

Janina Hettula

**ENERGIATEHOKKUUDEN PARANTAMINEN VEDENKÄSITTELYLAITOK-  
SESSA**

# **ENERGIATEHOKKUUDEN PARANTAMINEN VEDENKÄSITTELYLAITOK- SESSA**

Janina Hettula  
Opinnäytetyö  
Kevät 2023  
Energiatekniikan tutkinto-ohjelma  
Oulun ammattikorkeakoulu

## TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu  
Energiatekniikan tutkinto-ohjelma

---

Tekijä: Janina Hettula

Opinnäytetyön nimi: Energiatehokkuuden parantaminen vedenkäsittelylaitoksessa

Työn ohjaajat: Samuli Hyvönen, Tuomo Lämsä, Jukka Ylikunnari

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Kevät 2023

Sivumäärä: 36 + 1 liite

---

Tämän opinnäytetyön toimeksiantajana toimi Oy Kalotkonsult Ab. Työn tavoitteena oli löytää erilaisia energiansäästöratkaisuja vedenkäsittelylaitoksen energiankulutuksen vähentämiseksi. Kohde haluttiin pitää anonyyminä. Energiaa kuluu vedenkäsittelylaitoksella ympäri vuoden esimerkiksi prosessitilojen lämmitykseen ja kuivaukseen sekä ilmastoinnin lämmitykseen. Energiatehokkuuden parantamiseksi löydettiin vaihtoehtoja muun muassa erilaisista lämpöpumppuratkaisuista sekä aurinkosähköstä. Tarkkojen sähkön- ja lämmönkulutustietojen puuttuessa työssä esitettyjen energiansäästöratkaisujen mitoitukset ovat vain arvioita eikä tuloksia voida pitää tarkkoina. Työn pääasiallisena lähteenä käytettiin toimeksiantajalta saatuja sisäisiä lähteitä.

Erialaisten energiatehokkuutta parantavien ratkaisujen kartoituksen lisäksi tehtiin alustavia kustannuslaskelmia investoinnin kannattavuudesta. Kustannuksien laskennassa arvioitiin parannusratkaisulla saatavaa säästöä vuodessa ja paljonko se vaatisi investointeja. Takaisinmaksuaika laskettiin yksinkertaistettuna kaavalla, joka ei ottanut huomioon korkoja. Koska jo alkutilanteessa mitoitus oli epätarkkaa ja kustannuslaskelmissa ei huomioitu korkoja, voidaan tuloksia pitää vain suuntaa antavina. Kustannuksien lisäksi tehtiin herkkyystarkastelu aurinkosähkön takaisinmaksuajan muuttumisesta, kun sähkön hintaa muutettiin. Lopputuloksena huomattiin, että mitä kalliimpaa sähkö on, sitä kannattavampaa on oma aurinkosähköjärjestelmä.

Kun eri parannusratkaisuista saatavaa säästöä sekä investoinnin kannattavuutta vertailtiin, todettiin, että todennäköisesti kannattavinta olisi ottaa prosessivedestä lämpöä vesi-vesilämpöpumpun avulla tai kuivata regeneroinnin ja ilmastoinnin ilmaa kesäaikana ilma-ilmalämpöpumpulla. Energiaomavaraisuuden lisääminen aurinkosähköjärjestelmän avulla voisi tuoda lisäsäästöjä vedenkäsittelylaitoksen energiankulutuksessa jonkun toisen toimenpiteen rinnalla.

Vedenkäsittelylaitoksen energiaa säästävien toimenpiteiden tarkaksi mitoittamiseksi tulisi tietää sähkön- ja lämmönkulutuksen tiedot esimerkiksi vuorokausitasolla vuoden ajalta. Silloin kulutustiedoista voitaisiin tehdä pysyvyyskäyrä, jonka avulla saataisiin mitoitettua parannusratkaisuista saatava energiansäästö mahdollisimman realistiseksi. Myös kustannuslaskelmissa tulisi huomioida korot, jotka ottaisivat huomioon investoinnin tuoton. Tarkastelu tulisi tehdä myös toimenpiteen koko elinkaarelle, jotta kannattavuuden arvioiminen olisi todenmukaisempaa.

---

Asiasanat: Energiatehokkuus, energiansäästö, sähkönkulutus

# SISÄLLYS

1	JOHDANTO .....	5
2	VEDENKÄSITTELYLAITOS LÄHTÖTILANTEESSA .....	6
2.1	Vedenkäsittelylaitoksen sähkönkulutus .....	8
2.2	Prosessitilan kuivatusprosessi.....	9
3	PARANNUSRATKAISUT .....	11
3.1	Putkiston eristäminen .....	12
3.2	Regeneroinnin jäteilmasta lämpöä .....	13
3.3	Ilmastoinnin lämmöntalteenotto .....	14
3.3.1	Ilma-ilmalämpöpumppu.....	15
3.3.2	Ilma-vesilämpöpumppu .....	15
3.4	Prosessivedestä lämpöä lämpöpumpulla .....	16
3.5	Regeneroinnin ilman jäähdytyskuivaus kesäaikana .....	17
3.6	CHP-laitos .....	18
3.7	Aurinkosähkö.....	19
3.8	Aurinkolämpö .....	21
4	KUSTANNUKSET.....	24
4.1	Putkistojen eristyksen kustannukset.....	24
4.2	Regeneroinnin jäteilmasta saatavan lämmön kustannukset.....	25
4.3	Ilmanvaihdon lämmöntalteenoton kustannukset.....	25
4.4	Prosessivedestä lämpöpumpulla saatavan lämmön kustannukset.....	25
4.5	Regeneroinnin ilman jäähdytyskuivauksen kustannukset.....	26
4.6	CHP-laitoksen kustannukset .....	27
4.7	Aurinkosähkön kustannukset.....	27
4.8	Aurinkolämmön kustannukset .....	28
4.9	Yhteenvedo kustannuksista.....	28
5	HERKKYYSANALYYSI.....	30
6	LOPPUTULOKSET.....	32
7	YHTEENVETO .....	33
	LÄHTEET.....	34
	LIITTEET .....	37

# 1 JOHDANTO

Vedenkäsittely juomakelpoiseksi on monivaiheinen prosessi, joka kuluttaa paljon energiaa. Eniten energiaa vedenkäsittelylaitoksella kuluttavat raakaveden, jakeluverkon ja käsittely-yksiköiden välinen pumppaus sekä vedenpuhdistus. (1.) Energiatehokkuuden parantamiseksi vedenkäsittelylaitoksella on mahdollista esittää useita erilaisia säästöratkaisuja.

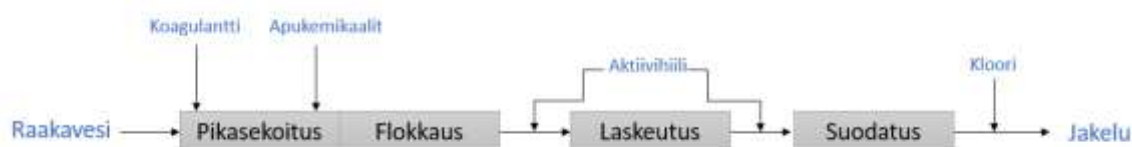
Tässä työssä käsiteltävän vedenkäsittelylaitoksen sähkönkulutus on noin 500 MWh vuodessa ja lämmönkulutus noin 300 MWh vuodessa. Laitos on sähkölämmitteinen ja sitä lämmitetään sähköllä toimivilla säteilylämmittimillä sekä ilmanvaihtolämmityksillä. Käsittelylaitosta lämmitetään ympäri vuoden, sillä ruostumattomissa teräsputkissa kulkee 3–5-asteista pohjavettä, joka viilentää prosessitilaa myös kesäisin. Energiaa kuluu kohteessa prosessi- ja aputilojen sekä ilmastoinnin lämmityksen lisäksi prosessitilan kuivaamiseen. Kuivausta tarvitaan pitämään huonekosteuden arvo alle 40 %:ssa ja pitämään huoneilma puhtaana. Ilmaa kuivataan absorptiokuivaimella. (2.)

Sähkönkulutuksen vähentämiseksi esitetään pienempiä ratkaisuja, kuten putkistojen eristämistä sekä suurempia ratkaisuja, kuten CHP-laitosta. Erilaisia parannusratkaisuja tutkimalla ja niiden kannattavuutta vertailemalla voidaan löytää juuri tähän kohteeseen sopiva säästötoimenpide tai esimerkiksi kahden eri toimenpiteen yhdistelmä.

Työn toimeksiantajana toimii Oy Kalottkonsult Ab, joka on monialainen insinööritoimisto. Yritys toimii Pohjois-Suomen alueella ja heidän päätoimipaikkansa sijaitsee Kemissä. Oy Kalottkonsult Ab on osa Polartek-konsernia. (3.)

## 2 VEDENKÄSITTELYLAITOS LÄHTÖTILANTEESSA

Vedenkäsittelylaitoksen puhdistusprosessi on riippuvainen raakaveden laadusta. Suomessa talousvesi valmistetaan pinta-, pohja- tai tekopohjavedestä. Pintavettä saadaan järvestä, joesta tai rannikkovedestä. (4.) Pintavesi täytyy aina desinfioida kloorilla, otsonilla tai ultraviolettisäteilyllä tai näitä kaikkia kolmea käyttäen, ennen kuin se johdetaan vesijohtoverkkoon (5). Pintavedessä on humusta ja hygieenisiä epäpuhtauksia, minkä vuoksi se tulee aina käsitellä monivaiheisesti. Kuvassa 1 on pintaveden puhdistuksen yleinen prosessikaavio. (1.)



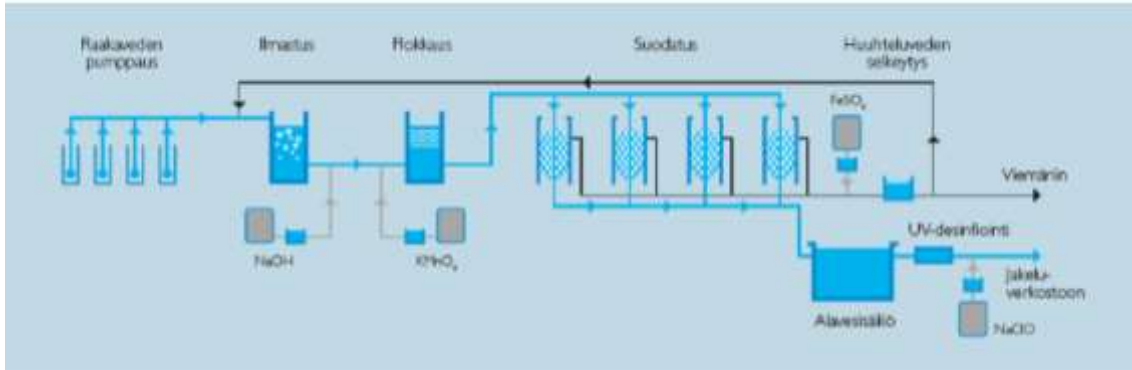
KUVA 1. Pintaveden puhdistuksen yleinen prosessikaavio (muokattu lähteestä 1)

Pohjavesi on maakerrosten läpi kulkeutunutta vettä, joka sijaitsee maanpinnan alapuolella. Se on yleensä puhtaampaa kuin pintavesi, sillä kulkeuduttuaan maakerrosten läpi siitä suodattuu pois epäpuhtauksia. (6.) Hyvälaatuista pohjavettä ei välttämättä tarvitse desinfioida ollenkaan (4). Tekopohjavesi on pohjavettä, johon on keinotekoisesti lisätty pohjaveden määrää imeyttämällä pintavettä maahan. Se otetaan maasta kaivojen avulla, kuten tavallinen pohjavesi. (7.)

