{ke}} = (5,43 + 4,43) \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}) / 2 = 4,93 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

Seuraavaksi eristetylle varastosäiliölle lasketaan säteilyn lämmönsiirtymiskerroin:

$$\alpha_{\text{esät}} = 0,8 \cdot (5,67 \cdot 10^{-8}) \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}^4) \cdot ((279,04^4 - 278,15^4) \text{ K}) / (279,04 - 278,15) \text{ K} = 3,92 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

Nämä kaksi lämmönsiirtymiskerrointa lasketaan yhteen ja siitä saadaan eristetyn säiliön ulkopuolinen lämmönsiirtymiskerroin:

$$\alpha_{\text{u}} = 4,93 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}) + 3,92 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}) = 8,86 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

Eristetyn varastosäiliön laskussa tarvitaan myös säiliön sisäpuolista lämmönsiirtymiskerrointa ( $\alpha_{\text{s}}$ ), josta ei ole käytettävissä tarkkaa lukua. Kertoimen oletetaan olevan 100



$W/(m^2 \cdot K)$ , koska kyse on nesteen ja kiinteän aineen välisestä lämmönsiirtymisestä ja sellaisessa tilanteessa kerroin on suuri (Sirén 2020b).

Seuraavaksi lasketaan eristetyn varastosäiliön lämmönläpäisykerroin:

$$U = 1 / \left( \frac{1}{100} \frac{W}{(m^2 \cdot K)} \right) + \left( 0,1 \frac{m}{0,033} \frac{W}{(m \cdot K)} \right) + \left( \frac{1}{8,86} \frac{W}{(m^2 \cdot K)} \right) = 0,317 \frac{W}{(m^2 \cdot K)}$$

Laskun viimeinen vaihe on, laskea eristetyn säiliön kokonaislämpöhäviö, lämmönläpäisykerroimen avulla:

$$\Phi_{\text{kok}} = 0,317 \frac{W}{(m^2 \cdot K)} \cdot 469 \text{ m}^2 \cdot (303,15 - 278,15) \text{ K} = \mathbf{3722 \text{ W}}$$

Eristetyn varastosäiliön pintalämpötila on arvioitu lukema, joten se pitää vielä tarkastaa. Tarkastaminen tehdään laskemalla kokonaislämpöhäviö vielä toisella tavalla:

$$\Phi_{\text{kok}} = 8,86 \frac{W}{(m^2 \cdot K)} \cdot 469 \text{ m}^2 \cdot (279,04 - 278,15) \text{ K} = \mathbf{3700 \text{ W}}$$

Eristetyn varastosäiliön pintalämpötilaa muutetaan laskussa niin kauan, kunnes saadaan näistä kahdesta kokonaislämpöhäviöstä lähes sama lukema.

#### 6.1.4 Esimerkki 2

Esimerkissä 2 sääolosuhteet ovat seuraavat, ulkolämpötila on  $5 \text{ }^\circ\text{C}$  eli  $278,15 \text{ K}$  ja tuulen nopeus  $10 \text{ m/s}$ . Laskussa käytetään samoja ilman aineominaisuuksia ja noudatetaan samaa laskentakaavaa kuin esimerkissä 1.

Eristämättömän varastosäiliön katon konvektion lämmönsiirtymisteho:

$$Re_{\text{katto}} = 10 \text{ m/s} \cdot 10 \text{ m} / (1,62 \cdot 10^{-5}) \text{ m}^2/\text{s} = 6,17 \cdot 10^6$$

$$Nu_{\text{katto}} = 0,037 \cdot (6,17 \cdot 10^6)^{4/5} \cdot 0,711 = 7,12 \cdot 10^3$$

$$\alpha_{\text{katto}} = (7,12 \cdot 10^3) \cdot (2,64 \cdot 10^{-2}) \frac{W}{(m \cdot K)} / 10 \text{ m} = 18,75 \frac{W}{(m^2 \cdot K)}$$

$$\Phi_{\text{katto}} = 18,75 \frac{W}{(m^2 \cdot K)} \cdot 79 \text{ m}^2 / (303,15 - 278,15) \text{ K} = 36818 \text{ W} = \mathbf{36,82 \text{ kW}}$$

Eristämättömän varastosäiliön vaipan konvektion lämmönsiirtymisteho sekä konvektion kokonaislämmönsiirtymisteho:

$$Re_{vaippa} = 10 \text{ m/s} * 7,9 \text{ m} / (1,62 * 10^{-5}) \text{ m}^2/\text{s} = 4,85 * 10^6$$

$$Nu_{vaippa} = 0,023 * (4,85 * 10^6)^{4/5} * 0,711^{1/3} = 4,58 * 10^3$$

$$\alpha_{kvaippa} = (4,58 * 10^3) * (2,64 * 10^{-2}) \text{ W}/(\text{m} * \text{K}) / 7,9 \text{ m} = 15,36 \text{ W}/(\text{m}^2 * \text{K})$$

$$\Phi_{kvaippa} = 15,36 \text{ W}/(\text{m}^2 * \text{K}) * 377 \text{ m}^2 / (303,15 - 278,15) \text{ K} = 144730$$

$$\text{W}/1000 = 144,73 \text{ kW}$$

$$\Phi_{kok} = 36,82 \text{ kW} + 144,73 \text{ kW} = 181,55 \text{ kW}$$

Eristämättömän varastosäiliön säteilylämpöhäviö:

$$\Phi_{sät} = 0,8 * (5,67 * 10^{-8}) \text{ W}/(\text{m}^2 * \text{K}^4) * (303,15^4 - 278,15^4) \text{ K} * 456 \text{ m}^2 = 50828$$

$$\text{W}/1000 = 50,83 \text{ kW}$$

Tuulen nopeuden muutos ei vaikuta eristämättömän varastosäiliön säteilylämpöhäviöihin, joten siitä saadaan sama tulos kuin esimerkissä 1.

Eristämättömän varastosäiliön kokonaislämpöhäviö:

$$\Phi_{kok} = 181,55 \text{ kW} + 50,83 \text{ kW} = \mathbf{232,38 \text{ kW}}$$

Eristetyn varastosäiliön arvioitu pintalämpötila on tässä tapauksessa 5,37 °C eli 278,52 K. Laskussa käytetään 5-asteisen ilman aineominaisuuksia, jotka ovat viskositeetti 1,39 m<sup>2</sup>/s, Prandtlin luku 0,716 ja lämmönsiirtymiskerroin 2,45 \* 10<sup>-2</sup>. Lasku aloitetaan katon konvektion lämmönsiirtymiskertoimesta:

$$Re_{ekatto} = 10 \text{ m/s} * 10,2 \text{ m} / (1,39 * 10^{-5}) \text{ m}^2/\text{s} = 7,34 * 10^6$$

$$Nu_{ekatto} = 0,037 * (7,34 * 10^6)^{4/5} * 0,716 = 8,23 * 10^3$$

$$\alpha_{kekatto} = (8,23 * 10^3) * (2,45 * 10^{-2}) \text{ W}/(\text{m} * \text{K}) / 10,2 \text{ m} = 19,78 \text{ W}/(\text{m}^2 * \text{K})$$

Eristetyn varastosäiliön vaipan konvektion lämmönsiirtymiskerroin:

$$Re_{evaippa} = 10 \text{ m/s} * 8 \text{ m} / (1,39 * 10^{-5}) \text{ m}^2/\text{s} = 5,76 * 10^6$$

$$Nu_{evaippa} = 0,023 * (5,76 * 10^6)^{4/5} * 0,716^{1/3} = 5,27 * 10^3$$

$$\alpha_{kevaippa} = 5,27 * 10^3 * (2,45 * 10^{-2}) \text{ W}/(\text{m} * \text{K}) / 8 \text{ m} = 16,12 \text{ W}/(\text{m}^2 * \text{K})$$

Keskiarvo katon ja vaipan konvektion lämmönsiirtymiskertoimista:

$$\alpha_{ke} = (19,78 + 16,12) \text{ W}/(\text{m}^2 * \text{K}) / 2 = 17,95 \text{ W}/(\text{m}^2 * \text{K})$$

Seuraavaksi lasketaan eristetyin varastosäiliön säteilylämmönsiirtymiskerroin:

$$\alpha_{\text{esät}} = 0,8 * (5,67 * 10^{-8}) \text{ W}/(\text{m}^2 * \text{K}^4) * ((278,52^4 - 278,15^4) \text{ K}) / (278,52 - 278,15) \text{ K} = 3,91 \text{ W}/(\text{m}^2 * \text{K})$$

Eristetyn varastosäiliön ulkopuolinen lämmönsiirtymiskerroin:

$$\alpha_u = 17,95 \text{ W}/(\text{m}^2 * \text{K}) + 3,91 \text{ W}/(\text{m}^2 * \text{K}) = 21,86 \text{ W}/(\text{m}^2 * \text{K})$$

Sisäpuoliseksi lämmönsiirtymiskeroimeksi ( $\alpha_s$ ) oletetaan sama  $100 \text{ W}/(\text{m}^2 * \text{K})$ , kuin esimerkissä 1.

