



Satakunnan ammattikorkeakoulu  
Satakunta University of Applied Sciences

MIKKO SANDELIN

# **JÄTEVEDENPUHDISTAMON ENER- GIA TEHOKKUUDEN KEHITTÄMI- NEN**

ENERGIA JA YMPÄRISTÖTEKNIIKAN TUTKINTO-OH-  
JELMA  
2021

Tekijä Sandelin, Mikko	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Päivämäärä marraskuu 2021
	Sivumäärä 42	Julkaisun kieli Suomi
Jätevedenpuhdistamon energiatehokkuuden kehittäminen		
Tutkinto-ohjelma Energia- ja ympäristötekniikka		
<p>Tämä opinnäytetyö on toteutettu osana Kankaanpään kaupungin ilmastohanketta, jonka tavoitteena on parantaa kaupungin vesilaitoksen energiatehokkuutta. Opinnäytetyössä tarkastellaan kaupungin keskusjätevedenpuhdistamon laitekantaa ja pyritään löytämään kehityskohteita jätevedenpuhdistamon energiatehokkuuden parantamiseksi. Kehityskohteita etsittiin mittaamalla laitteiden käyttämä energia sekä käytiin läpi laitteiden tyyppitietoja, joiden perusteella laskettiin laitteen käyttämä teho. Tehoa verrattiin laitteen käyntiaikaan, jonka perusteella saatiin selville kokonaiskulutuksen jakautuminen eri prosessien välillä.</p> <p>Kokonaiskulutuksen jakautumisen perusteella tarkempia tutkimuksia kohdistettiin vesimassan hapettamiseen/ilmaamiseen (ilmastukseen), joka on jätevedenpuhdistamon suurin sähköenergiaa kuluttava osaprosessi. Tulosten perusteella saatiin tietoa prosessin nykytilasta sekä laitteiden, erityisesti kompressoreiden nykytilasta ja toiminnasta. Tulosten perusteella voitiin tehdä vertailua uusien kompressorien kannattavuutta sekä potentiaalia energiatehokkuuden parantamiseksi.</p> <p>Lisäksi jätevedenpuhdistamolle mitoitettiin aurinkosähköjärjestelmä. Mitoitus tehtiin siten, että järjestelmän tuotto vastaisi mahdollisimman hyvin jätevedenpuhdistamon sähkön tuntikulutusta, jotta mahdolliselta ylituotolta ja ylisuurelta investoinnilta vältyttäisiin.</p> <p>Työssä löydettiin paljon kehittämistä vaativia kohteita, joissa energiatehokkuutta voidaan parantaa erityisesti laitevalinnoin. Aurinkosähköjärjestelmän hankinta voitiin myös todeta jätevedenpuhdistamolle erittäin kannattavaksi keinoksi kehittää energiatehokkuutta sekä lisätä energiaomavaraisuutta.</p>		
<a href="#">Asiasanat</a> energiankulutus, energiantuotanto, energiatehokkuus		

Author(s) Sandelin, Mikko	Type of Publication Bachelor's thesis	Date Month Year
	Number of pages 42	Language of publication: Finnish
Title of publication Development of energy efficiency in wastewater treatment plant		
Degree program Energy- and environmental technology		
<p>This thesis has been implemented as part of the climate project of the city of Kankaanpää, the aim of which is to improve the energy efficiency of the city's water utility. The thesis examines the equipment base of the city's central wastewater treatment plant and seeks to find development targets for improving the energy efficiency of the wastewater treatment plant. Areas for development were sought by measuring the energy used by the devices and the type data of the devices were reviewed, based on which the power used by the devices was calculated. The power was compared to the running time of the device, based on which the distribution of the total consumption between the different processes was found out.</p> <p>Based on the distribution of total consumption, more detailed studies were focused on the oxidation / aeration (aeration) of the water mass, which is the largest energy-consuming sub-process of the wastewater treatment plant. Based on the results, information was obtained on the current state of the process and the current state and operation of the equipment, especially the compressors. Based on the results, a comparison could be made between the profitability of the new compressors and the potential for improving energy efficiency.</p> <p>In addition, a photovoltaic system was dimensioned for the wastewater treatment plant. The sizing was carried out in such a way that the return on the system would correspond as closely as possible to the hourly electricity consumption of the wastewater treatment plant, to avoid possible overproduction and over-investment.</p> <p>In the work, many sites requiring development were found in which energy efficiency can be improved, especially through equipment selection. The acquisition of a photovoltaic system could also be seen as a very profitable way for the wastewater treatment plant to develop energy efficiency and increase energy self-sufficiency.</p>		
<u>Key words</u> energy consumption, energy production, energy efficiency		

# SISÄLLYS

1 JOHDANTO .....	5
2 TYÖN TOIMEKSIANTAJA .....	6
3 ENERGIAA KULUTTAVIEN PROSESSIEN KARTOITUS.....	7
3.1 Tulopumppaamo .....	9
3.2 Välppäys.....	10
3.3 Esiselkeytys.....	12
3.4 Ilmastus .....	13
3.5 Jälkiselkeytys .....	14
3.6 Tiivistämöt .....	15
3.7 Poistopumppaamo .....	15
3.8 Muut .....	16
4 KARTOITUKSEN YHTEENVETO .....	17
5 PARANNELTAVA OSAPROSESSI .....	18
5.1 Koeajot ja kokeilut .....	20
5.2 Mahdolliset korjaustoimet ja laskelmia .....	27
5.2.1 Yksi kompressori, yksi linja .....	29
5.2.2 Kaksi kompressoria, kaksi linjaa .....	30
5.3 Yhteenveto .....	31
6 AURINKOSÄHKÖJÄRJESTELMÄ .....	31
6.1 Hyödyntäminen jätevedenpuhdistamolla .....	32
6.2 Mitoitus .....	33
6.3 Kannattavuus.....	36
6.3.1 Takaisinmaksuaika .....	38
6.3.2 Nykyarvo .....	39
6.4 Yhteenveto .....	41
7 YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET.....	41
LÄHTEET	
LIITTEET	

## 1 JOHDANTO

Tämä opinnäytetyö on osa Kankaanpään kaupungin ilmastohanketta, jonka pääteemoina ovat ilmastojohtaminen, energiatehokkuus ja kestävä liikkuminen. Kuntien energiatehokkuussopimuksessa on asetettu tavoitteita vähentää kokonaisenergiankäyttöä 4 % vuoden 2016 tasosta, 40000 MWh:sta vuoteen 2020 mennessä ja 7,5 % vuoteen 2025 mennessä. (Kankaanpään ilmasto-ohjelma 2017–2025 s. 16.)

Tässä opinnäytetyössä on tarkoitus kartoittaa Kankaanpään kaupungin vesihuoltolaitoksen keskusjätevedenpuhdistamon energiankulutuksen jakautuminen osaprosessien välillä sekä tunnistaa potentiaaliset kehityskohteet jätevedenpuhdistamon toiminnan ja osaprosessien kehittämiseksi.

Laitekanta on osittain hyvinkin vanhaa ja laitoksen ajotavat saattavat myöskin kaivata tarkastelua. Laitteiston ja prosessin ajo- ja käyttötapojen muutoksilla pyritään kehittämään jätevedenpuhdistamon toimintaa, vähentämään kokonaisenergiankulutusta sekä tunnistamaan laitteet ja prosessit, joiden uusimisella energiatehokkuutta voitaisiin parhaiten parantaa.

Jätevedenpuhdistamon energiaomavaraisuutta parannetaan mitoittamalla kulutukseen sopiva aurinkosähköjärjestelmä siten, ettei merkittävää ylituotantoa pääse syntymään. Aurinkosähköjärjestelmän avulla vähennetään myös ostoenergian tarvetta.

Opinnäytetyö toteutetaan seuraamalla jätevedenpuhdistamon päivittäisiä toimintoja, haastattelemalla jätevedenpuhdistamon ja vesilaitoksen henkilökuntaa, analysoimalla seurantajärjestelmästä saatavaa dataa sekä suorittamalla käytännön mittauksia, säätöjä ja koeajoja. Näillä toimilla pyritään saamaan kokonaiskuva laitoksen toiminnasta, energiatehokkuudesta sekä tuottamaan pohjatietoa myös mahdollisia tulevia hankintoja tai muutoksia varten.

## 2 TYÖN TOIMEKSIANTAJA

Opinnäytetyön toimeksiantaja on Pohjois-Satakunnassa sijaitseva Kankaanpään kaupunki, jonka tekniseen toimialaan kuuluvan vesihuoltolaitoksen tulosalueeseen opinnäytetyö tehdään. Kaupunki työllistää 387 kokoaikaista työntekijää ja 104 on määräaikaista. Näistä noin 31 henkeä toimii teknisen keskuksen alaisuudessa, joista vesihuoltolaitoksella 7 henkilöä.