Desinfiointiin lisäksi raakavettä käsitellään suodattamalla, flokkaamalla, nostamalla sen pH-arvoa, saostamalla ja hapettamalla, kunnes se on tarpeeksi puhdasta kuluttajien käyttöön (1). Näillä toimenpiteillä pidetään puhtaan talousveden lisäksi myös huolta jakeluverkon kunnosta ja käyttäisistä (5). Raakaveden laatu säätelee sitä, kuinka paljon eri kemikaalein vettä joudutaan käsittelemään (1).

Mitä enemmän raakavettä joudutaan käsittelemään, sitä enemmän kuluu myös energiaa. Eniten energiaa kuluu jakeluverkon tarvitsemaan pumppaukseen, raakaveden pumppaukseen vesilaitokselle sekä käsittely-yksiköiden väliseen pumppaukseen. Myös kemikaalien syöttöön kuluu sähköä, mutta niiden osuus sähkönkulutuksesta on pieni. (1.)

Opinnäytetyön toimeksiantajan tapauksessa vedenkäsittelylaitos käyttää raakavetenä laadukasta pohjavettä, joten sen käsittely on melko vähäistä. Kuvassa 2 on esitetty vedenkäsittelylaitoksen prosessikaavio. (8.)



KUVA 2. Kohteen vedenkäsittelyn prosessikaavio (8)

Lähtötilanteessa vedenkäsittelylaitos on sähkölämmitteinen, sitä lämmitetään sähköllä toimivilla säteilylämmittimillä sekä ilmanvaihtolämmityksillä. Energiaa kuluu kohteessa prosessi- ja aputilojen lämmitykseen, ilmastoinnin lämmitykseen ja prosessitilan kuivaamiseen. Käsittelylaitosta lämmitetään ympäri vuoden, koska ruostumattomissa teräsputkissa ja säiliöissä, joita ei ole eristetty, kulkee 3–8-asteinen pohjavesi, joka viilentää prosessitilaa tehokkaasti myös kesäisin. (8.) Erityisen tärkeää on myös kuivattaa prosessitilaa jatkuvasti ilmankuivaajalla, koska sillä ylläpidetään prosessi-ilman lämpötilaa ja kosteutta asetusarvossaan. Kuivausta tarvitaan myös huoneilman puhtauden vuoksi. (9.)

Prosessitilan suhteellinen kosteus pidetään alle 60 %:ssa, koska sillä estetään ilman kautta mahdollinen mikrobien pääsy käsiteltävään veteen. Kohdekäynnillä huoneilman kosteuden asetusarvo oli hyvin alhainen, mutta sen mittauspaikka oli huoneen alaosassa, jossa kosteus on alhaisempaa. Huoneen yläosassa kosteus on suurempaa, sillä avosäiliöissä olevan veden pinta on korkealla ja näin ollen vettä haihtuu enemmän huoneen yläosassa. Koska kosteus on suurempaa, samalla myös mikrobien kehittymisvaara on suurempi, joten edellä mainittua asetusarvoa ei ole syytä muuttaa. (8.)

Lisäksi prosessitilaa kuivaamalla halutaan estää veden kondensoituminen putkien ja laitteiden pintaan. Jos vettä pääsee kondensoitumaan putkien ja laitteiden pintaan, valuvan veden kautta voi sekoittua mikrobeja jo puhdistettuun veteen, sillä vettä käsitellään laitoksella avosäiliöissä. Myös prosessitilan lattia halutaan pitää kuivana. (10.)

## 2.1 Vedenkäsittelylaitoksen sähkönkulutus

Eniten sähköä prosessitilassa kuluttavat säteilylämmittimet sekä ilmankuivaajan ja ilmanvaihdon sähkölämmityspatterit. Sähkölämmityspattereita on kaksi kappaletta, ja niiden arvioitu yhteisteho on 24,16 kW (11). Kuivauksen energiankulutus on huomattavan suurta, kuten myös ilmastoinnin lämmitys. Ilmastoinnissa tuloilman lämpötila-asettelu on 4 °C, joka on arvoltaan hyvä ja energiaa säästävä. Osa sähköenergiasta menee myös prosessilaitteiden käyttöön, kuten veden lämmitykseen ja kompressoreille. (8.)

Laitoksen prosessitiloja lämmitetään sähköisillä paneelisäteilijöillä. Säteilylämmittimiä on asennettu kattoon yhteensä 29 kappaletta. Yhden säteilylämmittimen teho on 2,1 kW, joten säteilylämmittimien yhteisteho on 60,9 kW. (12.) Säteilylämmittimien osuus laitoksen sähkönkulutuksesta on suuri. Rakennuksen aputiloja lämmitetään kiertoilmalämmittimillä ja sähköisillä lämmityspattereilla. (8.)

Lisäksi vedenpuhdistuslaitoksella sähköä kuluttavat valaisimet, joita on 62 kappaletta. Valaisimet ovat loistelamppuja, ja yhden lampun teho on 2x58 W. (12.) Myös ilmankuivaajassa olevat kaksi puhallinta kuluttavat sähköenergiaa yhteensä 1,65 kW (11). Näiden osuus vedenpuhdistamon sähkönkulutuksesta ei ole niin suuri kuin säteilylämmittimien ja sähkölämmityspattereiden, mutta niiden osuus on siitä huolimatta merkittävä. (8.)

Myös vedenkäsittelyssä tarvittavat prosessilaitteet kuluttavat sähköä, ja ne ovat jatkuvasti käytössä. Mammuttipumppujen jatkuva tehontarve on 6 kW. Matalapaine kompressorien tehontarve on 3,5 kW. Lisäksi muiden pumppujen laitteiden tehontarve on 5 kW. Yhteensä prosessilaitteiden tehontarve on 14,5 kW. (8.)

Energiavuokaaviosta nähdään prosessitilan energiavirrat lähtötilanteessa eli mihin kuluu energiaa ja mitä sieltä poistuu maksimitilanteessa (kuva 3). Vedenpuhdistamon arvioitu sähkönkulutus vuodessa on noin 500 MWh ja vuorokauden keskiarvo on 1342 kWh. Pelkästään kuivatusprosessi ja LVI (lämpö, vesi ja ilmastointi) kuluttavat yhteensä noin 373 MWh vuodessa. Talvella lämmitys on merkittävä kuluttaja ja kesällä energiaa kuluu huoneilman kuivaukseen sekä myös lämmitykseen. Pelkästään lämmityksen kulutus on noin 300 MWh vuodessa. Kustannuksia kertyy 38 195 € vuodessa eli huomattava määrä. Näihin lukuihin pyritään saamaan parannusta energiaselvityksen avulla. (13.)



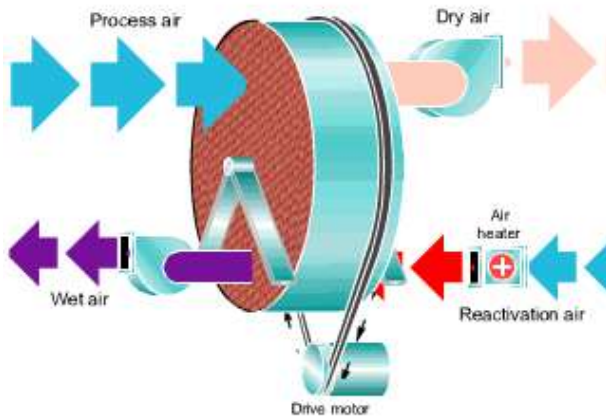


KUVA 3. Prosessitilan energiavuokaavio

## 2.2 Prosessitilan kuivatusprosessi

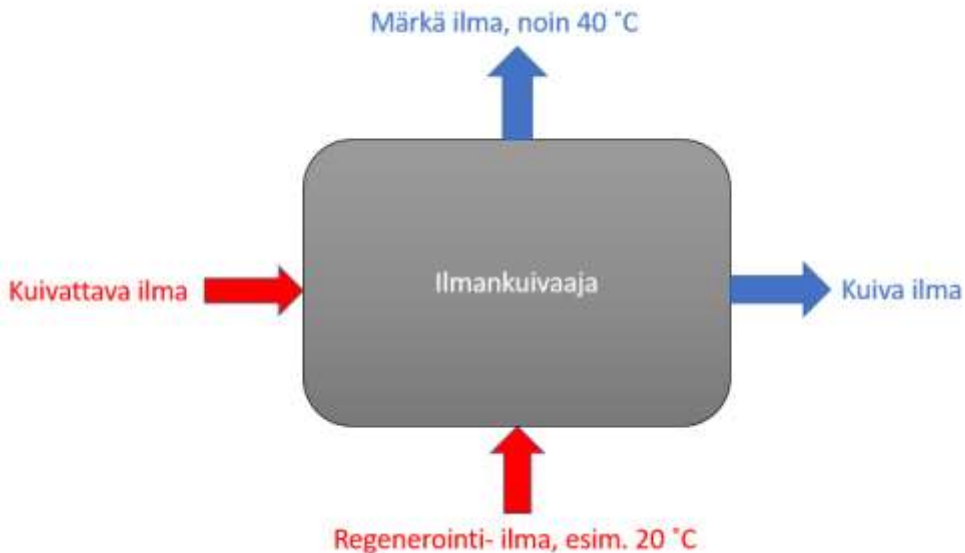
Prosessitilan kuivaus on yksi eniten sähköä kuluttavista prosesseista tällä vedenkäsittelylaitoksella. Kuivausprosessin laitteena on hygroskooppinen pyörivä roottorikuivain, joka on jatkuvasti käynnissä. (8.) Hygroskooppisuudella tarkoitetaan materiaalin kykyä sitoa kosteutta ilmasta (14). Kyseessä on absorptiokuivain, jossa kostea ilma virtaa hygroskooppisen materiaalin eli silikageelin päälle ja kuivuu (15). Roottorin kostea osa pyörähtää hitaasti toiseen lämmitettyyn ilmavirtaan ja luovuttaa kosteutensa. Kosteus poistuu regenerointi-ilman mukana ja kuiva absorptioaine pyörähtää takaisin imemään kosteutta kuivattavasta ilmasta. Kuvassa 4 nähdään absorptiokuivaimen toimintaperiaate. (16.)