Eristetyn säiliön lämmönläpäisykerroin:

$$U = 1 / ((1/100 \text{ W}/(\text{m}^2 * \text{K})) + (0,1 \text{ m} / 0,033 \text{ W}/(\text{m} * \text{K})) + (1/21,86 \text{ W}/(\text{m}^2 * \text{K}))) = 0,324 \text{ W}/(\text{m}^2 * \text{K})$$

Eristetyn varastosäiliön kokonaislämpöhäviö laskettuna kahdella eri tavalla:

$$\Phi_{\text{ekok}} = 0,324 \text{ W}/(\text{m}^2 * \text{K}) * 469 \text{ m}^2 * (303,15 - 278,15) \text{ K} = \mathbf{3803 \text{ W}}$$

$$\Phi_{\text{ekok}} = 21,86 \text{ W}/(\text{m}^2 * \text{K}) * 469 \text{ m}^2 * (278,52^4 - 278,15^4) \text{ K} = \mathbf{3797 \text{ W}}$$

Eristetyn varastosäiliön pintalämpötilaa muutetaan laskussa niin kauan, kunnes saadaan näistä kahdesta kokonaislämpöhäviöstä lähes sama lukema.

### 6.1.5 Esimerkki 3

Esimerkissä 3 ulkolämpötila on  $-15 \text{ }^\circ\text{C}$  eli  $258,15 \text{ K}$  ja tuulen nopeus  $2 \text{ m/s}$ . Laskussa käytetään samoja ilman aineominaisuuksia ja noudatetaan samaa laskentakaavaa kuin edellisissä esimerkeissä.

Eristämättömän varastosäiliön katon konvektion lämmönsiirtymisteho:

$$Re_{\text{katto}} = 2 \text{ m/s} * 10 \text{ m} / (1,62 * 10^{-5}) \text{ m}^2/\text{s} = 1,24 * 10^6$$

$$Nu_{\text{katto}} = 0,037 * (1,24 * 10^6)^{4/5} * 0,711 = 1,96 * 10^3$$

$$\alpha_{\text{katto}} = (1,96 * 10^3) * (2,64 * 10^{-2}) \text{ W}/(\text{m} * \text{K}) / 10 \text{ m} = 5,17 \text{ W}/(\text{m}^2 * \text{K})$$

$$\Phi_{\text{kkatto}} = 5,17 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}) * 79 \text{ m}^2 / (303,15 - 258,15) \text{ K} = 18287 \text{ W} = 18,29 \text{ kW}$$

Eristämättömän varastosäiliön vaipan konvektion lämmönsiirtymisteho sekä koko varastosäiliön konvektion lämmönsiirtymisteho:

$$\text{Re}_{\text{vaiippa}} = 2 \text{ m/s} * 7,9 \text{ m} / (1,62 * 10^{-5}) \text{ m}^2/\text{s} = 9,69 * 10^5$$

$$\text{Nu}_{\text{vaiippa}} = 0,023 * (9,69 * 10^5)^{4/5} * 0,711^{1/3} = 1,26 * 10^3$$

$$\alpha_{\text{kvaiippa}} = (1,26 * 10^3) * (2,64 * 10^{-2}) \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}) / 7,9 \text{ m} = 4,24 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

$$\Phi_{\text{kvaiippa}} = 4,66 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}) * 377 \text{ m}^2 / (303,15 - 258,15) \text{ K} = 71888 \text{ W} / 1000 = 72 \text{ kW}$$

$$\Phi_{\text{kkok}} = 18,29 \text{ kW} + 72 \text{ kW} = 90,18 \text{ kW}$$

Eristämättömän varastosäiliön säteilylämpöhäviö:

$$\Phi_{\text{sät}} = 0,8 * (5,67 * 10^{-8}) \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}^4) * (303,15^4 - 258,15^4) \text{ K} * 456 \text{ m}^2 = 82745 \text{ W} / 1000 = 82,74 \text{ kW}$$

Eristämättömän varastosäiliön kokonaislämpöhäviö:

$$\Phi_{\text{kok}} = 90,18 \text{ kW} + 82,74 \text{ kW} = \mathbf{172,92 \text{ kW}}$$

Eristetyn varastosäiliön arvioitu pintalämpötila on tässä tapauksessa  $-13,26 \text{ }^\circ\text{C}$  eli  $259,89 \text{ K}$ . Laskussa käytetään  $-13$ -asteisen ilman aineominaisuuksia, jotka ovat viskositeetti  $1,23 * 10^{-5}$ , Prandtlin luku  $0,72$  ja lämmönsiirtymiskerroin  $2,25 * 10^{-2}$ . Lasku aloitetaan katon konvektion lämmönsiirtymiskertoimesta:

$$\text{Re}_{\text{ekatto}} = 2 \text{ m/s} * 10,2 \text{ m} / (1,23 * 10^{-5}) \text{ m}^2/\text{s} = 1,65 * 10^6$$

$$\text{Nu}_{\text{ekatto}} = 0,037 * (1,65 * 10^6)^{4/5} * 0,72 = 2,51 * 10^3$$

$$\alpha_{\text{kekatto}} = (2,51 * 10^3) * (2,25 * 10^{-2}) \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}) / 10,2 \text{ m} = 5,55 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

Eristetyn varastosäiliön vaipan konvektion lämmönsiirtymiskerroin:

$$\text{Re}_{\text{evaiippa}} = 2 \text{ m/s} * 8 \text{ m} / (1,23 * 10^{-5}) \text{ m}^2/\text{s} = 1,30 * 10^6$$

$$\text{Nu}_{\text{evaiippa}} = 0,023 * (1,30 * 10^6)^{4/5} * 0,72^{1/3} = 1,60 * 10^3$$

$$\alpha_{\text{kvevaiippa}} = 1,60 * 10^3 * (2,25 * 10^{-2}) \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}) / 8 \text{ m} = 4,50 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

Keskiarvo katon ja vaipan konvektion lämmönsiirtymiskertoimista:

$$\alpha_{\text{ke}} = (5,55 + 4,50) \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}) / 2 = 5,03 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

Seuraavaksi lasketaan eristetyin varastosäiliön säteilylämmönsiirtymiskerroin:

$$\alpha_{\text{esät}} = 0,8 \cdot (5,67 \cdot 10^{-8}) \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}^4) \cdot ((259,89^4 - 278,15^4) \text{ K}) / (259,89 - 278,15) \text{ K} = 3,15 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

Eristetyin varastosäiliön ulkopuolinen lämmönsiirtymiskerroin:

$$\alpha_u = 5,03 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}) + 3,15 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}) = 8,18 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

Sisäpuoliseksi lämmönsiirtymiskeroimeksi ( $\alpha_s$ ) oletetaan sama  $100 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ , kuin edellisissä esimerkeissä.

Eristetyin säiliön lämmönläpäisykerroin:

$$U = 1 / ((1/100 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})) + (0,1 \text{ m} / 0,033 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})) + (1/8,18 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}))) = 0,316 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

Eristetyin varastosäiliön kokonaislämpöhäviö laskettuna kahdella eri tavalla:

$$\Phi_{\text{ekok}} = 0,316 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}) \cdot 469 \text{ m}^2 \cdot (303,15 - 278,15) \text{ K} = \mathbf{6680 \text{ W}}$$

$$\Phi_{\text{ekok}} = 8,18 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}) \cdot 469 \text{ m}^2 \cdot (259,89^4 - 278,15^4) \text{ K} = \mathbf{6681 \text{ W}}$$

Eristetyin varastosäiliön pintalämpötilan arviota muutetaan laskussa niin kauan, kunnes saadaan näistä kahdesta kokonaislämpöhäviöstä lähes sama lukema.

#### 6.1.6 Esimerkki 4

Esimerkissä 4 ulkolämpötila on  $-15 \text{ }^\circ\text{C}$  eli  $258,15 \text{ K}$  ja tuulen nopeus  $10 \text{ m/s}$ . Laskussa käytetään samoja ilman aineominaisuuksia ja noudatetaan samaa laskentakaavaa kuin edellisissä esimerkeissä.