Vesihuoltolaitoksen tehtävänä on talousveden hankinta ja jakelu, sekä jätevesien poistojohtaminen ja puhdistus. Vesihuoltolaitoksen tavoitteena on turvata laadukkaan talousveden häiriötön toimittaminen asiakkaille taloudellisesti ja ympäristöystävällisesti.

Jätevesiverkostoon on liitettyä noin 2500 taloutta ja jätevedenpuhdistamolla käsitellään vuosittain noin 1 miljoona m<sup>3</sup> jätevettä. (Kankaanpään kaupunki, talousarvio, 2021–2022 s. 58–60)

Kankaanpään jätevedenpuhdistamo on rakennettu vuonna 1973 ja siihen on tehty isommat saneeraukset vuosina 1986 ja 2009. (Hautamäki, 2020, s. 1)

Jätevedenpuhdistamolle johdetut jätevedet käsitellään biologis-kemiallisesti ja laitoksen toimintaa ja tehoa seurataan muun muassa ympäristöluvassa määriteltyjen raja-arvojen avulla, joiden täytyminen pitää ottaa huomioon tehtäessä suunnitelmia energiatehokkuuden parantamiseksi. Jätevedenpuhdistamon voimassa olevat raja-arvot on esitetty taulukossa 1. (Vaasan hallinto-oikeus, 2015, s. 2)

Taulukko 1. Jätevedenpuhdistamon raja-arvot.

	Enimmäispitoisuus mg/l	Vähimmäisteho %
BOD <sub>7</sub> at <sub>u</sub> , O <sub>2</sub>	10	95
COD <sub>Cr</sub> O <sub>2</sub>	60	90
Kiintoaine	15	95
Kokonaisfosfori	0,3	97
Kokonaistyyppi	-	70

Kankaanpään kaupungin sähkön kokonaiskulutus vuonna 2016 oli 3205 MWh ja jätevedenpuhdistamon sähköenergian kulutus oli vuonna 2020 720 MWh, joka vastaa 22

% koko kaupungin kuluttamasta sähköenergiasta verrattuna vuoden 2016 tasoon.  
(Kankaanpään ilmasto-ohjelma 2017–2025)

### 3 ENERGIAA KULUTTAVIEN PROSESSIEN KARTOITUS

Prosessien energiankulutusta kartoitettiin mittaamalla sähkömoottoreiden käyttämä jännite ja virta. Mittausten tuloksia ja laitteiden tyyppitietoja verrattiin valvontajärjestelmän dataan ja näiden avulla saatiin kartoitettua eri laitteiden ja prosessien osuutta kokonaisenergian kulutuksesta. Kaikkien osioiden laskennat on tehty noudattaen samaa kaavaa. Osa laitteista on taajuusmuuttajakäyttöisiä, osa laitteista on suoralla käytöllä ja niitä ohjataan esimerkiksi ajastin ohjauksella tai pinnankorkeuden mukaan. (Prosessikaavio liite1, kuvat 1 ja 2)

Liitteessä 1 on tarkemmin listattuina selitteet eri laitteiden nimityksille.

Jatkuvakäyttöisistä, esimerkiksi pinnankorkeussäädöllä olevista laitteista mitattiin laitteen ottama virta, jännite. Tehokerroin luettiin tyyppikilvestä tai arvioitiin tarvittaessa samankaltaisen laitteen tyyppitiedoista. Taajuusmuuttajakäyttöisten laitteiden virta ja jännitetiedot saatiin suoraan taajuusmuuttajasta, joten näitä ei erikseen mitattu. Sellaisten laitteiden, joiden käyntitaajuus muuttuu jonkin mitatun suureen perusteella, kartoituksessa on käytetty koko vuoden taajuuden keskiarvoa.

Kartoituksessa käytettiin apuna seuraavia mittareita:

*Trifitek Tr-21* pihtimittari. (Mittarin tekniset tiedot liitteessä 8). Mittaria käytettiin sähkömoottoreiden virta- ja jännite mittauksissa.

*Velocicalc plus 9569* monitoimimittari. (Mittarin tekniset tiedot liitteessä 8). Mittaria käytettiin kompressorien tuoton selvittämiseen imupuolen virtauksen perusteella.

Laitteiden käyttämän tehon tarkastelussa käytettiin kaavaa 1.

$$P = \sqrt{3}UI\cos\varphi \quad (1)$$

jossa:

U= jännite [V]

I= virta [A]

$\cos\varphi$ = moottorin tehokerroin

Kartoituksessa ilmeni epävarmuutta aiheuttavia tekijöitä muun muassa taajuusmuuttajakäyttöisten laitteiden energian kulutuksen laskennassa tehokertoimen,  $\cos\varphi$  suhteen. Tehokerroin kuvaa työtätekevän pätötehon ja työtä tekemättömän näennäistehon suhdetta. Toimilaitteen ollessa suoraan sähköverkkoon kytkettynä tyyppikilven ilmoittama tehokerroin olisi pätevä. Käytettäessä taajuusmuuttajaa tehokerroin on lähes 1 koska taajuusmuuttaja muuntaa verkosta ottamansa sähköön tasavirraksi, jolla ladataan välipiiriin kondensaattoreita. Tämän jälkeen tasavirta muutetaan hakkurilla takaisin kolmivaihevirraksi halutulle taajuudelle, jolloin se tuottaa lähes puhdasta sinikäyrää. Taajuusmuuttajakäyttöisten laitteiden laskennassa on käytetty tehokerrointa 0,95. (Vettenranta, 2021)

Kaikista laitteista ei ollut saatavissa tyyppi- ja käyntiaikatietoja, jolloin ne on jouduttu arvioimaan parhaan käsityksen mukaan. Näistä aiheutuu jonkin verran epävarmuutta tuloksiin, mutta toisaalta ei ole tarkoitus, että selvityksellä saataisiin eksaktia tietoa, jonkin laitteen käyttämästä energiasta, vaan suuntaa antavasti kartoittaa ne prosessit, joista voidaan parhaiten pyrkiä löytämään kohteita energiatehokkuuden parantamiseksi.

Laskennassa on käytetty jännitteenä 400 V pois lukien laitteet, joiden jännite tietyllä taajuudella on ollut luettavissa taajuusmuuttajasta.

Selvityksessä laitteiden jaottelu on tehty siten, kuin se on laitoksen automaatio- ja valvontajärjestelmässä esitetty eikä työssä oteta kantaa rakenteista johtuviin energiatehokkuuteen vaikuttaviin asioihin, vaan työ rajataan koskemaan prosessin laitteita ja toimintaa.



### 3.1 Tulopumppaamo

Tulopumppaamoon johdetaan kaupungin viemäriverkostoon liitettyjen kiinteistöjen jätevedet, josta ne johdetaan käsiteltäväksi jätevedenpuhdistamon kiertoon. Tulopumppaamo käsittää myös sakokaivolietteen vastaanoton. Tulopumppuja (3kpl) ohjataan pinnankorkeuden mukaan siten, että pumpput P1 ja P2 vuorottelevat. Normaalissa tilanteessa toiminnassa on siis yksi pumppu kerrallaan, mutta pinnankorkeudenmuutoksen mukaan käytössä voivat olla myös kaikki kolme pumppua.

Sakokaivoliete on viemäriverkoston ulkopuolella olevien yksityisten, yritysten ja muiden toimijoiden omistamien jätevedenpuhdistusjärjestelmien tuote, joka kuljetetaan käsiteltäväksi kunnan jätevedenpuhdistamolle. Vaikka liete ei tule varsinaisesti tulopumppaamon kautta käsittelyprosessiin, niin se on energiakartoituksessa liitetty tulopumppaamon yhteyteen. Taulukossa 2 on eriteltynä tulopumppaamon laitteisto ja arvioi laitteiden kuluttamasta energiasta.

Taulukko 2. Tulopumppaamon laitteiden verkosta ottama teho, käyntiaika ja energiankulutus.

	P0101	P0102	P0103	MU3	MU3.1	PP1	P1501
kW	6,5	6,5	6,5	0,7	1,3	0,2	2,5
h/a	3872	3871	359	99	95	221	72
kWh/a	25035	25029	2321	67	128	39	184

Tulopumppaamo on tarkastelun perusteella kolmanneksi suurin energiankäyttäjä, vaikka se käyttää vain noin 7,2 % koko jätevedenpuhdistamon sähköenergian tarpeesta. Tulopumput P0101 ja P0102 kuluttavat suurimman osan tämän vaiheen käyttämästä sähköenergiasta, joten niissä voidaan olettaa olevan suurimmat säästöpotentialit.