### Munters Desiccant Rotor Principle



KUVA 4. Absorptiokuivaimen toimintaperiaate (16)

Ulkoa ja prosessitilasta otetaan ilmaa, joka lämmitetään noin 100 °C:seen sähkölämmityspatterilla. Kuivurilta lähtee lämmintä tuloilmaa prosessitilaan ja aputiloihin sekä poistoilmaa ulkoilmaan poistoilmakanavan kautta. Ulkoilmaan lähtevä poistoilma on hukkalämpöä. Kuivatusprosessin energiavuokaaviosta nähdään kuivatukseen menevät ja poistuvat energiavirrat (kuva 5). Ilmankuivaajan tila käytiin tarkastamassa paikan päällä laitoksella ja todettiin, että kuivuri on toimintakunnossa. (8.)



KUVA 5. Kuivatusprosessin energiavuokaavio

### 3 PARANNUSRATKAISUT

Kohteessa on mahdollista tarkastella useita erilaisia parannusratkaisuja, joilla saataisiin säästettyä energiaa. Laitoksella olisi mahdollista hyödyntää esimerkiksi prosessivettä tai ilmankuivaajalta poistuvaa hukkalämpöä. Aluksi selvitetään, voidaanko säätö- ja asetuservojen käytön tarkennuksen tai muutoksen avulla saavuttaa säästöjä. Ilmankuivaaja on todettu jo toimivaksi, joten suuria säästöjä tarkennussäädöillä ei voida saada. On hyvä kuitenkin selvittää, tarvitaanko prosessitilan kuivausta jatkuvasti. Jos ilmankuivaajan ei tarvitsisi olla päällä jatkuvasti, sillä saataisiin säästettyä sähkönkulutuksessa. Myös esimerkiksi huonelämpötilaa alentamalla voidaan saada säästöä noin 5 % yhtä alennettua astetta kohti. Tämä säästäisi vuotuisissa lämmityskustannuksissa noin 15 MWh vuodessa. (2.)

Muita energiansäästöratkaisuja voisivat olla putkistojen eristäminen, erilaiset lämmöntalteenotto- ja lämpöpumppuratkaisut sekä sähköä ja lämpöä tuottava CHP-laitos. Myös aurinkosähkö ja -lämpö on hyvä ottaa huomioon, sillä laitoksella on vapaata tonttia sekä katto- ja seinätilaa. Jokaisessa toimenpiteessä on aina huomioitava kustannukset, toteutettavuus sekä kannattavuus. (2.)

Tällä hetkellä sähköä kuluu laitoksella prosessiin noin 127 MWh vuodessa ja LVI-laitteisiin yhteensä noin 373 MWh vuodessa eli sähkönkulutus on noin 500 MWh vuodessa. Lämpöä kuluu noin 300 MWh vuodessa. Mitoituksessa on huomioitava, että sähkön- sekä lämmönkulutukselle ei ole ollut tarkkoja vuorokausitason tietoja vuoden ympäri. Sähkönkulutustietoja on ollut saatavilla vain rajallisina ajanjaksoina eri vuosina. Lämmönkulutukselle ei ole ollut saatavilla mittaustietoja ollenkaan. Tämä tekee mitoituksesta epätarkkaa ja tuloksia voidaan pitää vain karkeina arvioina. Kun tarkastellaan laitoksen sähkönkulutusta eri vuodenaikoina vuorokausitasolla, huomataan, että eniten laitos kuluttaa sähköä talvikuukausina ja vähiten keväästä syksyyn (kuva 6). Eri vuodenojille laskettu vuorokausitason kulutus on mitatun ajan sähkönkulutus jaettuna vuorokausilla. (2.)



KUVA 6. Laitoksen sähkönkulutus kuukausittain vuorokausitasolla

### 3.1 Putkiston eristäminen

Putkistojen eristäminen estää kondenssin, lämpöhäviöiden, jäätyksen, äänen ja palon syntymistä. Eristämisen tavoitteena on saada rakennuksen energiakustannukset pysymään hallinnassa. (17.) Kohteessa on eristämättömät ruostumattomat teräsputket, joten vain niiden putkien eristäminen olisi tarpeen, missä kondenssi on haitallista. Kondenssi on haitallista, jos putkista tippuu vettä esimerkiksi avosäiliöihin. Putkistojen eristämällä on vaikutusta prosessitilan kosteustasoon. Eristys voi lisätä kosteutta tilassa, koska putkisto ei kuivata ilmaa enää, kun se on eristetty. Tämä taas voi lisätä ilman kuivauksen tarvetta, mikä taas lisää sähkönkulutusta. (2.) Putkistojen eristäminen voi myös vaikuttaa positiivisesti prosessitilan lämmitystarpeen ja kustannusten alenemiseen ja sitä kautta sen kannattavuuteen (8).

Eristettäviä putkia olisi noin 100 m, arviolta 60 m<sup>2</sup>. Säästöä tulisi 88 W/m<sup>2</sup> eli noin 5,3 kW:n teholla vuodessa. Energiankulutus lasketaan kaavalla 1.

$$E = Pt$$

KAAVA 1

jossa

E=sähköenergia (kWh)

$P$ =teho (kW)

$t$ =aika (h)

Näin ollen 5,3 kW:n teholla ja ajalla 8760 h vuodessa saataisiin energiankulutukseksi 46 428 kWh.

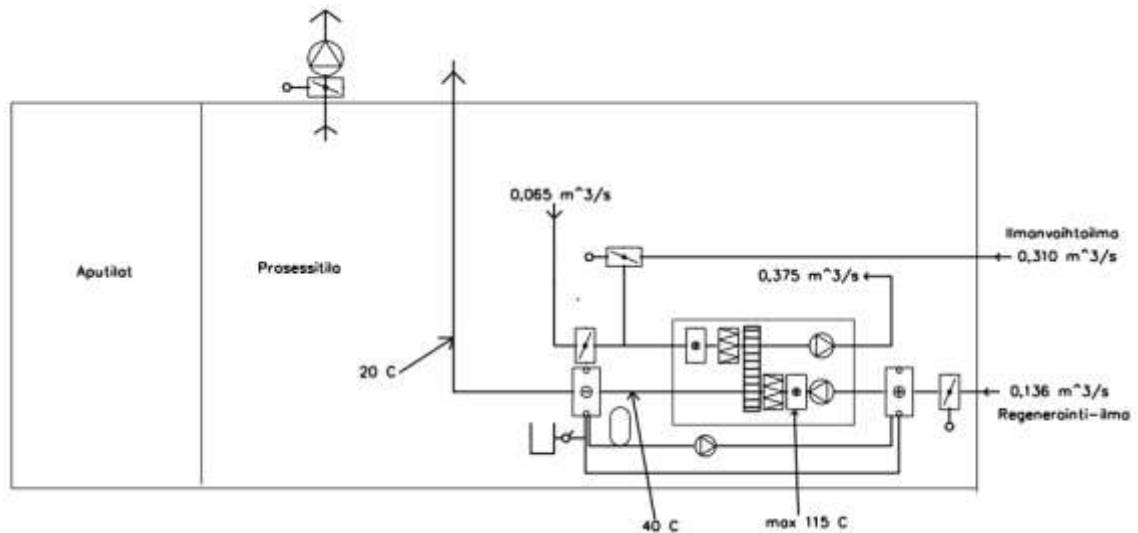
Laitos siis säästäisi sähköä 46,4 MWh vuodessa. (2.)

### 3.2 Regeneroinnin jäteilmasta lämpöä

Ilmastointikanavaan asennettavien sähkölämmityspattereiden ja glykolia sisältävän vesiverkoston avulla voidaan siirtää lämpöä kuivausprosessin jälkipäästä ilman esilämmittämiseen (8). Glykolin käyttö estää jäätymistä, kiehumista ja korroosiota lämmitysjärjestelmässä (18).

Regenerointiprosessissa ilma lämmitetään jopa 115 °C:seen sähköpatterin avulla. Regeneroinnin ilmavirta on 0,136 m<sup>3</sup>/s. Tässä kuumassa ilmassa kokonaisenergia on 13,5 kW. Jos käyttötunteja on 2000, on sähkönkulutus silloin maksimissaan noin 27 MWh, kaavalla 1 laskettuna. Energiaa regenerointiprosessissa kuluu veden höyrystämiseen ja kuivaimen prosessiin. Ilmavirrasta saadaan hyödyksi 3,3 kW:n teholla ja 2000 käyttötunnilla 6,6 MWh kaavalla 1 laskettuna. Kondenssi-vedestä vastaavasti 3 kW:n teholla ja 2000 käyttötunnilla saadaan kaavalla 1 laskettuna hyödyksi 6 MWh. Säästöä sähkönkulutuksessa laitokselle tulisi yhteensä 12,6 MWh vuodessa, mutta säästöä saadaan vain kesäkuukausien aikana. (2.)

Kuvassa 7 on esitetty toimenpiteen toimintakaavio. Tässä toimenpiteessä on huomioitava lämmön-  
talteenottopatterin asennus jäteilmavirtaan, esilämmityspatteri kuivaimen regeneroinnin eteen ja lämmönsiirtoputkisto pumppuineen regeneroinnin ilman esilämmittämiseen. Lisää säästöä saataisiin lämpöpumpulla edellisen patterin jälkeen jäännöslämmön talteenottoon ja ilmalauhdutuksella prosessitilan lämmittämiseksi, mitä ei kuitenkaan ole tässä esitetty. (8.)



KUVA 7. Regenerointiprosessin toimintakaavio

### 3.3 Ilmastoinnin lämmöntalteenotto

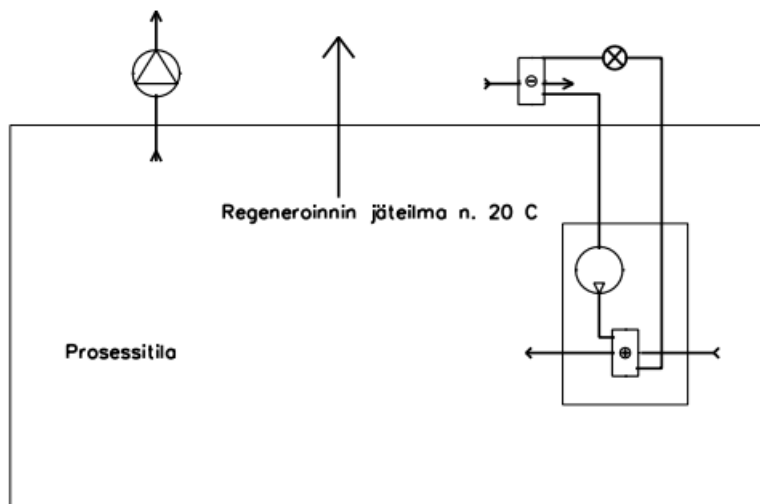
Ilmastoinnin avulla voidaan hallita ilman lämpötilaa ja kosteuspitoisuutta (19). Hyödyntämällä prosessi- ja aputilojen ilmanvaihdon jäteilmaa voidaan säästää lämmityskuluissa (20). Ilmastoinnin lämmitys muodostaa suuren osan sähkönkulutuksesta. Mahdollisia ratkaisuja voisivat olla ilma-ilma- sekä ilma-vesilämpöpumput. Näissä vaihtoehdoissa on huomioitava myös muut tarvittavat toimenpiteet, jotka vaikuttavat kannattavuuteen, esimerkiksi suorailmalämmityksen varustus sekä lämpöpumpun höyrytimen asennus kammioon vesikatolle. (8.)