Eristämättömän varastosäiliön katon konvektion lämmönsiirtymisteho:

$$\text{Re}_{\text{katto}} = 10 \text{ m/s} \cdot 10 \text{ m} / (1,62 \cdot 10^{-5}) \text{ m}^2/\text{s} = 6,17 \cdot 10^6$$

$$\text{Nu}_{\text{katto}} = 0,037 \cdot (0,17 \cdot 10^6)^{4/5} \cdot 0,711 = 7,12 \cdot 10^3$$

$$\alpha_{\text{kkatto}} = (7,12 \cdot 10^3) \cdot (2,64 \cdot 10^{-2}) \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K}) / 10 \text{ m} = 18,75 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

$$\Phi_{\text{katto}} = 18,75 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}) * 79 \text{ m}^2 / (303,15 - 258,15) \text{ K} = 66272 \text{ W} = 66,27 \text{ kW}$$

Eristämättömän varastosäiliön vaipan konvektion lämmönsiirtymisteho sekä koko varastosäiliön konvektion lämmönsiirtymisteho:

$$\text{Re}_{\text{vaippa}} = 10 \text{ m/s} * 7,9 \text{ m} / (1,62 * 10^{-5}) \text{ m}^2/\text{s} = 4,85 * 10^6$$

$$\text{Nu}_{\text{vaippa}} = 0,023 * (4,85 * 10^6)^{4/5} * 0,711^{1/3} = 4,58 * 10^3$$

$$\alpha_{\text{kvaippa}} = (4,58 * 10^3) * (2,64 * 10^{-2}) \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K}) / 7,9 \text{ m} = 15,36 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

$$\Phi_{\text{kvaippa}} = 15,36 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}) * 377 \text{ m}^2 / (303,15 - 258,15) \text{ K} = 260514 \text{ W} / 1000 = 260,51 \text{ kW}$$

$$\Phi_{\text{kok}} = 66,27 \text{ kW} + 260,51 \text{ kW} = 326,79 \text{ kW}$$

Eristämättömän varastosäiliön säteilylämpöhäviö:

$$\Phi_{\text{sät}} = 0,8 * (5,67 * 10^{-8}) \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}^4) * (303,15^4 - 258,15^4) \text{ K} * 456 \text{ m}^2 = 82745 \text{ W} / 1000 = 82,74 \text{ kW}$$

Eristämättömän varastosäiliön kokonaislämpöhäviö:

$$\Phi_{\text{kok}} = 326,79 \text{ kW} + 82,74 \text{ kW} = \mathbf{409,53 \text{ kW}}$$

Eristetyn varastosäiliön arvioitu pintalämpötila on tässä tapauksessa  $-14,33 \text{ }^\circ\text{C}$  eli  $258,82 \text{ K}$ . Tässä laskussa käytetään  $-14$ -asteisen ilman aineominaisuuksia, jotka ovat viskositeetti  $1,23 * 10^{-5}$ , Prandtin luku  $0,721$  ja lämmönsiirtymiskerroin  $2,27 * 10^{-2}$ .

Laskeminen aloitetaan katon konvektion lämmönsiirtymiskertoimesta:

$$\text{Re}_{\text{ekatto}} = 10 \text{ m/s} * 10,2 \text{ m} / (1,23 * 10^{-5}) \text{ m}^2/\text{s} = 8,33 * 10^6$$

$$\text{Nu}_{\text{ekatto}} = 0,037 * (8,33 * 10^6)^{4/5} * 0,721 = 9,17 * 10^3$$

$$\alpha_{\text{kekatto}} = (9,17 * 10^3) * (2,27 * 10^{-2}) \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K}) / 10,2 \text{ m} = 20,40 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

Eristetyn varastosäiliön vaipan konvektion lämmönsiirtymiskerroin:

$$\text{Re}_{\text{evaippa}} = 10 \text{ m/s} * 8 \text{ m} / (1,23 * 10^{-5}) \text{ m}^2/\text{s} = 6,54 * 10^6$$

$$\text{Nu}_{\text{evaippa}} = 0,023 * (6,54 * 10^6)^{4/5} * 0,721^{1/3} = 5,84 * 10^3$$

$$\alpha_{\text{kvaippa}} = 5,84 * 10^3 * (2,27 * 10^{-2}) \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K}) / 8 \text{ m} = 16,56 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

Keskiarvo katon ja vaipan konvektion lämmönsiirtymiskertoimista:

$$\alpha_{\text{ke}} = (20,40 + 16,56) \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}) / 2 = 18,48 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

Seuraavaksi lasketaan eristetyin varastosäiliön säteilylämmönsiirtymiskerroin:

$$\alpha_{\text{esät}} = 0,8 \cdot (5,67 \cdot 10^{-8}) \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}^4) \cdot ((258,82^4 - 278,15^4) \text{ K}) / (258,82 - 278,15) \text{ K} = 3,13 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

Eristetyin varastosäiliön ulkopuolinen lämmönsiirtymiskerroin:

$$\alpha_u = 18,48 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}) + 3,13 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}) = 21,61 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

Sisäpuoliseksi lämmönsiirtymiskeroimeksi ( $\alpha_s$ ) oletetaan sama  $100 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ , kuin edellisissä esimerkeissä.

Eristetyin säiliön lämmönläpäisykerroin:

$$U = 1 / ((1/100 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})) + (0,1 \text{ m} / 0,033 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})) + (1/21,61 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}))) = 0,324 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

Eristetyin varastosäiliön kokonaislämpöhäviö laskettuna kahdella eri tavalla:

$$\Phi_{\text{ekok}} = 0,324 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}) \cdot 469 \text{ m}^2 \cdot (303,15 - 278,15) \text{ K} = \mathbf{6844 \text{ W}}$$

$$\Phi_{\text{ekok}} = 21,61 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}) \cdot 469 \text{ m}^2 \cdot (258,82 - 278,15) \text{ K} = \mathbf{6798 \text{ W}}$$

Eristetyin varastosäiliön pintalämpötilan arviota muutetaan laskussa niin kauan, kunnes saadaan näistä kahdesta kokonaislämpöhäviöstä lähes sama lukema.

## 6.2 Päätelmät

Lämpöhäviölaskuista ilmenee, että tuulen voimakkuuden lisääntyminen vaikuttaa enemmän eristämättömän varastosäiliön lämpöhäviöihin, kun ilman lämpötilan muutokset. Sen huomaa esimerkiksi vertaamalla esimerkkiä 2, jossa ilman lämpötila oli  $5 \text{ }^\circ\text{C}$  ja tuulen nopeus  $10 \text{ m/s}$  ja esimerkkiä 3, jossa ilman lämpötila oli  $-15 \text{ }^\circ\text{C}$  ja tuulen nopeus  $2 \text{ m/s}$ . Esimerkissä 2 lämpöhäviöksi saadaan  $232,38 \text{ kW}$  ja esimerkissä 3,  $172,92 \text{ kW}$ .

Varastosäiliöt ovat todellisuudessa useimmiten vain osittain täytettyjä, joten lämmitettävän jätteen määrä ei ole niin suuri kuin varastosäiliön suurin mahdollinen

käyttötilavuus. Tällaisessa tilanteessa säiliön yläosaan jää pelkkää ilmaa, jonka lämpötila ei ole sama kuin lämmitettävän jätteen. Lisäksi jäte ei välttämättä ole tasalämpöistä, koska jätettä lämmittävä putki sijaitsee varastosäiliön pohjalla. Jätteessä saattaa olla myös kerrostumaa, koska se sisältää erilaisia aineita esimerkiksi vettä ja öljyä. Eri jäte kerrokset voivat olla eri lämpöisiä. Näitä asioita ei ole otettu huomioon lämpöhäviölaskuissa.

Ilman laskujakin on selvää, että eristämättömät varastosäiliöt aiheuttavat enemmän lämpöhäviöitä, kun eristetyt. On myös selvää, että varastosäiliöiden eristämällä saataisiin säästöjä lämpöenergian kulutukseen. Laskujen avulla lämpöhäviöistä saatiin kuitenkin selkeämpi käsitys.



## 7 TOIMENPIDE-EHDOTUKSIA

Tässä luvussa käydään läpi toimenpide-ehdotukset, jotka nousivat esiin opinnäytetyötä tehdessä. Kirrinsannan jätteenkäsittelylaitoksen toimintaan tutustumisen ja energian kulutuksen kartoittamisen aikana nousi esiin asioita, joiden kehittämällä olisi mahdollista säästää energiaa. Osa ehdotuksista on sellaisia, joilla olisi mahdollista saada tarkempaa tietoa lämmitysjärjestelmästä ja sen toiminnasta. Yksi ehdotuksista on otettu työn alle opinnäytetyön tekemisen aikana.