Energiatehokkuutta ja etenkin laitteiden elinkaarta voitaisiin parantaa siten, että kaikki kolme pumppua vuorottelisivat, jolloin normaalin ajan kuormitus jakaantuisi tasaisemmin kaikille tulopumpuille. Sen lisäksi käynnistymisrajoja olisi hyödyllistä nostaa, koska pumpput käyvät tällä hetkellä todella katkonaisesti ja lyhyitä aikoja. Jatkuvat käynnistymiset kuluttavat myös enemmän virtaa, koska pumpun ottama virta käynnistystilanteessa on noin 6–8 kertainen verrattuna siihen, että pumppu pyörisi nimelliskäytöllä. (Abb, n.d., s. 8)

Käynnistysten ja pysäytysten suuri määrä (P0101: 85996 & P0102: 43155 krt/2020) aiheuttavat mahdollisesti laitteissa ja putkistossa ennen aikaista kulumista ja putkistoa rasittavia paineiskuja, joista saattaa aiheutua ylimääräisiä huolto ja ylläpitotarpeita (Abb, n.d., s. 29)

Pumppujen ensimmäinen käynnistysraja on 0,7 m ja sammutusraja 0,6 m. Käynnistysrajan nostaminen, esimerkiksi nykyisestä 0,7 m → 0,8 m vähentäisi käynnistys ja sammutuskertoja puoleen ja näin ollen säästäisi pumppuja ja putkistoa turhilta paineiskuilta. Samalla käynnistysvirroista saadaan taloudellista säästöä, joskaan kokonaisuu- den kannalta se ei ehkä ole taloudellisesti merkittävä.

Tulopumppaamon kaivo on noin 5 metriä syvä ja tilavuudeltaan arviolta 90 m<sup>3</sup>. Kaivon pumppujen käynnistymisraja pidetään alhaisena mahdollisten tarvittavien huoltotöiden nopeuttamiseksi, jos pumppu tukkeutuu jäteveden mukana tulevasta ei-toivotusta materiaalista johtuen.

Suuren tukkeutumisriskin takia tulopumppaamossa ei ole tarkoituksenmukaista käyttää pehmokäynnistystä tai taajuusmuuttajaa, vaikka näillä saavutettaisiin säästöjä niin energiatalouden kuin elinkaarenkin kannalta.

Jos jätevedenpuhdistamolla tehdään tulopumppaamoon kohdistuvia isompia saneerauksia, kannattaa karkean välppäyksen lisäystä tulopumppaamon yhteyteen harkita. Välppäyksellä saataisiin vähennettyä pumppuja tukkivia materiaaleja tehokkaasti, jolloin erilaiset pehmokäynnistykset ja taajuusmuuttajakäytöt olisivat mahdollisia.

### 3.2 Välppäys

Tulopumppaamosta jätevesi johdetaan esikäsitteilyyn, jossa jätevedestä erotellaan porrasvälppien avulla erikokoisia partikkeleita menetelmän tyypistä riippuen. Jätevesi virtaa välpän säleikön läpi ja säleikön reikiä suuremmat partikkelit saadaan poistettua, ennen kuin vesi johdetaan hiekan erottimille ja esiselkeytykseen. (Karttunen, 1998 s. 50–51) Välppien jätevedestä poistama materiaali johdetaan pestäväksi välpepesuriin

ja jatkokäsiteltäväksi/hävitettäväksi. Pesemällä kerätty välpe, voidaan siitä syntyvän jätteen ja hajuongelmien määrää pienentää, kun orgaanista ainesta saadaan poistettua jätteen seasta. (Karttunen, 1998, s. 50–51)

Tulopumppaamon puolella on sakokaivolietteelle oma välppäys. Siellä syntyvää välppäysjätettä ei johdeta pesuriin, vaan se puristetaan suoran hävitettäväksi.

Hiekanerotuksessa jätevedestä poistetaan pienemmät kiintoainepartikkelit kuten hiekka. Menetelmällä hidastetaan jäteveden virtausta siten, että pienet ja raskaat partikkelit, jotka ovat liian pieniä välpättäväksi ehtivät uppoamaan altaan pohjalle ennen kuin jätevesi johdetaan esiselkeytykseen. Hiekanerotus pitää mitoittaa kuitenkin siten, ettei jätevedessä oleva liete ehdi laskeutua altaan pohjalle, vaan jatkaa seuraavaan prosessinosaan. (Karttunen, 1991, s. 68–69). Altaiden pohjalle kertynyt materiaali johdetaan hiekkapesuriin puhdistettavaksi ja siitä edelleen hävitettäväksi. Taulukossa 3 eriteltyinä välppäyksen laitteisto ja arvio laitteiden kuluttamasta energiasta.

Taulukko 3. Välppäyksen laitteiden verkosta ottama teho, käyntiaika ja energiankulutus.

	kW	h/a	kWh/a
P2301	1,87	450	842
P2302	1,87	451	776
Hiekka-pumppu x2	2,13	1320	2814
MU1	2,39	300	716
MU2	0,57	126	72
Välperuuvi	0,57	187	107
Välpepuristin	0,11	324	36
Hiekkaruuvi	0,56	40	22
Hiekkaruuvi 2	0,56	675	373
Välpepesurin ruuvi	1,92	383	736
Hiekansekoi-tin	0,39	2886	1136
Välpepesurin-pumppu	2,53	227	574

Välppäyksen sähkönkulutus vastaa kokonaisenergiankulutuksesta vain hieman yli 1 %, joten tästä osakokonaisuudesta ei oleteta löytyvän merkittäviä säästökohteita, joihin kannattaisi mahdollisimman nopeasti puuttua. Energiatohokkuutta voidaan parantaa sitä mukaan, kun laitekantaa mahdollisesti joudutaan uusimaan.

### 3.3 Esiselkeytys

Hiekanerotuksen jälkeen jätevesi johdetaan esiselkeyttimelle. Esiselkeyttimellä jäteveden viipymä on lähes kolme tuntia, jona aikana jätevedestä erottuu lisää vettä raskeampia partikkeleita, jotka vajoavat esiselkeytysaltaan pohjalle. Lisäksi jätevedestä erottuu flotaation avulla vettä kevyempiä partikkeleita ja emulgoitumattomia rasvoja. Pintaan nousseet partikkelit kerätään laahainkoneiston avulla erityiseen pintakaivoon ja ohjataan uudelleen tulopumppaamon kautta välppäykseen. (Karttunen, 1998, s. 56).

Esiselkeyttimen pohjaan laskeutunut liete pumpataan edelleen tiivistämöön lietteen käsittelyyn. Esiselkeytyksen jälkeen jätevesi johdetaan ilmastukseen. Taulukossa 4 on eriteltynä esiselkeytyksen laitteisto ja arvio energiankulutuksesta.

Taulukko 4. Esiselkeytyksen laitteiden verkosta ottama teho, käyntiaika ja energiankulutus.

	MU4,5,6	MU7	PU12	PU3	PU4
kW	0,59	0,309	1,453	1,867	1,867
h/a	8344	8344	7438	1760	0,3
kWh/a	4943	2582	10809	2558	0,6

Esiselkeytyksen osuus kokonaisenergiankulutuksesta on noin 3 %. Suurin energian käyttäjä on pintalietepumppu PU 12, joka johtaa esiselkeyttimen pintaan nousseen lietteen esikäsitteilyyn, josta se palautuu välppäyksen kautta uudelleen käsittelyyn. Hämmennimet MU4, 5, 6 ja laahaimen moottori MU7 kuluttavat sähköä yhteensä toiseksi eniten tässä prosessin osassa. Laahain ja hämmennimet ovat jatkuvakäyttöisiä, minkä vuoksi kulutus on kohtuullisen melkoisen suuri.

### 3.4 Ilmastus

Ilmastuksen tarkoituksena on poistaa jätevedestä orgaanista ainesta eli BOD<sub>7</sub> ja COD-kuormitusta, epäorgaanista kuormitusta (tyypeä ja fosforia), taata työtä tekeville mikrobeille riittävä happimäärä sekä pitää jätevesi jatkuvassa liikkeessä, jotta varmistetaan mahdollisimman hyvä kontakti mikrobien ja epäpuhtauksien välille ja estää lietteen enneaikainen laskeutumien. (Karttunen, 2004). Prosessi on aktiivilieteprosessi, jonka tarkoituksena on poistaa jätevedestä siihen eri muodoissaan sitoutunut typpi. Jäteveden sisältämät mikro-organismit käyttävät hyväkseen lietteessä olevia orgaanisia aineita solutuotannossaan, jolloin ne poistuvat jätevedestä eivätkä päädy vesistöön aiheuttamaan mm. rehevöitymistä. Ilmastuksen jälkeen jätevesi johdetaan jälkiselkeytykseen. Taulukossa 5 on eriteltynä ilmastuksen laitteisto ja arvio laitteiden energiankulutuksesta.