Ilmastoinnista voidaan saada lämmöntalteenotolla säästöä teholla 5,25 kW eli 46 MWh vuodessa, kun lämpötilaero on 15 °C. Regeneroinnin jäteilmasta voidaan säästää lämpöä 10 MWh teholla 5 KW ja 2000 käyttötunnilla. (Kaava 1.) Yhteensä säästöä sähkössä saadaan siis 56 MWh. Huomioidaan kuitenkin investoitavien laitteiden välitön sähkönkulutus. Lämpöpumpun teho on 2,5 kW vuodessa eli se kuluttaa 22 MWh, joten todelliseksi hyödyksi laitokselle tulee 34 MWh vuodessa (kaava 1). (2.)

### 3.3.1 Ilma-ilmalämpöpumppu

Ilmalämpöpumpun toimintaperiaate on kierrättää ulkoyksikön kautta ulkoilmaa lävitseen ja jäähdyttää sitä. Kompressorin avulla jäähdytetty ilma siirretään sisäyksikköön, joka luovuttaa lopulta lämmön huoneilmaan. Ilmalämpöpumpulla ei voida lämmittää käyttövettä eikä se yleensä pysty yksinään kattamaan koko tilan lämmitystä. Ilmalämpöpumpun hyötysuhde ja tehontuotto heikkenevät, mitä kylmempää ulkoilma on. Parhaiten lämpöpumppu toimii, kun ero sisä- ja ulkoilman lämpötiloilla on mahdollisimman pieni. (21.)

Kohteessa lämpöä otettaisiin talteen yleisilmanvaihdosta ja regeneroinnin jäteilmasta. Lauhdutinlämpö siirrettäisiin suoraan prosessitilaan. Regeneroinnin jäteilma olisi noin 20 °C. Kuvassa 8 on esitetty ilma-ilmalämpöpumpun toimintaperiaate kohteessa. (8.)

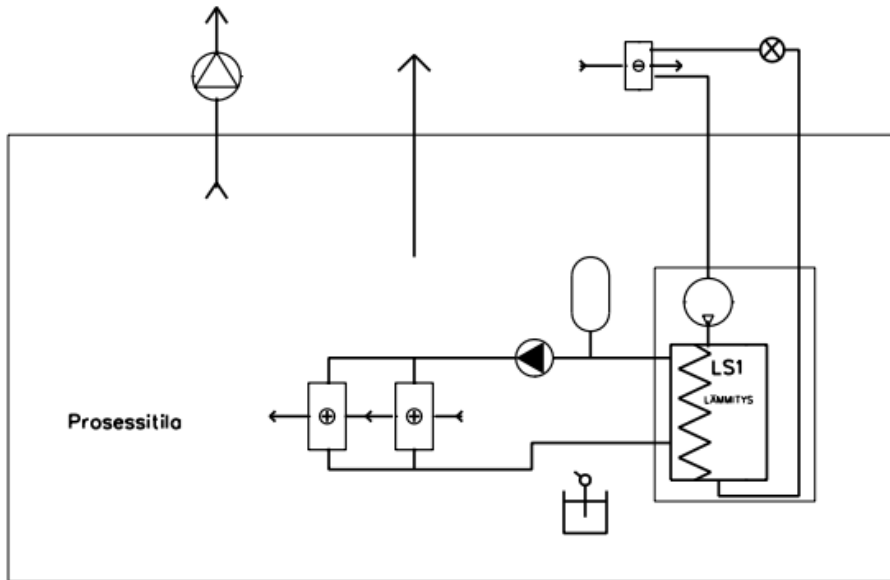


KUVA 8. Ilmanvaihdon lämmöntalteenotto ilma-ilmalämpöpumpulla

### 3.3.2 Ilma-vesilämpöpumppu

Ilma-vesilämpöpumpun toimintaperiaate on ottaa lämpöä ulkoilmasta ja siirtää se vesikiertoiseen lämmitysjärjestelmään. Sillä voidaan lämmittää myös lämmintä käyttövettä. Ilma-vesilämpöpumpuratkaisu on hyvä, jos tontille ei voida rajoituksen vuoksi asentaa maalämpöjärjestelmää, mutta tähän kohteeseen on mahdollista asentaa myös maalämpöjärjestelmä. (22.)

Ilmalämpöpumppuratkaisuun erona on siirtää lauhdutinlämpö lämpöjohtoverkoston ja sitä kautta lämmittämään prosessitilaa. Kuvassa 9 on esitetty ilma-vesilämpöpumpun toimintaperiaate koh- teessa. (8.)



KUVA 9. Ilmanvaihdon lämmöntalteenotto ilma-vesilämpöpumpulla

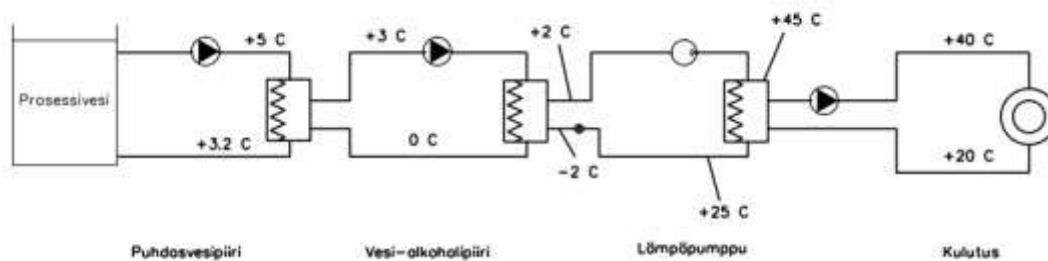
### 3.4 Prosessivedestä lämpöä lämpöpumpulla

Laitoksella olevasta prosessivedestä voidaan saada energiaa hyödyksi vesi-vesilämpöpumpun avulla. Ratkaisussa tarvitaan prosessiveteen pumppu ja lämmönsiirrin, jonka kautta prosessiveden lämpö siirretään lämpöpumppupiirin höyrystimeen lämpöpumppupakettiin sisältyvän pumpun avulla. Sitä kautta lämpö siirretään lämpöpumpun lauhduttimelle ja edelleen hyötylämmöksi rakennuksen tarpeisiin. Lämpö siirretään nesteen avulla eri lämmityskohteisiin, kuten lämmityspattereille, kiertoilmakojeille ja ilmastoinnin pattereille. Tämä vaatii uuden lämpöjohtoverkoston rakentamista. Lämpöä olisi myös mahdollista siirtää tilaan suoraan ilman välityksellä. Vaikeutena lämmön jakamisessa ilman välityksellä on lämmön jakaminen eri kohteisiin, joten tätä ratkaisua ei tarkastella tarkemmin. (8.)



Suurimmillaan tehontarve on 60 kW, josta noin 30 kW on jatkuvaa lämmitystehoa. Talviaikana tehontarve lisääntyy noin 20 kW. Jatkuvalla lämmitysteholla sähköä säästyy 263 MWh vuodessa, kun teho on 30 kW ja käyttötunteja 8760. Talviaikana lämmityksessä säästetään 87,6 MWh, kun teho on 20 kW ja käyttötunteja 4380. Yhteensä säästöä ilman laitteiden sähkökuluja tulee 350,6 MWh. Lämpöpumppu kuluttaa talviaikana sähköä 87,6 MWh, kun teho on 20 kW ja käyttötunteja 4380. Lämpimänä aikana lämpöpumppu kuluttaa 44 MWh, kun teho on 10 kW ja käyttötunteja 4380. Muiden laitteiden sähkönkulutusta tulee noin 26 MWh, kun teho on 3 kW ja käyttötunteja 8760. (Kaava 1.) Todellisuudessa säästöä tällä toimenpiteellä saataisiin 193 MWh vuodessa. Prosessivedestä saatava säästö jakautuu eri tavalla talvi- ja kesäkuukausille. (2.)

Tämä toimenpide olisi aika massiivinen ratkaisu ja vaatisi paljon järeääkin tekniikkaa. Ilmastoinnin esilämmityspatterin pitäisi olla glykoliverkosto eli se pitäisi tarkastella vielä erikseen. Kuvassa 10 on esitetty toimintakaavio prosessivedestä saatavaan lämpöön lämpöpumpun avulla. (2.)



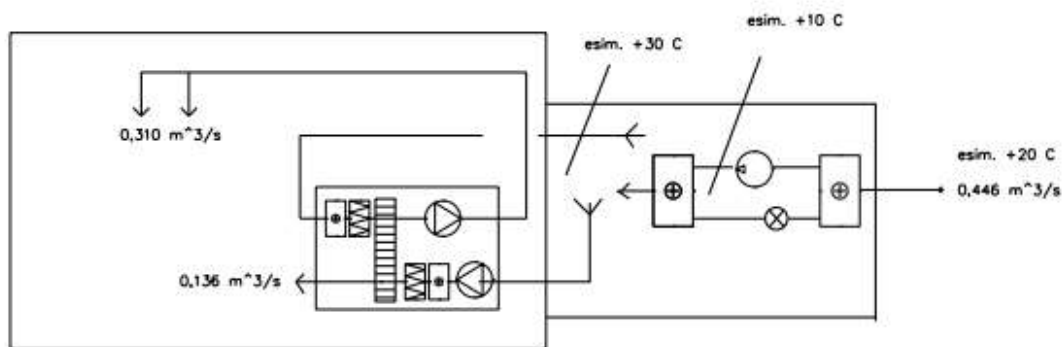
KUVA 10. Prosessivedestä saatavan lämmön toimintaperiaate lämpöpumpun avulla

### 3.5 Regeneroinnin ilman jäähdytyskuivaus kesäaikana

Jos kesällä prosessitilassa tarvitaan kuivatusta, voi se olla kannattavaa kompressoriteknikalla ja jäähdyttämällä regeneroinnin ottamaa ilmaa. Tämä jäähdytys tehostaa nyt toimivaa absorptiokuivausta. (8.) Lämpöpumpulla kuivataan ja syötetään pumpun kehittämä lämpö takaisin tuloilmavirtaan ja regeneroinnin ilmanottoon tai huonetilaan. Regeneroinnin ilmanottoon pitäisi rakentaa siirtoilmakanavaa noin 10 metriä. Toinen vaihtoehto olisi käyttää levylämmönsiirintä, mutta se olisi suurempi investointi. (2.)