### 7.1 Valaistuksen muuttaminen energiatehokkaammaksi

Energiatehokkaaseen valaistukseen kuuluu sen huolellinen suunnittelu ja toteutus. Valaisimet tulee valita kohteeseen soveltuvaksi ja niiden pitää olla mahdollisimman energiatehokkaita. Valaistukselle täytyy valita kohteeseen soveltuva ohjausmenetelmä. Lopuksi valaistuksen käyttäjää täytyy opastaa valaistuksen käyttöön sekä laatia valaistukselle huolto-ohjelma ja noudattaa sitä. (Valaistustieto [www-sivut n.d.](#))

Kirrinsannan jätteenkäsittelylaitoksen alueella ulkovalaistuksessa on käytössä vielä elohopealamppuja ja varastokatoksissa on tavalliset loisteputket. Niiden vaihtamiselle energiatehokkaampiin valaisimiin lasketaan suuntaa-antavat takaisinmaksuajat Sylvania LED-säästölaskurin avulla, joista löytyy kopiot liitteestä 3. Varastokatos alueen ulkovalaistukseen kuuluu 13 kappaletta 125 W elohopealamppua, joista yksi on varastokatoksen sisäpuolella, öljyisen jätteen vastaanottoaltaan vieressä. Elohopealamppujen vaihtamisen takaisin takaisinmaksuajaksi saadaan laskurilla 0,7 vuotta, kun valaistuksen päälläoloajaksi määritetään 12 h/vrk, 7 päivänä viikossa ja 52 viikkona vuodessa. Sähkön hinnaksi määritetään selvityksen tekohetken Fortum Vihreä -sähkön hinta, 0,18 €/kWh (Fortum [www-sivut n.d.2.](#)) ja yhden valaisimen hinnaksi 46,4 €. Valaisimen hinta katsotaan Ahlsellin hinnastosta. Varastokatoksissa on valaistuksena yhteensä 108 kappaletta 58 W loisteputkea. Loisteputkien takaisinmaksuajaksi saadaan 8,4 vuotta, kun päälläoloajaksi määritetään 1 h/vrk, 5 päivänä viikossa ja 45 viikkona vuodessa. Sähkön hinta on sama Fortum Vihreä -sähkön hinta ja yhden loisteputken hinta 11,54 € Ahlsellin hinnaston mukaan.

Tämän laskurin mukaan elohopealamput olisi järkevää vaihtaa LED-lampuiksi, koska niissä on lyhyt takaisinmaksuaika. Loisteputkien vaihtamisesta, energiatehokkaampiin LED-loisteputkiin, laskuri antoi pidemmän takaisinmaksuajan. Varastokatoksissa olevat loisteputket ovat kuitenkin vanhoja ja suurin osa on toimimattomia, joten molempien lamppujen vaihtamisesta tehtiin, syksyllä 2021, tarjouspyyntö ulkopuoliselta sähköalan yritykseltä. Valaistusten ohjausmenetelmää suunniteltiin myös vaihdettavaksi, koska katkaisijalla säädettynä ne saattavat jäädä helposti turhaan palamaan.

## 7.2 Putkien ja varastosäiliöiden eristäminen

Kohteen eristäminen pienentää sen aiheuttamia lämpöhäviöitä ympäristöön, eikä tarvittavan lämpötilan ylläpitämiseen järjestelmässä tarvita niin paljon energiaa. Huonosta eristyksestä voi aiheutua energiakustannusten lisäksi termistä jännitystä, kulumista sekä korroosiota. Lisäksi eristämättömät kuumat putket voivat aiheuttaa tapaturmavaaran. Teknisiä lämpöeristyksiä on neljä erilaista, taloudellinen lämpöeristys, suojaeristys, jäätymissuojaeristys sekä prosessitekniinen eristys. (Motiva www-sivut n.d.)

Kirrensannan jätteenkäsittelylaitoksen eristämättömistä kiertovesiputkista ja varastosäiliöistä aiheutuu lämpöhäviöitä. Varastosäiliöiden lämpöhäviöitä käydään läpi teoreettiselta kannalta ja lasketaan ne neljässä eri sääolosuhteessa tämän opinnäytetyön kappaleessa 4. Kiertovesiputkien lämpöhäviöiden määrää ei tässä työssä selvitetä sen tarkemmin. Sisällä sijaitsevat eristämättömät putkiosuudet ovat samalla lämmittäneet sisätiloja ja näin ollen niitä ei ole tarvinnut erikseen lämmittää. Tällä tavoin lämmitystä ei ole kuitenkaan mahdollista säätää mitenkään, joten energiaa menee hukkaan, jos tilojen lämpötila nousee liikaa.

Eristämättömien varastosäiliöiden ja lämmityspotkien eristämistä kannattaisi selvittää paremmin ja tehdä kunnan laskelmat hukkaan menevät energian kulutuksesta sekä eristämisen kustannuksista. Tässä opinnäytetyössä sitä ei kuitenkaan lähdetty selvittämään.

### 7.3 Energian kulutuksen seuranta

Kirransannan jätteenkäsittelylaitoksen energian kulutusta ei ole seurattu tarkasti. Ras-kaan polttoöljyn tilattua määrää sekä sähkön kulutusta on seurattu vuositasolla ja ra-portoitu eteenpäin. Tulevaisuudessa kaukolämmöstä saadaan tarkka lämpöenergian kulutuksen määrä, joten sitä olisi helpompi seurata. Saman seurannan voisi aloittaa sähkön kulutuksesta. Näin pystyisi helpommin havaitsemaan poikkeamat, jos niitä il-menee ja syytä pystyisi etsimään nopeammin.

### 7.4 Tekniikan energiatehokkuus ja mittauspisteiden lisääminen

Kirransannan jätteenkäsittelylaitoksen olisi energian säästön kannalta hyvä valita tule-vaisuudessa mahdollisimman energiatehokkaita laitteita, kun vanhoja uusitaan. Uu-silla laitteilla pystytään vaikuttamaan energian kulutukseen ja kustannuksiin. Lisäksi kaukolämmön vaihtotöiden yhteydessä voisi lisätä kiertovesiputkistoon erilaisia mit-tauspisteitä, esimerkiksi virtausmittaus linjasäätöventtiileihin, jotta näkisi minkä ver-ran vettä virtaa mihinkin lämmitysjärjestelmän osaan. Kiertoveden lämpötilan seuran-taa varten voisi myös lisätä mittauspisteitä, joiden avulla pystyttäisiin saamaan tar-kempia lukuja esimerkiksi lämpöhäviöiden määrästä ja järjestelmän toiminnasta.

Mikäli lämmitysjärjestelmään saataisiin tulevaisuudessa mittauspisteitä kiertoveden virtausnopeudesta sekä kiertoveden ja jätteen lämpötilasta. Niiden avulla olisi mah-dollista selvittää eristämättömien lämmitysputkien sekä varastosäiliöiden lämpöhävi-öitä tarkemmin ja laskea paremmin niiden eristämisestä saatavan hyödyn. Tästä selvi-tyksestä saisi mahdollisesti uuden opinnäytetyön aiheen, jos toimenpide-ehdotuksessa esitetty mittauspisteiden lisääminen lämmitysjärjestelmään toteutettaisiin.

### 7.5 VOC-halli aurinkoenergialla toimivaksi

VOC-halli on tiivispohjainen alipaineistettu pressuhalli, johon haihtuvilla orgaanisilla yhdisteillä pilaantuneet maat sijoitetaan. Hallista imetään ilma konttiin, mihin on si-joitettuna sen käsittelyä varten aktiivihiilisuodattimet. Suodatuksen jälkeen ilma joh-detaan kontista ulos. (Ympäristölupapäätös dnro VARELY/3305/2015.) Hallissa

tarvitaan sähköenergiaa ilman imemiseen ja suodattamiseen sekä yhden kaivossa olevan uppopumpun käyttämiseen. VOC-hallia käytetään ainoastaan kesäisin pilaantuneiden maiden puhdistukseen. (Laine henkilökohtainen tiedonanto 11.10.2021.)

Kesällä olisi hyvin saatavilla aurinkoenergiaa, jolla pystyttäisiin kattamaan hallin sähkön tarve. VOC-hallin ollessa pois käytöstä, sähkön pystyisi hyödyntämään muualla Kirrinsannan jätteenkäsittelylaitoksen toiminnassa. Tässä työssä ei selvitetä sen enempää, millainen aurinkosähköjärjestelmä kannattaisi rakentaa tai olisiko se ylipäättään kustannuksiltaan kannattavaa. Aurinkoenergiajärjestelmän mitoituksesta, kustannuksista ja hyötyjen selvittämisestä saisi uuden opinnäytetyön aiheen.

## 8 YHTEENVETO

Opinnäytetyö aloitettiin kesällä 2021 opinnäytetyön projektisuunnitelman ja opinnäytetyösopimuksen tekemisellä. Projektisuunnitelmaan määritettiin opinnäytetyön tavoitteet, rajaus sekä aikataulu. Tavoitteena oli tehdä Kirrinsannan jätteenkäsittelylaitokselle energiatehokkuussuunnitelma ja toimenpide-ehdotuksia, joiden avulla olisi mahdollista lisätä energiatehokkuutta. Lisäksi tarkoituksena oli tehdä varastosäiliöistä ja putkistoista lämpöhäviölaskelmat sekä suunnitelma niiden energiatehokkuuden parantamisesta laskelmien pohjalta. Opinnäytetyön teoria rajattiin energiatehokkuussuunnitelman määritelmään ja vaatimukseen, energiatehokkuutta ja suunnitelman tekemistä koskevaan lainsäädäntöön, vähintään kahden lämmitysmuodon vertailuun sekä lämpöhäviölaskuihin. Aikataulu suunniteltiin niin, että kesän aikana piti tehdä kirjallisuuskatsaus, tutustua Kirrinsannan jätteenkäsittelylaitoksen toimintaan ja kiinteistöihin sekä haastatella työntekijöitä. Syksyllä piti tehdä lämpöhäviölaskut, aineiston yhteenveto, tuloksien arviointi ja kokonaisuuden puhtaaksi kirjoittaminen. Opinnäytetyön piti olla valmis marraskuun 2021 loppuun mennessä. Aikataulua ohjasi opinnäytetyöntekijän tavoite valmistua joului- tai tammikuussa.