Taulukko 5. Ilmastuksen laitteiden verkosta ottama teho, käyntiaika ja energiankulutus.

	kW	h/a	kWh
701	16,35 (ka)	4239	69293
702	15,5 (ka)	4232	65589
703	20,38 (ka)	8471	172598
PU13	1,67	8465	14109
PU14	1,9	8458	16070
MU8	1,7	7942	13501
MU9	3	8472	25416
MU10	3	8472	25416

Ilmastus kuluttaa jätevedenpuhdistamon kokonaisenergiasta lähes 54 % ja on näin ollen suurin sähköä kuluttava yksittäinen prosessi. Ilmastus on jatkuvatoiminen prosessi, ja laitekanta on kohtuullisen vanhaa, joten siinä on myös parhaat mahdollisuudet energiatehokkuuden parantamiseen. Ilmastuksessa on otettu aikaisemmin käyttöön jo taaajuusmuuttajia ja ilmamäärää ohjataan happiantureiden avulla, mutta tästä huolimatta parantamisen varaa löytyy.

### 3.5 Jälkiselkeytyks

Jälkiselkeytyksessä pyritään laskeuttamaan loppuliete ja vettä raskaammat kiintoainepartikkelit jälkiselkeytysaltaan pohjaan, josta ne kerätään kaapimien avulla ja johdetaan takaisin ilmastukseen.

Jälkiselkeytyksessä pintaan nouse myös kevyttä pintaliettä, joka johdetaan välppäykseen ja uudelleen kierto on tai ylijäämälietteenä lietteen kuivaukseen. Tämän vaiheen jälkeen jäljelle jäänyt puhdistettu jätevesi voidaan johtaa poistopumppaamoon ja siitä edelleen vesistöön. Taulukossa 6 on eriteltynä jälkiselkeytyksen laitteisto ja arvio laitteiden energian kulutuksesta.

Taulukko 6. Jälkiselkeytyksen laitteiden verkosta ottama teho, käyntiaika ja energiankulutus.

	PU5	PU6*6kpl	P1301	P1401	P2601	P2602	M0801	M0802	M0803
kW	3,1	1,27	2	2,1	5,8	5,8	0,7	0,7	0,7
h/a	8097	4200	358	3955	7462	1071	8470	8471	8467
kWh/a	25239	5362	725	8226	43127	5878	6162	6162	6159

Jälkiselkeytyks on toiseksi isoin yksittäinen energiaa kuluttava prosessi ja se vastaa noin 18 % koko jätevedenpuhdistamon energiankulutuksesta. Suurin yksittäinen kulutuskohde on ruuvipumppu P2601, joka pumpkaa jäteveden välipumppaamosta jälkiselkeytykseen. Tässä prosessinosassa on huomattava määrä jatkuvatoimisia pumppauksia. Mainittava kohde energiatalouden kannalta on ruuvipumppujen P2601-2 sekä PU5 yhteiskäyttö.

Tilanne on se, että välipumppaamossa on tällä hetkellä kolme pumppua, joista kaksi on aina toiminnassa, toinen ruuvipumppuista ja potkuripumppu. Ruuvipumput eivät pysty yksin vastaamaan ilmastuksesta tulevasta lietekuormituksesta, joten rinnalle on otettu potkuripumppu tasaamaan kuormitusta. Potkuripumppua ohjataan taajuusmuuttajalla välipumppaamon pinnankorkeuden mukaan ja ruuvipumput ovat vakiokäytöllä.

Tutkimisen arvoista voisi olla, voidaanko esimerkiksi ruuvipumppuista luopua ja toteuttaa lietteensiirto yhdellä isommalla pumpulla tai esimerkiksi kahdella potkuripumpulla vrt. PU5.

Ruuvipumput ovat jo melko iäkkäitä, noin 35 vuotta, ja niiden tiiveydessä alkaa olla ongelmia, mikä vaikuttaa suoraan pumpun tuottoon. Lisäksi ruuvin massan pyörittämiseen tarvittava teho on pois varsinaisesta pumppauksesta.

### 3.6 Tiivistämöt

Tiivistämissä ylijäämäliete ja esiselkeytyksessä poistettu liete kuivataan ja viedään jatkokäsiteltäväksi. Taulukossa 7 on eriteltynä tiivistämön laitteisto ja arvio laitteiden energian kulutuksesta.

Taulukko 7. Tiivistämön laitteiden verkosta ottama teho, käyntiaika ja energiankulutus.

	M1702	M1702	P1082	P1081	Prässi	Linko B	Linko A
kW	0,3	0,3	1,73	1,73	5,54	2,7	17,17
h/a	8471	8471	832	832	832	832	832
kWh	2641	2641	1443	1443	4611	2244	14284

Tiivistämön laitteet kuluttavat koko jätevedenpuhdistamon energiankulutuksesta noin 4 % ja suurin yksittäinen kulutuskohde on lingon moottori. Käytännössä prosessin energiankulutukseen vaikuttaa se, kuinka paljon jätevedenpuhdistamolla on lietettä syntynyt, mutta siihen ei voi varsinaisesti vaikuttaa laitokselta käsin.

### 3.7 Poistopumppaamo

Poistopumppaamosta poistetaan jätevedenpuhdistamolla puhdistettu jätevesi edelleen vesistöön. Pumppuja ohjataan samalla tavalla pinnankorkeuden mukaan kuin tulopumppaamossakin. Taulukossa 8 on eriteltynä poistopumppaamon laitteisto ja arvio laitteiden energian kulutuksesta.

Taulukko 8. Poistopumppaamon laitteiden verkosta ottama teho, käyntiaika ja energiankulutus.

	P1201	P1202	P1203
kW	9,9	9,9	9,9

h/a	2127	2366	45
kWh/a	21127	23501	45

Poistopumppaamo vastaa hieman yli 6 % koko jätevedenpuhdistamon energiankulutuksesta. Tässäkin prosessinosassa energiatehokkuutta voidaan parantaa säätämällä pumppujen käyntirajoja tai käyttämällä pehmokäynnistystä tai taajuusmuuttajaa suoraikäynnistyksen sijaan. Poistopumppaamossa ei ole samanlaista ongelmaa pumppujen tukkeutumisen kanssa kuten tulopumppaamossa, mutta muutoksia tehtäessä on huomioitava lämmöntalteenoton tarpeet.

### 3.8 Muut

Tässä luvussa käsitellään muita kulutuskohteita kuten valaistus, ilmanvaihto, lämmitys, joita ei tarkemmin tässä työssä eritellä, mutta jotka omalta osaltaan vaikuttavat energiatehokkuuteen. Prosesseista myös kemikalointi ja prosessivesiasema kuuluvat tähän osioon, koska ne katsottiin niin pieniksi yksittäisiksi osioiksi, että niiden erittelystä ei todennäköisesti olisi saatu merkittävää lisäinformaatiota. Tämä osio kokonaisuudessaan vastaa vain noin 6 %:a jätevedenpuhdistamon kokonaiskulutuksesta.

Kemikaloinnilla, johon kuuluvat kalkin, ferrin ja metanolin syöttö, säädetään jäteveden ominaisuuksia ja haitta-aine pitoisuuksia parhaan puhdistustuloksen saamiseksi. Kalkilla säädetään veden alkaliteettiä eli veden kykyä vastustaa pH:n muutosta. Ferrin eli ferrikloridi käytetään fosforin saostamiseen isommiksi kasautumiksi, jolloin ne vaajoavat pohjaan, josta fosfori voidaan kerätä talteen jatkokäsittelyä varten. Metanolia käytetään ilmastuksen anoksisessa osassa turvaamaan bakteerien hiilensaanti. Tässä yhteydessä on mainittava, että jätevedenpuhdistamolla ei tällä hetkellä ole käytössä metanolin syöttöä. Jos typen poistolle tulevaisuudessa asetettaisiin tehostusvaateita, niin anoksiseen osaan voitaisiin syöttää metanolia denitrifikaation edistämiseksi.