Huomioidaan kesäajaksi kuusi kuukautta. Kun lämpöpumppu on ilmanvaihtokojeen raitisilmanotossa, säästöä lämmityksessä saadaan 15 MWh puolen vuoden aikana, kun hyötyteho on 4 kW ja käyttötunteja 4380 (kaava 1). Säästöä kosteuden poistossa saadaan 14 MWh puolen vuoden aikana, kun vettä poistuu 5 kg/h noin 3,2 kW:n teholla puolen vuoden aikana (kaava 1). Säästöä regeneroinnin lämmityksessä saadaan 7 MWh puolen vuoden aikana, kun ilmavirta on 0,136 m/s ja lämpötila 10 °C, teholla 1,6 kW. Yhteensä säästöä saadaan tällä toimenpiteellä 36 MWh vuoden aikana. (2.)

Tämä toimenpide on yksinkertainen tapa esilämmittää ulkoilmaa lämpöpumpulla ja samalla se on helppo tapa kuivata huoneilmaa. Tässä annetaan lämpöä myös regeneroinnin ilmanottoon. Kuvassa 11 on esitetty toimintaperiaate regeneroinnin ilman jäähdytyskuivaukseen kesäaikana. (2.)

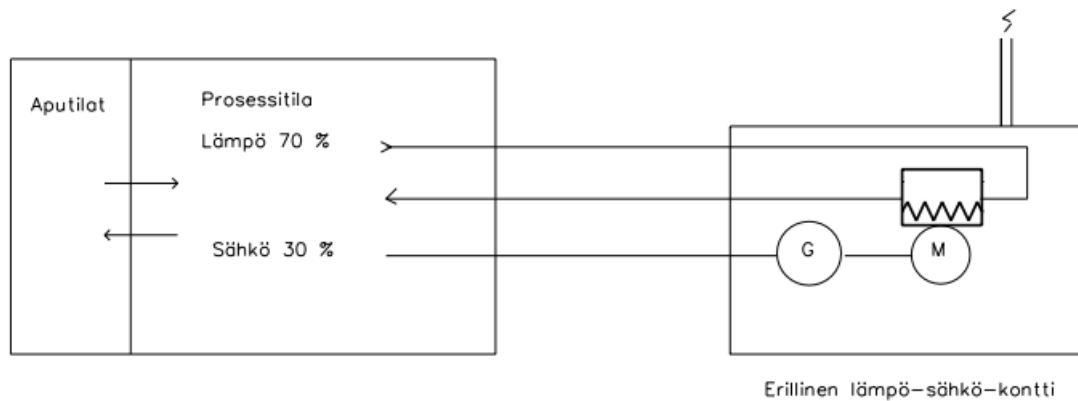


KUVA 11. Regeneroinnin ilman jäähdytyskuivauksen toimintaperiaate

### 3.6 CHP-laitos

CHP-laitos (Combined Heat and Power) on lämpöä ja sähköä tuottava voimalaitos. Se tuottaa rakennusasteen mukaisesti sähköä ja lämpöä. (23.) CHP-laitosta ajetaan lämmöntarpeen mukaisesti, sillä sähköä ei voida tuottaa ilman lämmöntarvetta (24).

Jos kohteeseen valittavasta CHP-laitoksesta saadaan tuotetusta energiasta 70 % lämpöä ja 30 % sähköä, saadaan rakennusasteeksi 0,43 kaavalla 2 laskettuna (kuva 12) (25).



KUVA 12. Lämpöä ja sähköä kohteeseen CHP-laitoksen avulla

$$\text{Rakennusaste} = \frac{\text{CHP-laitoksen sähköteho}}{\text{CHP-laitoksen lämpöteho}}$$

KAAVA 2

Kohteessa sähkönkulutus on noin 500 MWh ja lämmönkulutus noin 300 MWh vuodessa. CHP-laitoksella ei voida tuottaa sähköä ilman, että tuotetaan myös lämpöä. Jos lämmöntarve on vuodessa 300 MWh, tuotetaan rakennusasteen mukaan CHP-laitoksella 129 MWh sähköä vuodessa (kaava 2). Tämä ei riitä kattamaan koko vuoden sähkön- tai lämmöntarvetta. Lämmöntarpeen tulisi olla yli 1000 MWh vuodessa, jotta koko vuoden sähköntarve saataisiin katettua CHP-laitoksella.

CHP-laitos vaatii investointeja vesikiertoisiin lämmittimiin putkistoihin ja pumppuineen. Laitoksen polttoaineena käytetään haketta. Myös vuosihuoltokustannukset on huomioitava, sillä viiden vuoden välein on tehtävä kuluviin osien uusinta ja laitoksen käytöstä tulee myös muita kuluja. (2.)

### 3.7 Aurinkosähkö

Aurinkosähkön tuottamisessa hyödynnetään auringon säteilyenergiaa. Auringonsäteily koostuu fotoneista ja osuessaan aurinkokennoihin fotonit luovuttavat energiansa kennojen elektroneille. Kun elektronit ovat saaneet energiansa fotoneilta, muodostavat ne sähkövirran aurinkokennojen virtajohtimiin. (26.)

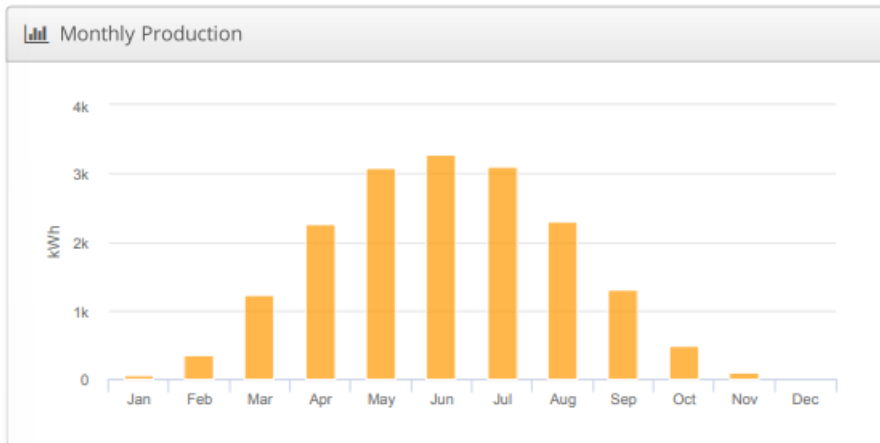
Aurinkosähköpaneelien mitoituksessa käytetään apuna HelioScope-ohjelmaa. Ohjelman avulla saadaan tarkasti mitoitettua vapaana olevalle kattopinta-alalle oikea määrä aurinkosähköpaneeleita. Lisäksi ohjelma antaa tarkat arvot esimerkiksi paneelien tuotolle ja kokonaissäteilylle vuodessa riippuen siitä mihin ilmansuuntaan ja missä kulmassa paneelit ovat. HelioScope-ohjelmalla voidaan valita haluttu aurinkopaneelimalli ja ottaa huomioon esimerkiksi katolla olevat poistoilmakanavat, jotka vaikuttavat mitoitukseen. Ohjelmaa käyttämällä saadaan realistinen mitoitus aurinkosähköjärjestelmälle.

Ohjelman avulla saadaan määritettyä, että vapaata kattopinta-alaa on noin 624,4 m<sup>2</sup>. Tälle alueelle olisi mahdollista asentaa 59 kappaletta 410 W:n aurinkosähköpaneeleita. Paneelikenttien yhteenlaskettu pinta-ala on noin 115 m<sup>2</sup>. Aurinkosähköpaneelin malliksi valitaan CSUN 410-108M (410 W), sillä tällä hetkellä markkinoilla käytetään yli 400 W:n tehoisia paneeleita. Paneelit ovat yksikdepaneeleita. Aurinkovoimalan nimellisteho on 24,2 kWp. Paneelit tuottavat 10 vuotta vähintään 90 % ja 25 vuotta vähintään 80 % nimellistehostaan. Liitteessä 1 on aurinkovoimalatoimittajan antama tarjous yksityiskohtineen.

Paneelien sijoittelussa on huomioitu, että paneeleita ei kannata asentaa katolle, jossa paneelit osoittavat pohjoiseen. Tällöin saadaan vain vähän vuosituottoa. On myös huomioitu, että jos katolle mahtuisi vain yksi rivi paneeleita, niitä ei mallinneta, koska tuulikuormat olisivat liian isot.

Ohjelman mukaan kokonaissäteilyä on vuodessa 808,3 kWh/m<sup>2</sup>. Keskimääräinen vuosituotto on noin 20,56 MWh. Aurinkosähköjärjestelmän tuottoon vaikuttavat myös muun muassa sääolosuhteet, mahdolliset varjostukset, lämpötila ja invertterin hyötysuhde (27).

Kohteessa vuotuinen sähköntarve on noin 500 MWh eli aurinkosähköjärjestelmällä ei voida kattaa koko laitoksen sähköntarvetta. Esimerkiksi kesäkuussa sähköntarve laitoksella on noin 52 000 kWh, ja aurinkosähköjärjestelmällä voidaan tuottaa kesäkuussa vain hieman yli 3000 kWh (kuva 13). Loput ajasta lämmitys tapahtuu suoralla sähköllä, kuten talvellakin. Huomataan, että aurinkosähköjärjestelmällä saadaan parhaiten tuottoa maaliskuusta syyskuuhun. Huippuaikana voidaan saada lisähyötyä sähkönmyynnistä, koska aurinkosähköjärjestelmä voi tuottaa myös joinakin hetkinä yli tarpeen. Tämä ratkaisu voisi sopia esimerkiksi jonkun lämpöpumpun rinnalle. (2.)



KUVA 13. Aurinkosähköjärjestelmän kuukausittainen tuotto (28)

### 3.8 Aurinkolämpö

Auringonsäteilyä voidaan muuntaa lämpöenergiaksi aurinkokeräimien avulla. Aurinkolämpö varastoidaan yleensä käyttövesivaraajaan, mutta myös esimerkiksi lämpökaivoihin ja hybridijärjestelmien isompaan vesivaraajaan. (29.) Aurinkolämpöjärjestelmät koostuvat yleensä lämpövarastosta sekä lämmön keruulaitteistosta että siirtoputkistosta (30).