Opinnäytetyö lähti etenemään kesällä aikataulun mukaisesti. Syksy ei kuitenkaan mennyt ihan suunnitelmien mukaan ja opinnäytetyön tekeminen jäi tauolle koko syyskuun ajaksi tekijästä riippumattomista syistä. Lokakuussa työ lähti taas etenemään, mutta suunniteltujen laskujen osalta ilmeni ongelmia varastosäiliöiden pintalämpötilojen määrittämisessä sekä lämmitysjärjestelmän tehojen laskennassa. Lämpöhäviöitä päädyttiin tarkastelemaan teoreettiselta kannalta ja laskemaan laskut kuvitteellisissa lämpötiloissa. Lämmitysjärjestelmän tehojen laskentaa varten Kirrinsannan käyttöpäällikön kanssa sovittiin, että järjestelmään asennettaisiin painemittarit kiertovesipumpun molemmin puolin. Lämpöhäviöt ja lämmitysjärjestelmän tehot laskettiin Excel-taulukkolaskentaohjelman avulla. Exceliin syötettiin tarvittavat luvut ja kaavat, joten sen avulla oli helppo tehdä laskut. Excelissä muutettiin ainoastaan yhtä lukua, esimerkiksi lämpötilaa, ja valmiilla kaavoilla sai heti uudet tulokset laskuihin.

Joulukuussa Kirrinsannan jätteenkäsittelylaitoksesta oli tarpeeksi tietoja kerättynä, joten aloitettiin energiatehokkuussuunnitelman kirjoittaminen. Mallina kirjoittamiselle

käytettiin muita Fortum Waste Solutions Oy:ssä tehtyjä energiatehokkuussuunnitelmia, jotta ne olisivat yhteneväisiä. Energiatehokkuussuunnitelmaan avattiin Kirrinsannan jätteenkäsittelylaitoksen energian kulutus, laskettiin sähkö- ja lämpöenergian ominaiskulutus, tehtiin suunnitelma parannettavista toimenpiteistä sekä käytössä olevista energiansäästötoimista ja lopuksi energiatase. Suunnitelma käytiin läpi Kirrinsannan jätteenkäsittelylaitoksen käyttöpäällikön ja Fortum Waste Solutions Oy:n Länsi-Suomen materiaalikeskusten päällikön kanssa. He ottivat kantaa energiatehokkuussuunnitelman sisältöön ja sen pohjalta sitä parannettiin. Parannusten jälkeen suunnitelma lähetettiin heille vielä luettavaksi ja sille saatiin hyväksyntä. Opinnäytetyön teoria kirjoitettiin loppuun tammikuussa.

Opinnäytetyölle suunniteltu aikataulu oli väljä, mutta se ei siitä huolimatta pitänyt. Suunnittelussa ei olisi pystytty huomioimaan tekijöitä, jotka lopulta vaikuttivat työn etenemiseen. Vaikka aikataulu ei pitänyt, saatiin opinnäytetyö kuitenkin tehtyä ja energiatehokkuussuunnitelma valmiiksi. Opinnäytetyön tavoitteena oli myös tehdä toimenpide-ehdotuksia, jotka pystyttiin tekemään kerätyn tiedon pohjalta. Lämpöhäviöitä päädyttiin tarkastelemaan teoreettisesti ja laskut tehtiin kuvitelluissa sääolosuhteissa, koska tarvittavia mittaustietoja ei ollut saatavilla. Lisäksi lämmitysjärjestelmän luovuttaman lämpötehon määrä saatiin laskettua suuntaa-antavasti ja varmistettua kaukolämmön tehon riittävyys.

Kokonaisuudessaan opinnäytetyön tekeminen onnistui hyvin, vaikka aikataulu ei pitänyt. Työn tekijä sai lisää kokoemusta työelämäyhteistyöstä, teorian soveltamisesta käytäntöön, erityisesti lämmönsiirtotekniikan ja virtauskoneiden osalta, sekä jätteen käsittelyn parhaan käytössä olevan tekniikan vertailuasiakirjan käyttämisestä käytännön työssä.

## LÄHTEET

Canova, M., Pinasseau, A., Roth, J., Roudier, S. & Zerger, B. 2018. Best Available Techniques (BAT), Reference Document for Waste Treatment. JRC science for policy report. European commission. Viitattu 30.7.2021. <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC113018>

Energiavirasto www-sivut. n.d. Energiatehokkuus. Viitattu 15.12.2021. <https://energiavirasto.fi/energiatehokkuus>

EU:n teollisuuden päästödirektiivi. 2010. 2010/75/EU.

Finder www-sivut. n.d. Fortum Waste Solutions Oy. Viitattu 12.10.2021. <https://www.finder.fi/Ongelmaj%C3%A4tehuolto/Fortum+Waste+Solutions+Oy/Riihim%C3%A4ki/yhteystiedot/131167>

Fortum. 30.6.2020. Fortum Waste Solutions Oy – Juvanmalmin Jätteenkäsittelylaitos. Energiatehokkuussuunnitelma. Viitattu 6.8.2021.

Fortum www-sivut. n.d.1. Kierrätys- ja jätepalvelut. Viitattu 27.7.2021. <https://www.fortum.fi/yrityksille-ja-yhteisoille/kierratys-ja-jatepalvelut/fortum-recycling-waste>

Fortum www-sivut. n.d.2. Fortum Vihreä. Viitattu 8.1.2022. <https://www.fortum.fi/yrityksille-ja-yhteisoille/sahkosopimus/lisapalvelut/vihrea>

Huhtinen, M., Korhonen, R., Pimiä, T. & Urpalainen, S. 2008. Voimalaitostekniikka. Keuruu: Otavan kirjapaino Oy.

ISOVER www-sivut. 2021. ISOVER Premium 33. Viitattu 2.1.2022. [https://www.isover.fi/tuotteet/rakennuseristeet/isover-premium-33?gclid=Cj0KCQiAt8WOBhDbARIsANQLp964XQf95QBMrC0ZN9o5no-PaDsf1gZLqFdkRUnm\\_Q0isNhl6zpuosMgaAhyYEALw\\_wcB#descriptions](https://www.isover.fi/tuotteet/rakennuseristeet/isover-premium-33?gclid=Cj0KCQiAt8WOBhDbARIsANQLp964XQf95QBMrC0ZN9o5no-PaDsf1gZLqFdkRUnm_Q0isNhl6zpuosMgaAhyYEALw_wcB#descriptions)

Ilmasto-opas.fi www-sivut. 2018. Rakennusten lämmitys kuluttaa runsaasti energiaa. Viitattu 5.1.2022. <https://ilmasto-opas.fi/fi/ilmastonmuutos/hillinta/-/artikkeli/73fa2827-42d1-4fd7-a757-175aca58b441/rakennusten-lammitys.html>

Kaukolampo.fi www-sivut. 2022. Miten kaukolämpö toimii? Viitattu 5.1.2022. <https://kaukolampo.fi/miten-kaukolampo-toimii/>

Kilotavu www-sivut. 2021. Ilmatieteenlaitoksen sääasemien arkisto. Viitattu 20.12.2021. <https://kilotavu.com/fmi-tilastot.php>

Kolmeks www-sivut. n.d. Dokumentaatio. Viitattu 26.12.2021. [https://kolmeks.com/wp-content/uploads/2021/05/L\\_-80A-2-50-60Hz-rev-3.pdf](https://kolmeks.com/wp-content/uploads/2021/05/L_-80A-2-50-60Hz-rev-3.pdf)

Konepaja Grönroos Oy. n.d. Yleiset käyttö- ja hoito-ohjeet tulitorvi-tuliputkirakenteiselle lämminvesikattilalle.

Kotimaan lämpö www-sivut. n.d. Mitä eroa on lämmitysöljyllä ja polttoöljyllä? Viitattu 18.1.2022. <https://kotimaanlampo.fi/mita-eroa-on-lammitysoljylla-ja-polttooljylla.page>

Laine, E. 2021. Käyttöpäällikkö, Fortum Waste Solutions Oy. Pori. Henkilökohtainen tiedonanto 8.10.2021.

Laine, E. 2021. Käyttöpäällikkö, Fortum Waste Solutions Oy. Pori. Henkilökohtainen tiedonanto 11.10.2021.

Laine, E. Energian kulutus 2020 – kysymyksiä opinnäytetyöhön liittyen. Vastaanottaja: Heidi Lähteenmäki. Lähetetty 12.10.2021. Viitattu 29.11.2021.

Laine, E. Aluekartta. Vastaanottaja: Heidi Lähteenmäki. Lähetetty 15.10.2021. Viitattu 1.12.2021.