Lämmitys hoidetaan valvomorakennuksessa sähköpattereilla ja osin ilmalämpöpumpulla. Valvomorakennuksen ilmanvaihtokoneet ovat todennäköisesti alkuperäiset ja lämmin käyttövesi tuotetaan niin ikään alkuperäisellä sähkökäyttöisellä lämminvesivaraajalla. Ilmanvaihtokonetta saneerattaessa kannattaisi huomioida poistoilmalämpöpumpun käyttömahdollisuus. Poistoilmalämpöpumpulla saataisiin ilmanvaihdon



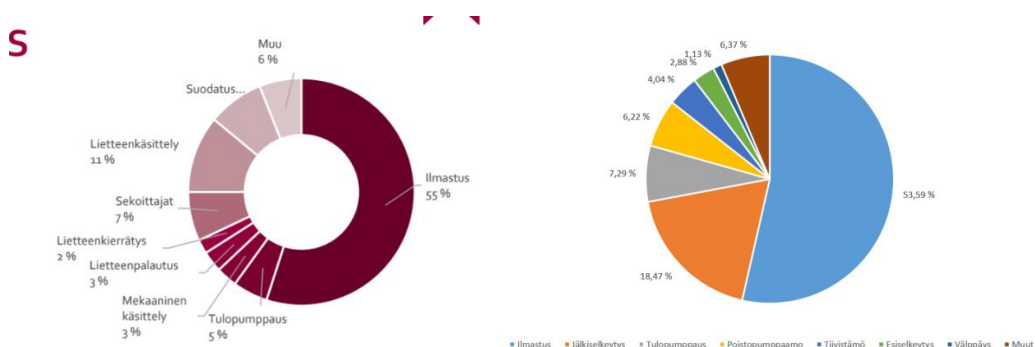
poistoilmasta lämpöenergia talteen, ja sitä voitaisiin hyödyntää esimerkiksi tuloilman tai käyttöveden lämmityksessä tarpeen mukaan.

Prosessirakennuksen lämmityksessä on otettu vanhan öljykattilan tilalle lämpöpump-  
putekniikkaa, jossa hyödynnetään poistuvan jäteveden lämpöä. Hankinnan hyödyt ei-  
vät ole tässä vaiheessa vielä täysin selvillä, koska järjestelmä on otettu käyttöön alle  
vuosi sitten. Prosessirakennuksen ilmanvaihtokoneet ovat menossa myös juuri sanee-  
raukseen, joten oletuksena voitaneen pitää, että sen myötä sähkönkulutus jonkin verran  
laskee.

Jätevedenpuhdistamolla käytetään valaistukseen pääasiassa loisteputkivalaisimia. Va-  
laisimien vaihtaminen LED- valaisimiksi on suhteellisen helppo ja edullinen ratkaisu  
energian säästämiseksi. Soveltuvin osin myös liiketunnistimien käyttö valaistuksen  
ohjaukseen olisi suotavaa. Tällä välttyttäisiin turhalta valojen päällä pitämiseltä ja  
unohduksilta.

## 4 KARTOITUKSEN YHTEENVETO

Kartoituksessa saatiin selvitettyä energiankäytön jakautuminen eri prosessinosien kes-  
ken. Tulokset vastaavat jossain määrin Motivan Energiatehokas vesihuoltolaitos hank-  
keessa esitettyjä tuloksia, joskin eri osakokonaisuuksien jaottelut poikkeavat toisistaan  
jonkin verran. (Kuva1)



Kuva 1. Energiankulutuksen yleinen jakautuminen (Motiva) vs. kartoitettu jakautuminen.

Vaikka jätevedenpuhdistamon laitekanta ei pääasiassa ole erityisen suuritehoista, niin jatkuvatoimiset prosessit vievät joka tapauksessa osansa. Monet laitteista on jo muutettu taajuusmuuttajakäyttöisiksi, mikä osaltaan jo parantaa jätevedenpuhdistamon energiatehokkuutta ja säädettävyyttä.

Erityisesti ilmastuksen ja jälkiselkeytyksen toiminnoista kannattaa pyrkiä löytämään kohteita, joista voitaisiin saada energiasäästöjä ajotapaa muuttamalla tai laitekantaa vaihtamalla paremman energialuokituksen omaaviin tai vähemmän energiaa kuluttaviin laitteisiin.

Prosessirakennuksen lämmityksessä on otettu käyttöön lämpöpumpputekniikka ja luovuttu vanhasta öljylämmityksestä ja ilmanvaihtolaitteet saneerataan. Näiden toimenpiteiden avulla energiatehokkuutta voidaan parantaa. Valvomorakennuksen ilmanvaihdon ja jätevedenpuhdistamon valaistuksen saneeraukset ovat suhteellisen helppoja ja edullisia ratkaisuja energiatehokkuuden parantamiseksi ja energian säästämiseksi.

## 5 PARANNELTAVA OSAPROSESSI

Kartoituksen jälkeen tässä työssä on tarkoitus löytää keinoja jonkin tietyn prosessin parantamiseen. Kartoituksen perusteella jätevedenpuhdistamolla kannattaa keskittyä ensimmäiseksi ilmastusprosessista saataviin energiansäästöihin. Tämä prosessi osoittautui jätevedenpuhdistamon merkittävimmäksi energiankuluttajaksi vastaten yli 50 % jätevedenpuhdistamon energiankulutuksesta.

Kun lähdetään suunnittelemaan energiatehokkuustoimia, niin tällaisessa laitoksessa prosessin vaatimukset ja ympäristöluvassa määritellyt ehdot (Taulukko 1) menevät kuitenkin aina muiden asioiden edelle.

Ilmastuksella tähdätään mahdollisimman hyvään typenpoistoon. Prosessi voidaan jakaa kahteen osaan. Aerobiseen osaan, jossa typenpoisto tapahtuu nitrifikaation avulla

ja anoksiseen osaan, jossa typenpoisto tapahtuu denitrifikaation avulla. (RIL192-1991, s. 68–69). Aerobiseen osaan johdetaan kompressorien tuottamaa matalapaineista ilmaa, jota mikro-organismit käyttävät hyväkseen. Anoksiseen osaan tuodaan ilmastusprosessin loppupuolelta aktiivilietettä, jonka avulla denitrifikaatio mahdollistetaan siinä olevien bakteerien avulla, jotka hapettomissa oloissa muuttavat nitraattitypen typpikaasuksi. (RIL192-1991, s. 98) Talvella jäteveden ollessa kylmempää myös anoksiseen osaan johdetaan ilmaa prosessin edistämiseksi ja typenpoiston mahdollistamiseksi. Ilmastuksesta vastaa kolme kiertomäntäkompressoria, joiden keskeisimmät tiedot on esitetty taulukossa 9.

Taulukko 9. Ilmastuksen nykyisten kompressoreiden tyyppitietoja.

	Merkki	Tuotto [m <sup>3</sup> /min]	Nimellis- teho [kW]	V <sub>m</sub>
M0701	Aerzen Glb 14.9	34	37	75
M0702	Aerzen Glb 14.9	34	37	75
M0703	Aerzen Glb 14.9	33,2	45	84

Ilmastuksen energiatehokkuuteen vaikuttavia tekijöitä on useita mm. kompressorintyyppi, putkistojen ja venttiilien mitoitus, instrumenttien määrä, sijoittelu ja huolto, laitteiston kunto ja säädettävyys (Motiva, A). Näiden osioiden tarkastelulla kartoitetaan kohteita ja toimenpiteitä, jotka energiatehokkuuden kannalta olisivat tehokkaita.

Laitekanta on vanhaa. Erityisesti kompressorit ovat huomattavan iäkkäitä. Todennäköisesti ne eivät energiatehokkuuden valossa ole enää parhaita mahdollisia, kun verrataan energian kulutusta/tuotettu litra ilmaa. (Kuvaaja 3). Kompressorien linjasta on myös väliotto jälkiselkeytykseen. Jälkiselkeytyksen tulokanavaan on jätetty vanhojen mammutti- eli nostepumppujen ilmalinjat sen vuoksi, että tulokanavaan ei kertyisi lietepatjaa, kun ilma sekoittaa lietettä jatkuvasti. Jälkiselkeytykseen menevä ilma näkyy tuotossa, mutta sitä ei saada hyödyksi ilmastukseen, vaikka se kokonaistuotossa ja -kulutuksessa näkyykin. Paineilman käyttäminen pelkästään sekoitukseen ei välttämättä ole kovin energiatehokasta vaan mahdollisuuksien mukaan sekoitus kannattaisi hoitaa jollain toisella tapaa.

Ilmalinjoissa on myös käsikäyttöisiä venttiileitä, joilla ilmamäärää voitaisiin ainakin teoriassa ohjata. Käytännössä käsikäyttöisten venttiileiden jatkuva säätäminen olisi turhan työlästä, koska ilman tarve lohkoissa vaihtelee lähes jatkuvasti. Venttiilit ovatkin olleet vain noin 50 % auki jatkuvasti, ja tästä aiheutuu ilmalinjaan turhaa painehäviötä.

Ilmastus on jaettu kahteen vierekkäiseen linjaan ja linjat kahteen eri osaan, anoksiseen alkupäähän ja aerobiseen loppupäähän. (Liite2, kuva1). Ilmalinjat on rakennettu siten, että kompressorit M0703 vastaa aerobisesta loppupäästä, lohkot 4a ja 4b. Kompressorit M0701 ja M0702 vastaavat 12 h sykleissä lohkon 3 ilmastuksesta, joka on myös aerobista osaa, sekä talviajolla lohkojen 1, 2a, 2b ja 3 ilmastuksesta.