Kohteessa on lämmöntarve noin 300 000 kWh vuodessa. Kohteessa on tilavuudeltaan 500 litran vedenlämmitin. Tämän laitoksen tapauksessa aurinkolämpöä hyödynnetään vain käyttöveden lämmityksessä. Mitoituksen lähtökohtana pidetään 2,5 m<sup>2</sup> keräyspinta-alaa henkilöä kohden. Jos mitoitus tehdään neljälle henkilölle, on aurinkokeräinten kokonaispinta-ala silloin 10 m<sup>2</sup>. Koska tarkkoja lämmönkulutustietoja ei ole saatavilla, tehdään energiantuoton laskenta yksinkertaistettuna kaavalla 3. (31.)

$$Q_{aurinko} = k * q_{aurinkokeräin} * A_{aurinkokeräin} \quad \text{KAAVA 3}$$

jossa

$q_{aurinkokeräin}$  = aurinkokeräimen energiantuotto käyttöveden keräinpinta-alaa kohti (kWh/m<sup>2</sup>, a)

$A_{aurinkokeräin}$  = aurinkokeräinten kokonaispinta-ala (m<sup>2</sup>)

k = keräinten suuntauksen huomioon ottava kerroin

Aurinkokeräimen energiantuoton arvot saadaan taulukosta 1. Koska vedenkäsittelylaitos sijaitsee vyöhykkeellä III, käytetään  $q_{\text{aurinkokeräin}}$  arvona lukua 125 kWh/m<sup>2</sup>. (31.)

TAULUKKO 1. Keräinten tuottama aurinkolämpö keräinten pinta-alaa kohti (31.)

Vyöhyke/paikkakunta	$q_{\text{aurinkokeräin}}$ kWh/m <sup>2</sup> ,a
I / Helsinki	156
II / Jyväskylä	139
III/Sodankylä	125

Taulukon 2 lukuarvoilla saadaan keräinten suuntauksen huomioon ottava kerroin k. Käytetään k:n lukuarvona lukua 1, kun keräimet osoittavat kohti etelää. (31.)

TAULUKKO 2. Keräinten suuntauksen huomioon ottava kerroin k (31.)

Suuntaus	k
etelä/kaakko/lounas	1
itä/länsi	0,8
pohjoinen/koillinen/luode	0,6

Kaavalla 3 laskettuna saadaan aurinkokeräimien tuottamaksi lämpöenergian määräksi 1250 kWh vuodessa. Tämä on hyvin epätarkka laskentatuloks ja vain suuntaa antava, koska tarkan mitoituksen tekemiseksi täytyisi tietää tarkat lämmönkulutustiedot. Jos laskenta voitaisiin suorittaa tarkemmalla menetelmällä, aurinkolämmön tuotto voisi olla suurempaa. (31.)

Otetaan huomioon myös aurinkolämpöjärjestelmän pumppujen sähköenergiankulutus. Pumppujen sähköenergiankulutus voidaan laskea kaavalla 4. (31.)

$$W_{\text{aurinko,pumput}} = P_{\text{pumppu},i} * t_{\text{pumppu},i} \quad \text{KAAVA 4}$$

jossa

$P_{\text{pumppu},i}$  = yksittäisen pumpun i teho (kW)

$t_{\text{pumppu},i}$  = pumpun i käyttöaika (h)

Koska suunnitteluarvoista ei ole yksityiskohtaista tietoa, lasketaan pumpun teho kaavalla 5 (31).

$$P_{pumppu,i} = (50 + 5 * A_{aurinkokeräin})/1000 \quad \text{KAAVA 5}$$

jossa

$A_{aurinkokeräin}$  = kiertopiiriin kytkettyjen keräimien pinta-ala (m<sup>2</sup>)

Kun aurinkokeräinten pinta-ala on 10 m<sup>2</sup>, saadaan pumpun tehoksi 0,1 kW. Käytetään pumpun käyttöaikana arvoa 2000 h vuodessa, koska tarkempaa tietoa ei ole käytettävissä. Näin kaavalla 4 laskettuna saadaan aurinkolämpöjärjestelmän pumppujen sähkönkulutukseksi 200 kWh vuodessa. Yhteensä lämpöä saadaan siis aurinkolämpöjärjestelmällä tuotettua noin 1050 kWh vuodessa. (31.)

Keväästä syksyyn aurinkoenergiaa saadaan keskimäärin 50 prosentin hyötysuhteella 2–3 kWh/m<sup>2</sup>. Jos lämmöntarve on vuorokaudessa 822 kWh, tarvittaisiin 274 m<sup>2</sup> keräinalaa. (32.)

## 4 KUSTANNUKSET

Kohteeseen valittavan toimenpiteen valintaan vaikuttaa merkittävästi kustannukset ja kannattavuus. Kustannuksia vertailemalla nähdään mikä olisi tuottavin tapa ja olisiko esimerkiksi kahden eri toimenpiteen yhdistäminen paras ratkaisu. Jos toimenpide on kallis ja takaisinmaksuaika on pitkä, ei toimenpide ole silloin kannattava. On kuitenkin huomioitava, että tarkastelu pitäisi tehdä koko elinkaarelle tällöin saataisiin mahdollisimman realistinen kuva kannattavuudesta ja kustannuksista.

Kustannuslaskelmissa on käytetty arvonlisäverona 0 %, sähköenergian hintana 0,10 €/kWh sisältäen verot ja siirrot. Asentajan hinta on 55 €/h. (2.)

### 4.1 Putkistojen eristyksen kustannukset

Putkistojen eristyksellä saadaan 46,4 MWh energiaa säästöön vuodessa. Sähkön hinnalla 0,10 €/kWh vuotuista nettotuottoa saadaan 4600 €. Eristettäviä putkia olisi 100 m ja eristys maksaa 20 €/m eli kustannuksia tulee 2000 €. Eristyksen asentamiseen on arvioitu menevän viisi päivää ja siihen tarvitaan kaksi työntekijää eli yhteensä 4000 € kuluja. Yleiskuluja tulee 1000 €. Yhteensä kustannuksia putkistojen eristämisestä tulee siis 7000 €. (2.)

Takaisinmaksuaika lasketaan yksinkertaistettuna kaavalla 6. On huomioitava, että tämä menetelmä ei kuitenkaan ota huomioon korkoa, joka osoittaisi investoinnin tuoton. (33.)

$$Takaisinmaksuaika = \frac{\text{Hankintakustannus}}{\text{Vuotuinen nettotuotto}} \quad \text{KAAVA 6}$$

Kaavalla 6 laskettuna putkistojen eristämisen takaisinmaksuajaksi saadaan 1,5 vuotta.



#### 4.2 Regeneroinnin jäteilmasta saatavan lämmön kustannukset

Tästä toimenpiteestä saadaan säästöä vuodessa 12,6 MWh eli 1260 € vuodessa. Toimenpiteen investointi on noin 20 000 €. Takaisinmaksuajaksi saadaan 15 vuotta eli sen kannattavuus on heikko, joten tätä toimenpidettä ei tutkita enempää (kaava 6). (2.)

#### 4.3 Ilmanvaihdon lämmöntalteenoton kustannukset

Ilmanvaihdosta saadaan hyötyä laitokselle 34 MWh vuodessa eli 3400 €. Kun asennetaan ilmalämpöpumppu 7,4 kW:n höyrystinteholla, on sen kokonaiskustannus 20 000 €. Lisäksi vesikatolle täytyy tehdä jäteilmoja varten kammio, josta lämpöpumpulla otetaan lämpö talteen. Tästä tulee yleiskuluja 2000 €. Yhteensä kustannuksia ilmalämpöpumpusta tulee 22 000 €. Takaisinmaksuajaksi saadaan 6,5 vuotta (kaava 6). (2.)

Parannusehdotuksissa oli huomioitu myös ilma-vesilämpöpumppu, mutta se on kalliimpi investointi kuin ilmalämpöpumppu, joten sitä ei tutkita tarkemmin (2).

#### 4.4 Prosessivedestä lämpöpumpulla saatavan lämmön kustannukset

Prosessivedestä saadaan lämpöä vesi-vesilämpöpumpulla 193 MWh eli säästöä tulee 19 300 € vuodessa. Taulukossa 3 on erittelyä kustannuksista, joita tässä toimenpiteessä tulisi. (2.)

TAULUKKO 3. Erittelyä lämpöpumpun avulla prosessivedestä saatavan lämmön kustannuksista

Toimenpide	Hinta
Prosessivesipiirissä eristävä lämmönsiirrin pumppuineen	4000 €
Kiertovesipumput 2 kpl á 1400 €	2800 €
Kiertoilmalämmittimet 5 kpl á 2000 €	10 000 €

Lämpöjohtoputkisto arviolta 100 m ja varusteet	12 000 €
Lämpöpumppu 60 kW	40 000 €
Sähköistystyöt	3000 €
Sähköistystarvikkeet	3000 €
Työkustannukset 2 henkilöä 2 kuukautta	33 000 €
Yleiskuluja	5000 €
<b>Yhteensä</b>	<b>112 800 €</b>

Takaisinmaksuajaksi saadaan 5,8 vuotta, kun hankintakustannuksia tulee yhteensä 112 800 € ja vuotuista nettotuottoa 19 300 € (kaava 6).

#### 4.5 Regeneroinnin ilman jäähdytyskuivauksen kustannukset

Kesäaikana voidaan lämpöpumpun avulla kuivata ja syöttää lämpöpumpun kehittämä lämpö takaisin tuloilmavirtaan ja regeneroinnin ilmanottoon/huonetilaan. Tämä säästää energiakustannuksissa 36 MWh eli 3600 € vuodessa. Taulukossa 4 on erittelyä kustannuksista tämän toimenpiteen tapauksessa. (2.)

TAULUKKO 4. Kustannusten erittelyä regeneroinnin ilman jäähdytyskuivaukseen kesäaikana

Toimenpide	Hinta
Ilma-ilmalämpöpumppu 6 kW kylmäteho	7000 €
Työt ja varusteet, 40 h työ, 2000 € varusteet	4000 €
Siirtoilmakanava regenerointiin, työ ja varusteet	5000 €
Yleiskuluja	800 €
<b>Yhteensä</b>	<b>16 800 €</b>

Takaisinmaksuajaksi saadaan 4,6 vuotta, kun investointeja on yhteensä 16 800 € ja vuotuista nettotuottoa 3600 € (kaava 6).

#### 4.6 CHP-laitoksen kustannukset

CHP-laitoksella saadaan tuotettua sekä lämpöä että sähköä. Kokonaissästöä vuodessa saadaan 300 MWh eli 30 000 €. On kuitenkin huomioitava myös CHP-laitoksen polttoainekulut eli haketta kuluu noin 180 m<sup>3</sup>. Hakkeen hintana käytetään 50 €/m<sup>3</sup> eli polttoainekuluja tulee yhteensä 9000 €. Hyötyä laitokselle saadaan siis yhteensä 21 000 € vuodessa. Taulukossa 5 on eritelty CHP-laitteesta koituvia kustannuksia. (2.)