Laine, E. 2021 jätemäärä ja energia. Vastaanottaja: Heidi Lähteenmäki. Lähetetty 13.1.2022. Viitattu 18.1.2022.

Laine, E. 2021. Neuvottelu Pori Energian kanssa kaukolämmön tuomisesta alueelle 11.11.2021.

Lämmitysenergia Yhdistys www-sivut. n.d. Öljylämmitysjärjestelmän energiatehokkuus. Viitattu 19.1.2022. <https://oljylammitys.fi/energiatehokkuus/oljylammitysjarjestelman-energiatehokkuus/>

Motiva www-sivut. 2019. Kaukolämpö. Viitattu 11.11.2021. [https://www.motiva.fi/koti\\_ja\\_asuminen/rakentaminen/lammitysjarjestelman\\_valinta/lammitysmuodot/kaukolampo](https://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/rakentaminen/lammitysjarjestelman_valinta/lammitysmuodot/kaukolampo)

Motiva www-sivut. 2020a. Bioenergiasanastoa. Viitattu 27.12.2021. [https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva\\_energia/bioenergia/tietolahteita/bioenergiasanastoa](https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/bioenergia/tietolahteita/bioenergiasanastoa)

Motiva www-sivut. 2020b. Vapautuminen pakollisista katselmuksista. Viitattu 19.1.2022. <https://www.motiva.fi/ratkaisut/energiakatselmustoiminta/pakollinen-suuren-yrityksen-energiakatselmus/vapautuminen-pakollisista-katselmuksista>

Motiva www-sivut. n.d. Teollisuuden tekninen eristys ja energiatehokkuus. Viitattu 9.1.2022. [https://www.motiva.fi/files/12253/Teollisuuden\\_tekninen\\_eristys\\_energia-tehokkuus.pdf](https://www.motiva.fi/files/12253/Teollisuuden_tekninen_eristys_energia-tehokkuus.pdf)

Nieminen, T. 2021. Materiaalikeskuspäällikkö, Fortum Waste Solutions Oy. Pori. Henkilökohtainen tiedonanto 3.6.2021.

Oilon Oy. n.d. OILON Raskasöljypolttimet: Toimintaperiaate sekä säätö- ja huolto-ohjeet.



Peda.net www-sivut. n.d.1. Energia- ja materiaalitehokkuus. Viitattu 21.1.2022.  
[https://peda.net/poke/projektit/luva\\_hankkeet/Up-hanke/Ymp%C3%A4rist%C3%B6-1val3/5ejmesjse/ejm](https://peda.net/poke/projektit/luva_hankkeet/Up-hanke/Ymp%C3%A4rist%C3%B6-1val3/5ejmesjse/ejm)

Peda.net www-sivut. n.d.2. Uusiutumattomat energianlähteet. Viitattu 5.1.2022.  
[https://peda.net/yhdistykset/bmol-ry/oppimateriaalit/eyy/yhteinen\\_ymparisto/energia/ue7](https://peda.net/yhdistykset/bmol-ry/oppimateriaalit/eyy/yhteinen_ymparisto/energia/ue7)

Pihkala, J. 2013. Prosessitekniikka: Prosessiteollisuuden yksikkö ja tuotantoprosessit. Tampere: Suomen Yliopistopaino Oy – Juvenes Print.

Pori Energia Oy www-sivut. n.d. Tietoa kaukolämmöstä. Viitattu 11.11.2021.  
<https://www.porienergia.fi/lampo/tietoa-kaukolammosta>

Ruohola, V. 2021. Laitosmies, Fortum Waste Solutions Oy. Pori. Henkilökohtainen tiedonanto 3.6.2021.

Sirén, P. 2020a. Konvektiivinen lämmönsiirto. Luento Satakunnan ammattikorkeakoulun energia- ja ympäristötekniikan koulutusohjelman opiskelijoille lämmönsiirtotekniikan kurssilla.

Sirén, P. 2020b. Lämmön johtuminen. Luento Satakunnan ammattikorkeakoulun energia- ja ympäristötekniikan koulutusohjelman opiskelijoille lämmönsiirtotekniikan kurssilla.

Sirén, P. 2020c. Lämpösäteily. Luento Satakunnan ammattikorkeakoulun energia- ja ympäristötekniikan koulutusohjelman opiskelijoille lämmönsiirtotekniikan kurssilla.

Sirén, P. 2020d. Fluidin jäähtyminen tai lämpeneminen putkessa. Luento Satakunnan ammattikorkeakoulun energia- ja ympäristötekniikan koulutusohjelman opiskelijoille lämmönsiirtotekniikan kurssilla.

Sirén, P. 2020e. Lämmönsiirron yhtälöitä. Luennot Satakunnan ammattikorkeakoulun energia- ja ympäristötekniikan opiskelijoille lämmönsiirtotekniikan kurssilla.

Teboil www-sivut. n.d. Teboil raskaspolttoöljy. Viitattu 30.11.2021. <https://www.teboil.fi/tuotteet/raskas-polttoöljy/>

Tilastokeskus www-sivut. 2015. Polttoaineluokitus 2015. Viitattu 30.11.2021.  
[https://www.stat.fi/tup/khkinv/khkaasut\\_polttoaineluokitus\\_maaritelmät\\_2015.pdf](https://www.stat.fi/tup/khkinv/khkaasut_polttoaineluokitus_maaritelmät_2015.pdf)

Tilastokeskus www-sivut. n.d. Käsitteet: Fossiiliset polttoaineet. Viitattu 27.12.2021.  
[https://www.stat.fi/meta/kas/fossiiliset\\_pol.html](https://www.stat.fi/meta/kas/fossiiliset_pol.html)

Työ- ja elinkeinoministeriö www-sivut. n.d.1. Energiatehokkuus. Viitattu 18.1.2022.  
<https://tem.fi/energiatehokkuus>

Työ- ja elinkeinoministeriö www-sivut. n.d.2. Energiatehokkuussopimukset ja -katselmukset. Viitattu 18.1.2022. <https://tem.fi/energiatehokkuussopimukset-ja-katselmukset>

Valaistustieto www-sivut. n.d. Energiatehokas valaistus. Viitattu 8.1.2022. <https://valaistustieto.fi/energiatehokas-valaistus/>

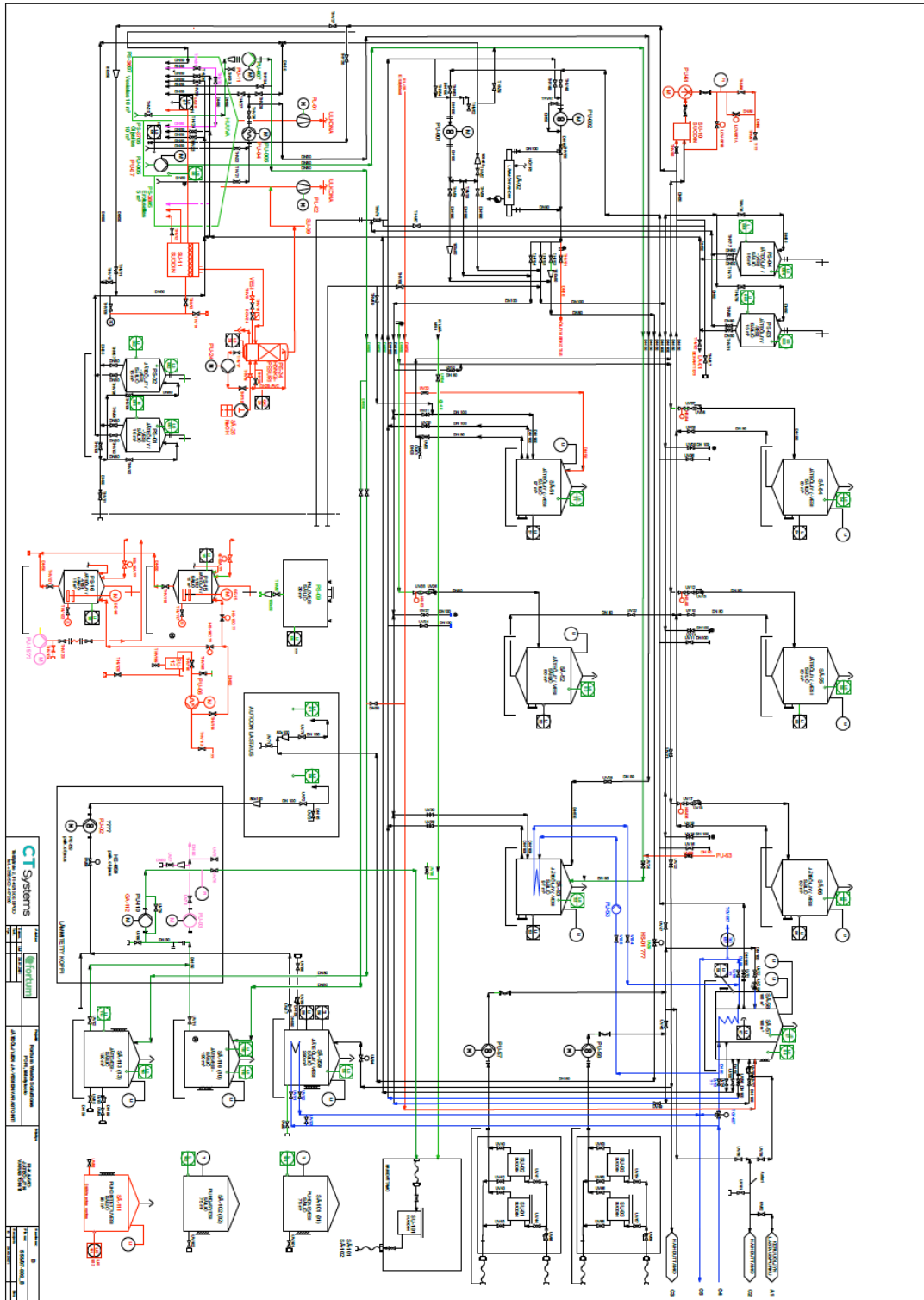
Valtioneuvoston asetus keskisuurten energiantuotantoyksiköiden ja -laitosten ympäristönsuojeluvaatimuksista. 2017. A 28.12.2017/1065.