Aerobisen osan, jossa typenpoisto tapahtuu nitrifikaation avulla, tavoitehappipitoisuus on 2–3 mg/l (RIL192-1991, s.100) ja sitä mitataan jatkuvatoimisten antureiden avulla, jotka mittaavat liuennutta happea. Molemmissa linjoissa on happianturit lohkoissa 4a ja 4b, joiden keskiarvolla säädetään kompressorin M0703 pyörimistaajuutta ja sitä kautta puhallettua ilma määrää.

Kompressorit M0702 ja M0701 vastaavat vuorotellen pieneltä osin loppupään hapentarpeesta ja talvella myös alkupään eli anoksisen osan ilmastuksesta. Näitä kompressoreita ei varsinaisesti ohjata mitenkään, vaan ne on asetettu ajamaan vakiotaajuudella eivätkä ne näin ollen voi reagoida ilman tarpeen muutoksiin.

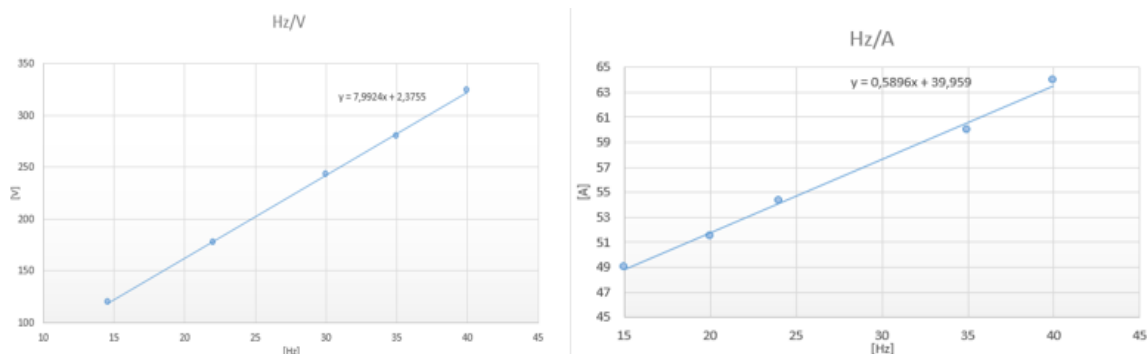
Tarkemmassa kompressoreiden tarkastelussa oli tarpeen selvittää kompressoreiden käyttämä teho sekä imutuotto. Näiden tietojen avulla mahdollistetaan uusien kompressorien tarkempi vertailu ja saadaan yksityiskohtaisempaa tietoa energiankulutuksesta ja kokonaisenergiatehokkuudesta kussakin toimintapisteessä.

## 5.1 Koeajot ja kokeilut

Kompressoreiden ensimmäiset koeajot suoritettiin viikolla 23. Tässä koeajosarjassa hankittiin yksityiskohtaisempaa tietoa kompressorien käyttämästä tehosta tietyllä käyntitaajuudella. Koe suoritettiin siten, että jokainen kompressorit käytiin läpi samalla

periaatteella. Kompessoreita ajettiin valvontajärjestelmästä ensin hyvin pienellä taajuudella noin 15 Hz ja siitä lähdettiin portaittain nostamaan taajuutta noin 5–10 Hz välein 40 Hz asti. Koska laitekanta on jo iäkäästä niin 50 ja 60 Hz tehot laskettiin virta/taajuus ja jännite/taajuus kuvaajista saatujen kaavojen perusteella, koska haluttiin välttää koneiden turhaa rasitusta.

Kuvaajassa 1 nähtävillä kaavoilla laskettiin teho jokaiselle arvolle välillä 15-60Hz.



Kuvaaja 1. Eräitä tehonlaskennassa käytettyjä kaavoja.

Seuraavassa vaiheessa viikolla 23 tutkittiin kompressoreiden imutuottoa. Imutuotosta ei ollut saatavilla minkään näköistä dokumenttia vaan ainoastaan tyyppikilven tiedot, joten ne täytyi selvittää vastaavasti kuin kompressorin käyttämä teho. Imutuoton selvittämiseksi käytettiin kaavaa 2.

$$\dot{V} = v \cdot A \quad (2)$$

jossa:

$\dot{V}$  = tilavuusvirta [ $\text{m}^3/\text{s}$ ]

$v$  = ilman virtausnopeus [ $\text{m/s}$ ]

$A$  = virtauskanavan poikkipinta-ala [ $\text{m}^2$ ]

Kompressoreiden imutuoton selvityksessä tehtiin hieman erityisjärjestelyjä selvityksen helpottamiseksi. Kompessoreiden ilmansuodattimen kansi ja ilmansuodatin irrotettiin testauksen ajaksi ja korvattiin sisähalkaisijaltaan 300 mm muoviputkella siksi, että ilmavirtauksen mittaus olisi helpompaa suorasta kanavasta (kuva 2). Tällöin ilma

kulkee lähes tasaisesti verrattuna suodattimen kannen rengasrakoon, joka oli epäsymmetrinen. Tämä olisi mahdollisesti aiheutunut mittausrvirheitä, koska ilman nopeus olisi muuttunut huomattavasti kohdasta riippuen. (kuva 3)



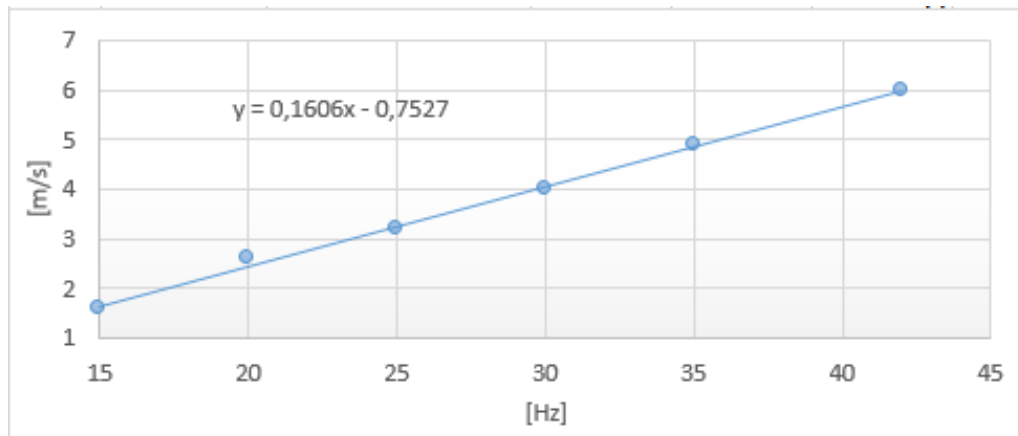
Kuva 2. Mittausjärjestelyt imutuoton selvitykseen.



Kuva 3. Yleiskuva kompressorihuoneesta. (Rengasrako ympyröity)

Ilmavirtaa mitattiin useasta kohdasta, ja lopullisessa laskennassa käytettiin näiden mittausten keskiarvoa. Suorassa putkessakin ilman virtaus vaihteli huomattavasti etenkin kompressorin kierrosten noustessa, mikä saattaa aiheuttaa jonkin verran epävarmuutta

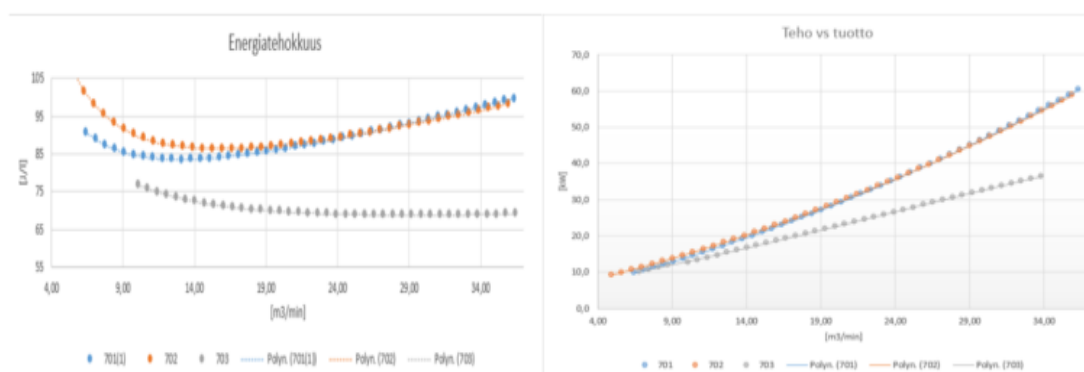
tuloksissa. Virtausnopeudet mitattiin välillä 15–40 Hz 5 Hz välein, ja samoin kuin tehoissa korkeampien taajuuksien virtausnopeudet laskettiin aikaisempien tulosten mukaan piirretystä kuvaajasta saatua kaavaa apuna käyttäen. (Kuvaaja 2)



Kuvaaja 2. Erään kompressorin apukaava.