TAULUKKO 5. CHP-laitteen kustannusten erittelyä

Toimenpide	Hinta
CHP-laite	200 000 €
Lämpökontin perustus + muut kulut	10 000 € (arvio)
Kiertovesipumppu	1400 €
Kiertoilmalämmittimet 5 kpl á 2000 €	10 000 €
Ilmastoinnin esilämmityspatteri	2000 €
Lämpöjohtoputkisto ja varusteet	10 000 €
Sähköistys	5000 €
Työkustannukset 2 henkilöä 2 kuukautta	30 000 €
Työhön liittyviä aputoita ym.	3000 €
Yleiskuluja	10 000 €
<b>Yhteensä</b>	<b>281 400 €</b>

Takaisinmaksuajaksi saadaan 13,4 vuotta, kun investointeja on yhteensä 281 400 € ja vuotuista nettotuottoa 21 000 € (kaava 6).

#### 4.7 Aurinkosähkön kustannukset

Aurinkosähköstä saadaan säästettyä sähkönkulutuksessa laitoksella 20,56 MWh eli 2056 € vuodessa. Huippuaikana voidaan saada lisähyötyä sähkönmyynnistä hinnalla 5 snt/kWh. Paneelien sähkönkulutus on niin pientä, että sitä ei oteta huomioon. (Liite 1.)

Aurinkovoimalatoimittajalta saadun tarjouksen mukaan 24,2 kWp:n aurinkovoimalan kokonaishinnaksi tulisi noin 22 388,74 €, kun käytetään yksikköhintaa 0,926 €/Wp. Kokonaishintaan sisältyy muun muassa suunnittelu, kaikki laitteet asennettuna ja tarkastettuna sekä ilmoitukset jakeluverkoyhtiöön. Hankkeeseen on mahdollista saada Työ- ja elinkeinoministeriön myöntämää energiaturkea, joka on 20 % myyntihinnasta. Tuettu hinta on 17 910,99 €. Kun keskimääräinen vuosituotto on 2056 € ja investointeja tulee 17 910,99 €, niin takaisinmaksuaika on 8,71 vuotta (kaava 6). (Liite 1.)

#### **4.8 Aurinkolämmön kustannukset**

Aurinkolämpöpaneeleista saadaan säästöä 1050 kWh eli 105 € vuodessa. Käytetään laitteiston investointikuluna 750 €/keräineliö (34). Koska keräineliöitä on 10 m<sup>2</sup>, ovat investointikulut 7500 €. Takaisinmaksuajaksi saadaan 71,4 vuotta (kaava 6). Jo tässä vaiheessa voidaan todeta, että aurinkolämpöjärjestelmä ei ole kannattava vaihtoehto. On kuitenkin huomioitava, että aurinkolämpöä käytettäisiin laitoksella vain käyttöveden lämmittämiseen. Lämmitystarvetta on myös esimerkiksi prosessi- sekä aputiloissa.

#### **4.9 Yhteenveto kustannuksista**

Kustannuslaskelmien perusteella voidaan todeta, että yksi kannattavimmista toimenpiteistä on ottaa lämpöä prosessivedestä lämpöpumpulla. Säästöä saadaan nykyisestä sähkönkulutuksesta noin 38 % ja rahallisestikin saadaan huomattava määrä säästöä verrattuna muihin parannusratkaisuihin. Muita mahdollisesti hyviä ratkaisuja voisivat olla esimerkiksi regeneroinnin ilman jäähdytys ja kuivaus kesäaikana sekä aurinkosähkö, joka voisi toimia jonkun toisen toimenpiteen rinnalla.

Samalla huomataan, että aurinkolämpöjärjestelmällä saadaan vähiten säästöä vuodessa ja takaisinmaksuaika on pisin. Tästä syystä se voidaan jättää huomiotta parhaimman ratkaisun löytämiseksi. Myöskään kuivaimen regeneroinnin jäteilman lämmöntalteenotto ei ole kannattava investointi. Taulukossa 6 on esitetty yhteenveto kustannuksista.

TAULUKKO 6. Yhteenvedo kustannuksista

TOIMENPIDE	Investointi (€)	Vuosisäästö (MWh)	säästö nyk. sähkönkulutuksesta (%)	Takaisinmaksuaika (a)	Säästö vuodessa (€)
Putkistojen eristys	7000	46,4	9,28	1,5	4640
Kuivaimen regeneroinnin jätelmän lämmöntalteenotto	20 000	12,6	2,52	15	1260
Ilmastoinnin lämmöntalteenotto (ilmalämpöpumppu)	22 000	34	6,8	6,5	3400
Prosessivedestä lämpöä lämpöpumpulla	112 800	193	38,6	5,8	19 300
Regeneroinnin ilman kuivaus ja jäähdytys kesäaikana	16 800	36	7,2	4,6	3600
CHP-laitos	281 400	129 (sähkö) 300 (lämpö)	25,8 100 (lämmönkulutuksesta)	13,4	21 000
Aurinkosähkö	17 911	20,56	4,1	8,71	2056,15
Aurinkolämpö	7 500	0,1	0,03	71,4	105

## 5 HERKKYYSANALYYSI

Herkkyysanalyysissä yhtä tai useampaa alkuarvoa muutetaan ja tarkastellaan, kuinka investoinnin kannattavuus muuttuu. Tämän menetelmän avulla voidaan löytää arviointivirheet, joiden avulla voidaan arvioida investoinnin kannattavuutta uudelleen. (33.) Tarkastellaan herkkyyssanalyysin avulla kuinka paljon aurinkosähkön takaisinmaksuaika muuttuu, kun sähkön hintaa muutetaan. Kustannukset-luvussa takaisinmaksuajan laskennassa on käytetty sähkön hintana 0,10 €/kWh ja takaisinmaksuajaksi saadaan 8,71 vuotta. Tulokset ovat nähtävissä taulukossa 7.

TAULUKKO 7. Herkkyyssanalyysi aurinkosähköjärjestelmän kannattavuudesta

Vuosituotantoarvio (kWh)	Sähkön hinta (€/kWh)	Vuosituotto (€)	Investointi (€)	Takaisinmaksuaika (a)
20 560	0,05	1028	17 910	17,42
20 560	0,06	1233,6	17 910	14,52
20 560	0,07	1439,2	17 910	12,44
20 560	0,08	1644,8	17 910	10,89
20 560	0,09	1850,4	17 910	9,68
20 560	0,1	2056	17 910	8,71
20 560	0,11	2261,6	17 910	7,92
20 560	0,12	2467,2	17 910	7,26
20 560	0,13	2672,8	17 910	6,70
20 560	0,14	2878,4	17 910	6,22
20 560	0,15	3084	17 910	5,81
20 560	0,16	3289,6	17 910	5,44
20 560	0,17	3495,2	17 910	5,12
20 560	0,18	3700,8	17 910	4,84
20 560	0,19	3906,4	17 910	4,58
20 560	0,2	4112	17 910	4,36
20 560	0,21	4317,6	17 910	4,15
20 560	0,22	4523,2	17 910	3,96
20 560	0,23	4728,8	17 910	3,79
20 560	0,24	4934,4	17 910	3,63
20 560	0,25	5140	17 910	3,48
20 560	0,26	5345,6	17 910	3,35
20 560	0,27	5551,2	17 910	3,23
20 560	0,28	5756,8	17 910	3,11
20 560	0,29	5962,4	17 910	3,00
20 560	0,3	6168	17 910	2,90

Huomataan, että sähkön hinnan ollessa alhainen myös takaisinmaksuaika on suurimmillaan. Kun sähkön hinta on korkeimmillaan, takaisinmaksuaika on lyhin. Tämä johtuu siitä, että sähkön hinnan ollessa todella ylhäällä, on silloin kannattavampaa tuottaa sähköä itse ja näin takaisinmaksuaika

lyhenee. Kun sähkön hinta on alhainen, sähköä voidaan ostaa ja sen tuottaminen itse on kalliimpaa, mikä johtaa takaisinmaksuajan pidentymiseen. Mitä kalliimpaa sähkö on, sitä enemmän laitos hyötyy oman aurinkosähköjärjestelmän tuotosta ja investointi kannattaa.

## 6 LOPPUTULOKSET

Kun tarkastellaan parannusratkaisujen kustannuksia ja vertaillaan esimerkiksi eri vaihtoehtojen takaisinmaksuaikoja, huomataan, että putkistojen eristyksen takaisinmaksuaika on lyhin eli vain 1,5 vuotta. Putkistojen eristyksessä on kuitenkin riskinä kosteustason nouseminen, mikä taas voi lisätä sähkönkulutusta entisestään. Siitä syystä putkistojen eristykseen investoiminen ei ole välttämättä järkevä ratkaisu. Pisin takaisinmaksuaika on aurinkolämpöjärjestelmällä eli noin 71 vuotta. Voidaan todeta, että aurinkolämpöjärjestelmä ei ole kannattava investointi.

Todennäköisesti kannattavimmat investoinnit olisivat prosessivedestä lämpöä lämpöpumpulla sekä regeneroinnin ilman jäähdytyskuivaus kesäaikana. Regeneroinnin ilman jäähdytyskuivauksen takaisinmaksuaika olisi 4,6 vuotta ja sillä saataisiin säästöön vuodessa 3600 €. Vaikka prosessivedestä lämpöä lämpöpumpulla vaatii enemmän investointeja, sen takaisinmaksuaika on vain 5,8 vuotta. Tällä toimenpiteellä saataisiin 19 300 € säästöjä vuodessa. Pelkästään prosessivedestä lämpöä lämpöpumpulla säästäisi nykyisestä sähkönkulutuksesta 38,6 %.

Aurinkosähköjärjestelmä voisi olla myös hyvä vaihtoehto energiaomavaraisuutta lisäämään jonkun toisen toimenpiteen rinnalle. Takaisinmaksuaika olisi noin 8,7 vuotta ja säästöä saataisiin noin 2056 € vuodessa. Tässä toimenpiteessä positiivista olisi se, että huippuhetkinä sähkönmyynnistä voisi saada lisätuottoa. Jos yhdistettäisiin kaksi toimenpidettä, kuten esimerkiksi prosessivedestä lämpöä lämpöpumpulla sekä aurinkosähköjärjestelmä, saataisiin sähkönkulutuksessa säästettyä yli 200 MWh vuodessa. Tämä tarkoittaisi myös suurempia investointeja ja pidempää takaisinmaksuaikaa, mutta myös yli 20 000 € vuosisäästöjä sähkölaskussa.