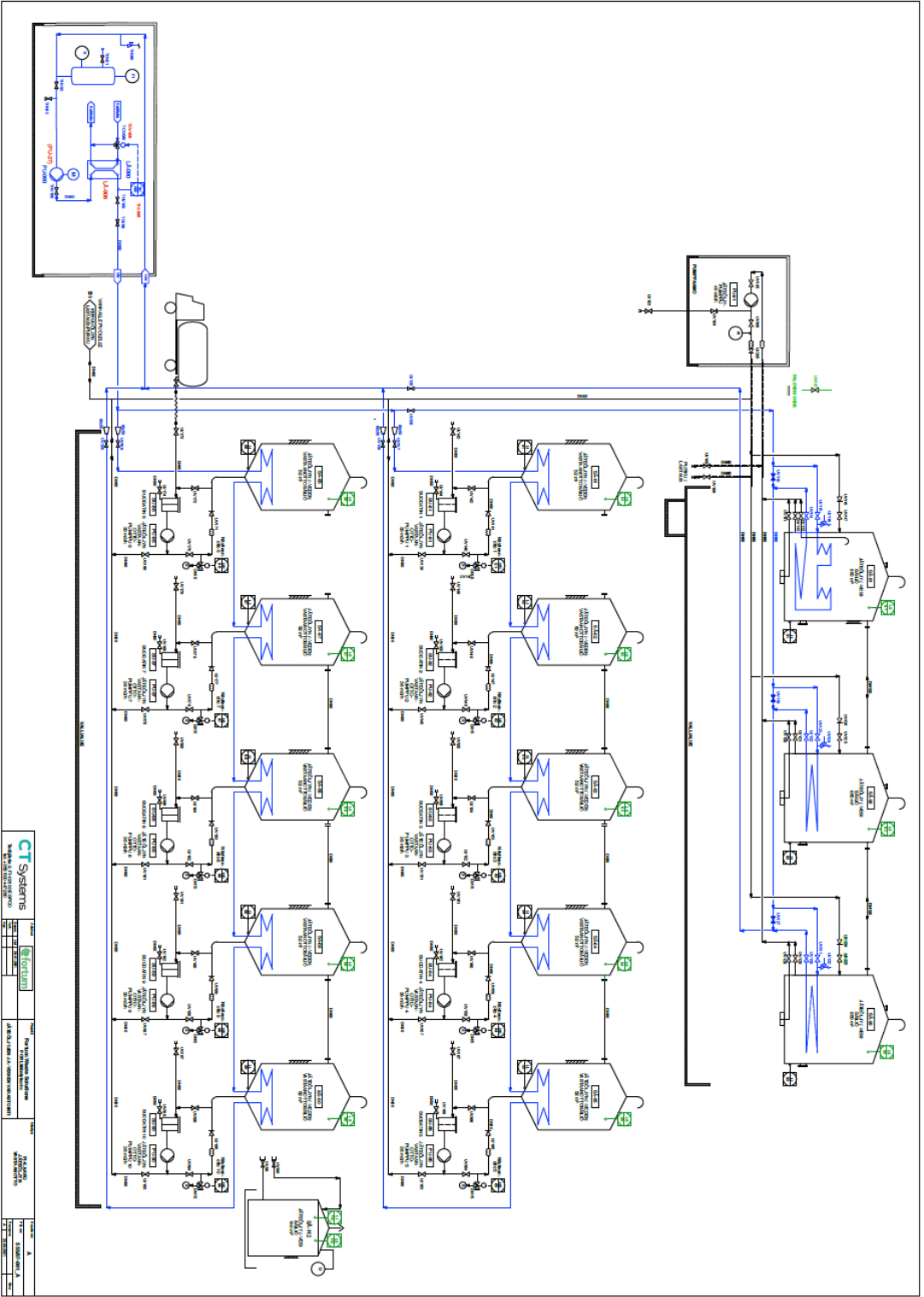
Ympäristölupapäätös dnro VARELY/3305/2015. 2019. Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus.

Ympäristölupapäätös dnro ESAVI/1787/2020. 2020. Aluehallintovirasto.

Ympäristölupapäätös dnro ESAVI/44401/2019. 2020. Aluehallintovirasto.

Ympäristönsuojelulaki. 2014. L 27.6.2014/527 muutoksineen.





**CT SYSTEMS**  
 HEIZUNGSTECHNIK GMBH  
 10000 BERLIN  
 TEL: +49 30 2500 1000  
 FAX: +49 30 2500 1001  
 WWW.CT-SYSTEMS.DE

**forum**  
 FÜR HEIZUNGSTECHNIK  
 10000 BERLIN  
 TEL: +49 30 2500 1000  
 FAX: +49 30 2500 1001  
 WWW.FORUM-HEIZUNGSTECHNIK.DE

Projekt: **ALBA**  
 Auftraggeber: **ALBA**  
 Standort: **ALBA**  
 Zeichnung: **ALBA**  
 Blatt: **ALBA**  
 Datum: **ALBA**

Liite 2 ei ole julkinen toimexiantajan pyynnöstä.

Liite 2 ei ole julkinen toimeksiintajan pyynnöstä.

Liite 2 ei ole julkinen toimeksiintajan pyynnöstä.



## Säästölaskelma LED-lamput

### Nykyinen valaistus

Elinikä kohteessa  
vuotta

Elohopealamppu 80W	<input type="text" value="0"/>	kpl	ToLEDo Performer 27W	
Elohopealamppu 125W	<input type="text" value="0"/>	kpl	ToLEDo Performer 36W	11
Elohopealamppu 250W	<input type="text" value="0"/>	kpl	ToLEDo Performer 54W	
Elohopealamppu 400W	<input type="text" value="0"/>	kpl	ToLEDo Performer 80W	
18W loisteputki	<input type="text" value="0"/>	kpl	ToLEDo Superia T8 LED-loisteputki 6,5 W 1110 lumenia	
36W loisteputki	<input type="text" value="0"/>	kpl	ToLEDo Superia T8 LED-loisteputki 15 W 2550 lumenia	
36W loisteputki	<input type="text" value="0"/>	kpl	ToLEDo Superia T8 LED-loisteputki 18 W 3100 lumenia	
58W loisteputki	<input type="text" value="0"/>	kpl	ToLEDo Superia T8 LED-loisteputki 24 W 3700 lumenia	
58W loisteputki	<input type="text" value="108"/>	kpl	ToLEDo Superia T8 LED-loisteputki 24 W 4100 lumenia	222
18W loisteputki	<input type="text" value="0"/>	kpl	ToLEDo Tube T8 LED-loisteputki 10W 1000 lumenia	
36W loisteputki	<input type="text" value="0"/>	kpl	ToLEDo Tube T8 LED-loisteputki 20W 2000 lumenia	
58W loisteputki	<input type="text" value="0"/>	kpl	ToLEDo Tube T8 LED-loisteputki 27W 2700 lumenia	
18W loisteputki	<input type="text" value="0"/>	kpl	ToLEDo Superia Universal HF T8 LED-loisteputki 8W 1100 lumenia	
36W loisteputki	<input type="text" value="0"/>	kpl	ToLEDo Superia Universal HF T8 LED-loisteputki 16W 2400 lumenia	
58W loisteputki	<input type="text" value="0"/>	kpl	ToLEDo Superia Universal HF T8 LED-loisteputki 24W 3600 lumenia	
28W loisteputki	<input type="text" value="0"/>	kpl	ToLEDo Superia T5 LED-loisteputki 16W 2400 lumenia	
54W loisteputki	<input type="text" value="0"/>	kpl	ToLEDo Superia T5 LED-loisteputki 27W 4200 lumenia	
35W loisteputki	<input type="text" value="0"/>	kpl	ToLEDo Superia T5 LED-loisteputki 18,5W 2800 lumenia	
49W loisteputki	<input type="text" value="0"/>	kpl	ToLEDo Superia T5 LED-loisteputki 26W 4200 lumenia	
80W loisteputki	<input type="text" value="0"/>	kpl	ToLEDo Superia T5 LED-loisteputki 37W 5600 lumenia	
28W loisteputki	<input type="text" value="0"/>	kpl	ToLEDo Superia T5 AC LED-loisteputki 16W 2400 lumenia	
54W loisteputki	<input type="text" value="0"/>	kpl	ToLEDo Superia T5 AC LED-loisteputki 27W 4200 lumenia	
35W loisteputki	<input type="text" value="0"/>	kpl	ToLEDo Superia T5 AC LED-loisteputki 18,5W 2800 lumenia	
49W loisteputki	<input type="text" value="0"/>	kpl	ToLEDo Superia T5 AC LED-loisteputki 26W 4200 lumenia	
	<b>108</b>			
Polttoaika h/vrk	<input type="text" value="1"/>	tuntia		
Valot päällä päivää/viikko	<input type="text" value="5"/>	päivää viikossa		
Valot päällä viikkoa/vuosi	<input type="text" value="45"/>	viikkoa vuodessa		
Polttoaika tuntia/vuosi	<b>225</b>	tuntia		
Valaistuksen ottama sähköteho	<b>6,264</b>	kW		
Sähkön kulutus / vuosi	<b>1409</b>	kWh		
Sähkön hinta	<input type="text" value="0,18"/>	eur/kWh		