Tuloksia voidaan pitää suhteellisen luotettavina, koska saadut tulokset ovat hyvin lähellä tyyppikilvissä ilmoitettuja arvoja.

Edellä mainitut tiedot yhdistelemällä saadaan kattavaa tietoa kompressorien tehontarpeesta vs tuotto ja energiatehokkuudesta  $\text{J/l}$  vs  $\text{m}^3/\text{min}$ . (Kuvaaja 3) Kompressoreiden kaikki toimintapisteet on esitetty liitteessä 7 taulukoissa 1,2, ja 3.



Kuvaaja 3. Kompressoreiden energiatehokkuus  $\text{J/l}$  vs  $\text{m}^3/\text{min}$  ja teho vs tuotto paineeron ollessa noin 0,35 bar.

Näillä tiedoilla voidaan jatkossa arvioida kompressorien toimintapistettä, ilmamäärää, tehoa ja vertailun tekeminen esimerkiksi uusien laitteiden hankkimiseksi muuttuu tarkemmaksi. Työssä arvioitiin myös nykyisten kompressorien hyötysuhteita koko toiminta-alueella, jotka esitetään kuvaajassa 4, jotka on laskettu kaavojen 1, 3 ja 4 perusteella.

$$\eta = \frac{P_{pi}}{PE} \quad (3)$$

jossa:

$\eta$ = hyötysuhde [%]

$P_{pi}$ = paineilmateho [W]

$PE$ = laitteen verkosta ottama teho [W]

$$P_{pi} = \frac{n}{n-1} * p_1 * qv * \left[ \left( \frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} - 1 \right] \quad (4)$$

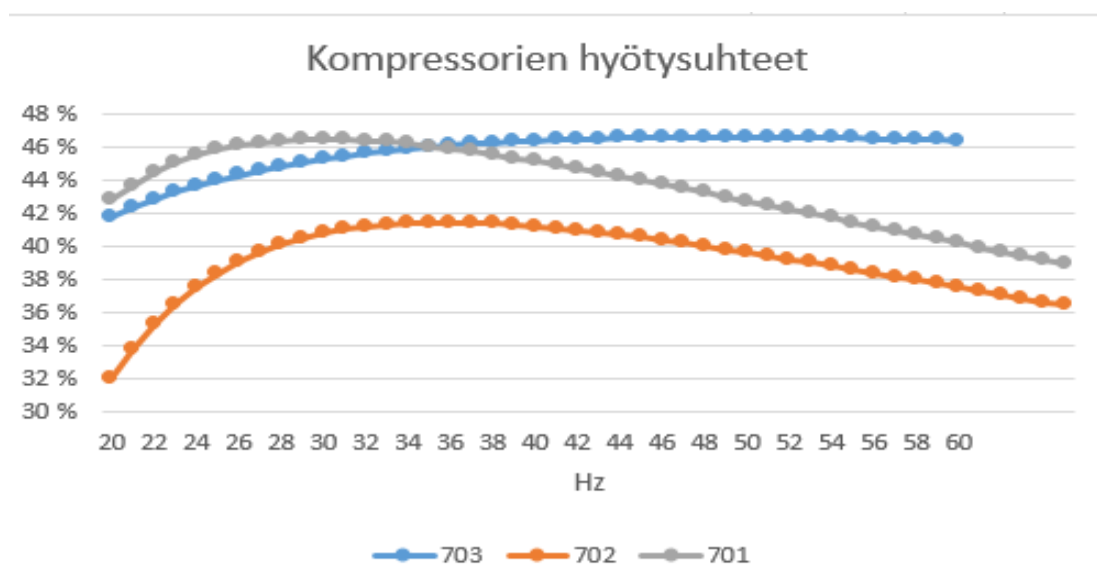
jossa:

$n$ = polytrooppivakio

$p_1$ = ilmanpaine, abs [Pa]

$qv$ = ilman tilavuusvirta [l/s]

$p_2$ = ilmanpaine puristuksen jälkeen [Pa]



Kuvaaja 4. Nykyisten kompressorien hyötysuhteet.



Laskuissa on käytetty polytrooppivakiona 1,3, ilmanpaineena  $p_1 = 100000$  [Pa] ja  $p_2 = 142000$  tai  $133000$  [Pa] riippuen onko kyseessä alku- vai loppupään kompressorin. Ilmastukseen tehtiin myös muutamia säätökokeita, joissa selvitettiin venttiilien asennon muutoksen vaikutuksia. Venttiilien asennon vaikutuksesta energiatehokkuuteen ei lyhyellä tarkastelujaksolla voi tehdä kovin tarkkoja päätelmiä. Kuvaajista (liitteessä 3, kuvaajat 1 ja 2) voidaan silti huomata, että venttiilin aukaisun jälkeen lohkoissa 4a ja 4b happimäärä on selvästi kohonnut ja kompressorin käyntitaajuuden huiput pienentyneet verrattuna vuoden 2020 vastaavaan ajanjaksoon. Lohkoissa 3a ja 3b happitaso nousi myös jonkin verran venttiilin aukaisun myötä (liite 3, kuvaaja 3). Lohkoissa 3 happitaso nousi lähemmäs vaadittua  $2,5$  mg/l. Tässä on hyvä huomata, ettei tämän lohkon ilmastusta säädetä mitenkään, vaan happipitoisuus riippuu lähinnä lietteen laadusta. Toinen huomioitava asia on ilman epätasainen jakautuminen oikean- ja vasemmanpuoleisten lohkojen välillä. Ilma ei jakaannu tasaisesti lohkoihin, vaan pyrkii enemmän vasemmanpuoleisiin lohkoihin (liite 3, kuvaaja 4). Samassa kuvaajassa on nähtävillä, että pieni muutos venttiileissä tasoitti ilman jakautumista hieman. Happipitoisuuden ja ilmanjakautumisen kohdalla on hyvä huomioda sekin seikka, että muutokset voivat johtua osittain esimerkiksi lomakauden jätevesiä pienentävistä vaikutuksista ja sääolosuhteista.

Epätasaista ilmanjakautumista ja näin ollen prosessin toimintaa voitaisiin parantaa toimilaiteventtiileillä, joita ohjattaisiin aina lohkon ilmamäärän mukaan. Tämä vaatii sen, että kaikissa lohkoissa, joita tahdotaan ohjata, on toimivat happianturit. Ohjaustavan muutos siten, että kompressoreiden tuottoa ohjattaisiin ammoniumtyypen avulla voisi myöskin olla mahdollinen. Ohjaustavan muutoksella on arvioitu saatavan säästöä energiakustannuksiin, koska järjestelmä reagoi varsinaisen kuormituksen muutoksiin eikä pelkästään ilman määrään. Asiaa ovat tutkineet muun muassa opinnäytetyössä Keitaanpää N-M ja kandidaatintyössä Lähde J. (Keitaanpää, 2017, Lähde, 2008). Tuloksissa ohjaustavan muutoksen arveltiin tuovan energiasäästöjä, mutta toteutus vaatii vielä lisätutkimuksia. Mittareiden huollon ja kalibroinnin tarve todennäköisesti myös lisääntyisi nykyiseen verrattuna, jos ohjaustapaa vaihdettaisiin.

Ilmastuksen energiatehokkuuteen vaikuttavana tekijänä on myös järjestelmien huolto ja ylläpito. Koska ilmastus on yleensä jätevedenpuhdistamon suurin yksittäinen energian kuluttaja ja keskeinen prosessi puhdistustuloksen kannalta, niin luotettavuuden ja

taloudellisuuden kannalta järjestelmää tulisi myös seurata. Edellinen saneeraus on tehty vuonna 2009, jolloin ilmastimet on vaihdettu, ja tämän jälkeen niiden kuntoa ei ole juurikaan seurattu. Ajan saatossa ilmastimien nestepuolenpintaan saattaa kertyä esimerkiksi kemikaalisaostumia, rasvaa, orgaanisia materiaaleja ja limaa, mikä tukkii huokosia ja pienentää hapensiirtotehokkuutta. Tulopuolella taas ilman epäpuhtaudet, kompressorin tukkeutunut ilmansuodatin, putkiston korroosio ja mahdolliset vuodot altistavat ilmastinelementit tukkeutumiselle. Edellä mainitut asiat näkyvät järjestelmän paineen ja kompressorien sähkönkulutuksen kasvuna ja epätasaisena kuplintana. Pahimmassa tapauksessa ilmastimet voivat myös hajota. (Sulzer, 2021, s. 29–37)

Ilmastinkalvojen tekninen käyttöikä, on noin 8 vuotta ja koko järjestelmän noin 20–30 vuotta. (Sulzer, 2021, s. 29–37) Järjestelmällä on tätä kirjoittaessa ikää jo noin 12 vuotta, joten ainakin järjestelmän kunnon tarkastaminen siten, että ilmastusaltaan jokin lohko tyhjennettäisiin, voisi olla aiheellista. Tähän tulokseen on päädytty järjestelmän iän, puhdistamonhoitajien kanssa käytyjen keskusteluiden, ilmakuplien ulkoisen olemuksen ja käyttöohjeiden perusteella. Vaihtoehtoisesti myös käyttö- ja huolto-ohjeissa on mainittu käsittely hapolla, esim. muurahaishappo, jonka avulla jo lievästi tukkeutuneita ilmastimia voidaan avata ja järjestelmän toimintaa parantaa.