Kun vertaillaan eri toimenpiteistä saatavia säästöjä, voidaan todeta, että useista eri ratkaisuista saadaan lopulta melko vähän säästöä sähkönkulutuksessa. Arviolta yhden omakotitalon sähkönkulutuksen verran vuodessa. Kaikkien energiansäästötoimenpiteiden kohdalla tulee kuitenkin tehdä vielä tarkempi tekninen esisuunnittelu, laitemitoitukset, laitesijoitusten suunnittelu sekä tarkempi laitevalintaan pohjautuva kustannusarvion laadinta ennen lopullisen päätöksen tekemistä.



## 7 YHTEENVETO

Työn tavoitteena oli kartoittaa erilaisia energiansäästöratkaisuja vedenkäsittelylaitoksen energiankulutuksen vähentämiseksi. Erilaisten parannusratkaisujen esittäminen sekä niiden kannattavuuden arvioiminen olivat osa työtä. Aurinkosähköjärjestelmän takaisinmaksuajasta tehtiin myös herkkyystarkastelu. Työssä lasketut säästöt sähkönkulutuksessa ja kannattavuudessa ovat kuitenkin vain arvioita, eikä tuloksia voida pitää tarkkoina. Kaikki työssä esitetyt luvut ovat suuntaa antavia, sillä tarkkoja kulutustietoja ei ollut saatavilla.

Energiansäästötoimenpiteitä vertailtaessa tultiin tulokseen, että kannattavimmat vaihtoehdot olisivat prosessivedestä lämpöä vesi-vesilämpöpumpun avulla sekä regeneroinnin ilman jäähdytyskuivaus kesäaikana. Näillä toimenpiteillä saadaan eniten säästöä sähkönkulutuksessa sekä takaisinmaksuaika pysyy kohtuullisena. Energiankulutuksen vähentämiseksi voisi olla järkevää ottaa vielä aurinkosähköjärjestelmä mukaan toiseksi säästötoimenpiteeksi.

Jos tarkat kulutustiedot olisivat olleet tiedossa, olisi ollut syytä tehdä pysyvyyskäyrä ja sen mukaan mitoitaa tarkasti energiansäästötoimenpiteet. Nyt tulokset jäivät epätarkaksi. Vedenkäsittelylaitokselle saatiin kuitenkin kartoitettua useita erilaisia parannusratkaisuja energian säästämiseksi. Ennen varsinaista energiansäästötoimenpiteen valintaa tulee tehdä vielä tarkempi esisuunnittelu.

## LÄHTEET

1. Motiva 2022. Energiatehokas veden tuotanto. Hakupäivä 31.2.2023. [https://www.motiva.fi/julkinen\\_sektori/vesihuoltolaitos/veden\\_tuotanto\\_ja\\_jakelu/veden\\_tuotanto](https://www.motiva.fi/julkinen_sektori/vesihuoltolaitos/veden_tuotanto_ja_jakelu/veden_tuotanto)
2. Oy Kalottkonsult Ab 2023. Energiaselvitys. Sisäinen lähde.
3. Oy Kalottkonsult Ab 2023. Yritys. Hakupäivä 31.3.2023. <https://kalottkonsult.fi/>
4. Terveyden ja hyvinvoinnin laitos 2022. Talousvesi. Hakupäivä 30.1.2023. <https://thl.fi/fi/web/ymparistoverveys/vesi/talousvesi>
5. Suomen ympäristökeskus 2019. Miten vesijohtovettä tehdään? Hakupäivä 30.1.2023. <https://www.vesi.fi/vesitieto/miten-vesijohtovetta-tehdaan/>
6. Maa- ja metsätalousministeriö. Pohjavedet. Hakupäivä 30.1.2023. <https://mmm.fi/vesi/pohjavedet>
7. Suomen ympäristökeskus 2019. Pohjavesi ja tekopohjavesi. Hakupäivä 17.2.2023. <https://www.vesi.fi/vesitieto/pohjavesi-ja-tekopohjavesi/>
8. Oy Kalottkonsult Ab 2023. Kooste kohteen lähtötiedoista. Sisäinen lähde.
9. Oy Kalottkonsult Ab 2023. Ilmankuivaajan säätökaavio. Sisäinen lähde.
10. Lämsä, Tuomo 2023. LVI-insinööri. Oy Kalottkonsult Ab. Keskustelu. 2.2.2023.
11. Oy Kalottkonsult Ab 2023. LVI-laiteluettelo. Sisäinen lähde.
12. Oy Kalottkonsult Ab 2023. Valaisimet ja lämmittimet. Sisäinen lähde.
13. Oy Kalottkonsult Ab 2023. Kooste sähkönkulutuksesta. Sisäinen lähde.
14. Sisäilmayhdistys ry. Materiaalien ominaisuudet. Hakupäivä 13.2.2023. <https://www.sisailmayhdistys.fi/Terveelliset-tilat/Kosteusvauriot/Kosteustekninen-toiminta/Materiaalien-ominaisuudet>
15. Atlas Copco Oy. Improve compressed air quality with an absorption dryer. Hakupäivä 13.2.2023. <https://www.atlascopco.com/fi-fi/compressors/wiki/compressed-air-articles/absorption-adsorption>
16. Munters. Ilmankuivaus. Hakupäivä 13.2.2023. <https://www.munters.com/fi/solutions/dehumidification/>
17. Paroc Oy Ab 2019. Eristä putket oikein. Pdf-tiedosto. Hakupäivä 27.2.2023. <file:///C:/Users/Asennus/Downloads/Erista-putket-oikein-2019-FI.pdf>
18. Onninen Oy 2023. Lämmönsiirtoneste Onnline etyleeni glykoli 28 kg raaka. Hakupäivä 28.2.2023. <https://www.onninen.fi/onnline-lammonsiirtoneste-onnline-etyleeni-glykoli-28-kg-raaka/p/CGG850>

19. ECo Ideal. Ilmanvaihto vs. ilmastointi. Hakupäivä 24.3.2023. <https://ecoideal.fi/ilmanvaihto-vs-ilmastointi/>
20. Talotekniikkainfo. Poistoilman lämmöntalteenotto lämpöpumppujärjestelmällä. Hakupäivä 2.3.2023. <https://talotekniikkainfo.fi/ratkaisut-etusivu/poistoilman-lammontalteenotto-lampopumppujarjestelmalla>
21. Motiva Oy 2022. Ilmalämpöpumppu (ILP). Hakupäivä 2.3.2023. [https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva\\_energia/lampopumput/lampopumpputeknologiat/ilmalampopumppu](https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/lampopumput/lampopumpputeknologiat/ilmalampopumppu)
22. Motiva Oy 2022. Ilma-vesilämpöpumppu (IVLP). Hakupäivä 2.3.2023. [https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva\\_energia/lampopumput/lampopumpputeknologiat/ilma-vesilampopumppu](https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/lampopumput/lampopumpputeknologiat/ilma-vesilampopumppu)
23. Caverion Corporation 2023. Lämmön ja sähkön yhteistuotantolaitos (CHP). Hakupäivä 3.3.2023. <https://www.caverion.fi/smart-city/yhdistetty-lampo-ja-voimalaitos/>
24. Ylikunnari, Jukka 2023. Lehtori, energia- ja ympäristötekniikka. Oulun ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyön palaveri 27.2.2023.
25. Energiatohokkuussopimukset 2017–2025. Säästöjen tarkastelu ja säästövaikutusten laskenta – Energiantuotannon erityispiirteitä ja ohjeita. Pdf-tiedosto. Hakupäivä 27.3.2023. <http://www.energiatohokkuussopimukset2017-2025.fi/wp-content/uploads/S%C3%A4%C3%A4st%C3%B6jen-tarkastelu-ja-s%C3%A4%C3%A4st%C3%B6vaikutusten-laskenta-Energiantuotannon-erityispiirteit%C3%A4-ja-ohjeita.pdf>
26. Motiva Oy 2022. Auringosta sähköä. Hakupäivä 28.2.2023. [https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva\\_energia/aurinkosahko/aurinkosahkon\\_perusteet/auringosta\\_sahkoa](https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/aurinkosahkon_perusteet/auringosta_sahkoa)
27. Motiva Oy 2022. Aurinkosähköjärjestelmän teho. Hakupäivä 29.3.2023. [https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva\\_energia/aurinkosahko/jarjestelman\\_valinta/aurinkosahkojarjestelman\\_teho](https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/jarjestelman_valinta/aurinkosahkojarjestelman_teho)
28. HelioScope 2023. Kuvakaappaus. Hakupäivä 11.4.2023.
29. Motiva Oy 2020. Aurinkolämmön passiivinen hyödyntäminen. Hakupäivä 28.2.2023. [https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva\\_energia/aurinkolampo/aurinkolammon\\_passiivinen\\_hyodyntaminen](https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkolampo/aurinkolammon_passiivinen_hyodyntaminen)
30. Motiva Oy 2020. Aurinkolämpöjärjestelmät. Hakupäivä 30.3.2023. [https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva\\_energia/aurinkolampo/aurinkolampojarjestelmat](https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkolampo/aurinkolampojarjestelmat)
31. Ympäristöministeriö 2011. Aurinko-opas 2012. Pdf-tiedosto. Hakupäivä 19.4.2023. [https://ym.fi/documents/1410903/38439968/Aurinko-Laskentaopas-2012\\_ver23082011-F4F73E83\\_56AF\\_4112\\_AD7B\\_0E1F1804D38B-30750.pdf/c6be6102-7bf6-17ae-17b0-](https://ym.fi/documents/1410903/38439968/Aurinko-Laskentaopas-2012_ver23082011-F4F73E83_56AF_4112_AD7B_0E1F1804D38B-30750.pdf/c6be6102-7bf6-17ae-17b0-)

[d54c2cd99d83/Aurinko-Laskentaopas-2012\\_ver23082011-F4F73E83\\_56AF\\_4112\\_AD7B\\_0E1F1804D38B-30750.pdf?t=1603260207096](https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkolampo/hankinta_ja_asennus/aurinkolampojarjestelman_mitoitus)

32. Motiva Oy 2020. Aurinkolämpöjärjestelmän mitoitus. Hakupäivä 30.3.2023. [https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva\\_energia/aurinkolampo/hankinta\\_ja\\_asennus/aurinkolampojarjestelman\\_mitoitus](https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkolampo/hankinta_ja_asennus/aurinkolampojarjestelman_mitoitus)
33. BusinessOulu. Investoinnin kannattavuus. Hakupäivä 16.3.2023. <https://www.yritystulkki.fi/fi/alue/oulu/aloittava-yrittaja/suunnittelu/taloussuunnitelmat/investoinninkannattavuus/>
34. Auvinen, Karoliina 2016. Aurinkolämpöjärjestelmien hintatasot ja kannattavuus. Hakupäivä 19.4.2023. <https://finsolar.net/kannattavuus/aurinkolampojarjestelmien-hintatasot-ja-kannattavuus-suomessa/>