---

Sähkölasku vuodessa **254** eur/vuosi

---

### LED-valaistus (samalla käytöllä)

Valaistuksen ottama sähköteho	<b>2,592</b>	kW
Sähkön kulutus / vuosi	<b>583</b>	kWh
Sähkölasku vuodessa	<b>105</b>	eur/vuosi

---

### Säästöt

Energian säästö vuodessa	<b>826</b>	kWh/vuosi
Säästö sähkölaskussa	<b>149</b>	eur/vuosi
LED-lampun/putken hinta kpl	<b>11,574</b>	€
Yhteensä	<b>1249,992</b>	€
<b>Takaisinmaksuaika</b>	<b>8,4</b>	vuotta
<b>Säästö elinkaaren aikana</b>	<b>17358,50</b>	€

---

Lisäksi säästöä syntyy lamppujen vaihtokustannuksesta, koska:

- LED-lamppujen kestoikä on vähintään kymmenkertainen halogeeniin verrattuna
- LED-loisteputkien kestoikä on vähintään kaksinkertainen loisteputkiin verrattuna

Loisteputkissa huomioitu liitäntälaitteen häviöteho.

---



Fello Sylvania Finland Oy, Business Park Kehämylly, Vantaankoskentie 14, 01670 Vantaa, P.09-54212100, [www.sylvania.fi](http://www.sylvania.fi) - [fi.info@sylvania-lighting.com](mailto:fi.info@sylvania-lighting.com) - y-tunnus: 1017005-4

Sivustomme on optimoitu toimimaan Google Chrome- ja Mozilla -selaimilla.

In order to provide you with the best online experience this website uses cookies. [Delete cookies](#)



## Säästölaskelma LED-lamput

### Nykyinen valaistus

Elinikä kohteessa  
vuotta

Elohopealamppu 80W	<input type="text" value="0"/>	kpl	ToLEDo Performer 27W	
Elohopealamppu 125W	<input type="text" value="13"/>	kpl	ToLEDo Performer 36W	11
Elohopealamppu 250W	<input type="text" value="0"/>	kpl	ToLEDo Performer 54W	
Elohopealamppu 400W	<input type="text" value="0"/>	kpl	ToLEDo Performer 80W	
18W loisteputki	<input type="text" value="0"/>	kpl	ToLEDo Superia T8 LED-loisteputki 6,5 W 1110 lumenia	
36W loisteputki	<input type="text" value="0"/>	kpl	ToLEDo Superia T8 LED-loisteputki 15 W 2550 lumenia	
36W loisteputki	<input type="text" value="0"/>	kpl	ToLEDo Superia T8 LED-loisteputki 18 W 3100 lumenia	
58W loisteputki	<input type="text" value="0"/>	kpl	ToLEDo Superia T8 LED-loisteputki 24 W 3700 lumenia	
58W loisteputki	<input type="text" value="0"/>	kpl	ToLEDo Superia T8 LED-loisteputki 24 W 4100 lumenia	222
18W loisteputki	<input type="text" value="0"/>	kpl	ToLEDo Tube T8 LED-loisteputki 10W 1000 lumenia	
36W loisteputki	<input type="text" value="0"/>	kpl	ToLEDo Tube T8 LED-loisteputki 20W 2000 lumenia	
58W loisteputki	<input type="text" value="0"/>	kpl	ToLEDo Tube T8 LED-loisteputki 27W 2700 lumenia	
18W loisteputki	<input type="text" value="0"/>	kpl	ToLEDo Superia Universal HF T8 LED-loisteputki 8W 1100 lumenia	
36W loisteputki	<input type="text" value="0"/>	kpl	ToLEDo Superia Universal HF T8 LED-loisteputki 16W 2400 lumenia	
58W loisteputki	<input type="text" value="0"/>	kpl	ToLEDo Superia Universal HF T8 LED-loisteputki 24W 3600 lumenia	
28W loisteputki	<input type="text" value="0"/>	kpl	ToLEDo Superia T5 LED-loisteputki 16W 2400 lumenia	
54W loisteputki	<input type="text" value="0"/>	kpl	ToLEDo Superia T5 LED-loisteputki 27W 4200 lumenia	
35W loisteputki	<input type="text" value="0"/>	kpl	ToLEDo Superia T5 LED-loisteputki 18,5W 2800 lumenia	
49W loisteputki	<input type="text" value="0"/>	kpl	ToLEDo Superia T5 LED-loisteputki 26W 4200 lumenia	
80W loisteputki	<input type="text" value="0"/>	kpl	ToLEDo Superia T5 LED-loisteputki 37W 5600 lumenia	
28W loisteputki	<input type="text" value="0"/>	kpl	ToLEDo Superia T5 AC LED-loisteputki 16W 2400 lumenia	
54W loisteputki	<input type="text" value="0"/>	kpl	ToLEDo Superia T5 AC LED-loisteputki 27W 4200 lumenia	
35W loisteputki	<input type="text" value="0"/>	kpl	ToLEDo Superia T5 AC LED-loisteputki 18,5W 2800 lumenia	
49W loisteputki	<input type="text" value="0"/>	kpl	ToLEDo Superia T5 AC LED-loisteputki 26W 4200 lumenia	
	<b>13</b>			

Polttoaika h/vrk	<input type="text" value="12"/>	tuntia
Valot päällä päivää/viikko	<input type="text" value="7"/>	päivää viikossa
Valot päällä viikkoa/vuosi	<input type="text" value="52"/>	viikkoa vuodessa
Polttoaika tuntia/vuosi	<b>4368</b>	tuntia
Valaistuksen ottama sähköteho	<b>1.625</b>	kW
Sähkön kulutus / vuosi	<b>7098</b>	kWh
Sähkön hinta	<input type="text" value="0,18"/>	eur/kWh

---

Sähkölasku vuodessa **1278** eur/vuosi

---

## LED-valaistus (samalla käytöllä)

Valaistuksen ottama sähköteho	<b>0.468</b>	kW
Sähkön kulutus / vuosi	<b>2044</b>	kWh
Sähkölasku vuodessa	<b>368</b>	eur/vuosi

---

## Säästöt

Energian säästö vuodessa	<b>5054</b>	kWh/vuosi
Säästö sähkölaskussa	<b>910</b>	eur/vuosi
LED-lampun/putken hinta kpl	<b>46,44</b>	€
Yhteensä	<b>603,72</b>	€
<b>Takaisinmaksuaika</b>	<b>0.7</b>	vuotta
<b>Säästö elinkaaren aikana</b>	<b>106015,00</b>	€

---

Lisäksi säästöä syntyy lamppujen vaihtokustannuksesta, koska:

- LED-lamppujen kestoikä on vähintään kymmenkertainen halogeeniin verrattuna
- LED-loisteputkien kestoikä on vähintään kaksinkertainen loisteputkiin verrattuna

Loisteputkissa huomioitu liitäntälaitteen häviöteho.

---



Feilo Sylvania Finland Oy, Business Park Kehämylly, Vantaankoskentie 14, 01670 Vantaa, P.09-54212100, [www.sylvania.fi](http://www.sylvania.fi) - [fi.info@sylvania-lighting.com](mailto:fi.info@sylvania-lighting.com) - y-tunnus: 1017005-4

Sivustomme on optimoitu toimimaan Google Chrome- ja Mozilla -selaimilla.

In order to provide you with the best online experience this website uses cookies. [Delete cookies](#)