Kompressorihuoneen ja kompressoreiden huollossa on myös parannettavaa. Esimerkiksi kompressorien imutuoton selvityksen yhteydessä huomattiin, että kompressorien ilmansuodattimet olivat erittäin huonokuntoisia (kuva 4) eikä niiden edellisestä vaihtojankohdasta saatu tietoa. Ilman suodattimia olisi syytä puhdistaa tai vaihtaa riittävän usein, sillä tukkeutunut suodatin heikentää puhaltimen energiatehokkuutta ja saattaa altistaa laitteen ja järjestelmän vaurioille. (Motiva, B)



Kuva 4. Kompressorien ilmansuodattimet. Vasemmanpuoleinen paikalla oikealla uusi.

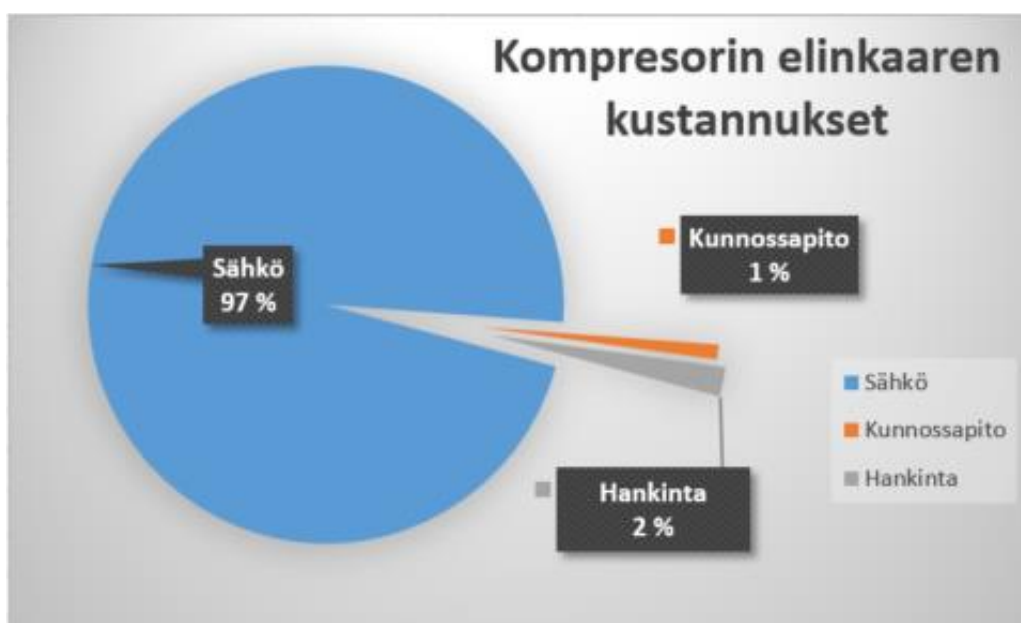
Kompressorissa M701 huomattiin painepuolen liittosuhvissa myöskin vuoto, joka on omiaan aiheuttamaan turhia kustannuksia ja huonontamaan energiatehokkuutta (kts liite 3, kuva 1 vuodon koko/kustannus esimerkki).

Kompressorihuoneen ilmanvaihtoa voisi olla myös syytä parantaa, sillä tila tuntuu vahvasti alipaineiselta ja tätä ei suositella tapahtuvan, vaan kompressorien tulisi saada riittävästi korvausilmaa. (Atlascopco, 2021). Kun kompressoreita mahdollisesti vaihdetaan uusiin, tämänkin asia olisi hyvä varmistaa, että kompressoreille taataan riittävä ilmansaanti.

## 5.2 Mahdolliset korjaustoimet ja laskelmia

Tämän osaprosessin energiatehokkuuden parantamiseksi varmin keino on laitekannan uusiminen energiatehokkaammaksi. Nykyiset kompressorit ovat vuosilta 75–84 eikä niille ole määritetty tyypikilvessä mitään hyötysuhdeluokkaa. Tämän teholuokan moottoreiden tulisi nykyisellään täyttää IE3 tai taajuusmuuttajakäytössä vähintään IE2 hyötysuhdevaatimukset. (Motiva C, 2021.)

Sähkomoottorin suurimmat elinkaaren aikaiset kustannukset aiheutuvat pääasiassa moottorin käyttämästä sähköstä. (Kuvaaja 5).



Kuvaaja 5. Kompressorin elinkaaren aikaiset kustannukset. (Motiva)

Tästä syystä laitteen käytönaikaisiin kustannuksiin kannattaa kiinnittää enemmän huomiota enemmän kuin varsinaiseen hankintahintaan. Laite tulee myös valita siten, että se sopii siihen kokonaisuuteen, jossa sitä käytetään. Laitteen tulee olla mitoitukseltaan sellainen, että se toimisi tehokkaasti toimintapisteessään, mutta tässä tapauksessa laitteen tulisi olla myös hyvin säätävä, koska ilman tarve prosessissa vaihtelee. (Motiva, D, 2021)

Laitteen valinnassa joudutaan todennäköisesti vertaamaan useampaa eri laitetta toimintapisteessään, eikä voida yksiselitteisesti sanoa, onko jokin laite parempi kuin toinen, koska eri laitteiden keskinäiset erot voivat olla huomattavia. Esimerkiksi uuden laitteen hankinta pelkkien tyyppitietojen valossa ei välttämättä johda parhaaseen lopputulokseen.

Tässä työssä verrataan kolmen eri kompressorin soveltuvuutta nykyisten kompressorien korvaajiksi niin, että merkitsevinä tekijänä ovat a. energiatehokkuus b. elinkaarikustannukset c. säädettävyys d. takaisinmaksuaika ja e. prosessin vaatimukset. Järjestelmiä on tarkasteltu useammasta näkökulmasta ja erilaisilla laitekoonpanoilla. Tarkastelussa käytettävien kolmea erilaista ruuvikompressoria, joista laitetoimittaja (Atlas Copco) on antanut käyrästöt, joiden avulla erilaisissa toimintapisteissä voidaan arvioida tehonkulutusta ja energiatehokkuutta. Lopullisessa työssä esitetyt laskelmat näyttävät mahdollisesti epätäydellisinä, koska laitetoimittajan pyynnöstä laitteiden hintatietoja ei voida julkisesti esittää, vaan tässä työssä on käytetty suuntaa antavaa arvioita. Näissä laskelmissa ei huomioida myöskään mahdollisen varakoneen hankintaa. Laskelmissa kompressorien toimintapisteinä käytetään vuoden 2020 keskimääristä käyntitajuutta ja sitä vastaavia teho- ja tuotto arvoja. (taulukko10)

Taulukko 10. Nykyisten kompressorien toimintapisteet.

Puhallin	703	702 <sub>kesä</sub>	702 <sub>talvi</sub>	701 <sub>kesä</sub>	701 <sub>talvi</sub>
Hz <sub>ka</sub>	31	23	28	23	28
m <sup>3</sup> /min	17,33	10,4	13,88	11,75	15
kW	18,02	13,92	17,92	14,7	18,8
Ka/h/a	8760	2190	2190	2190	2190
Kustannus €	15768	3064	3920	3219	4117

Laskuissa on käytetty seuraavia arvioita: Huolto 1000 €/kompessori/vuosi, toimitus ja asennuskuluina 10000 €/kompessori ja putkiston muutokuluina 10000 €. Hinnat ovat suuntaa antavia ja voivat aiheuttaa paljonkin epävarmuutta.

### 5.2.1 Yksi kompressor, yksi linja

Tässä mallissa ajatuksena on muuttaa ilmastuksen toimintaa niin, että kaikkien lohkojen ilmantarve voitaisiin tuottaa yhdellä koneella. Laitetoimittajan edustajan mukaan yhden kompressorin järjestelmä olisi yksinkertaisin, energiatehokkain sekä hankinta- ja huoltokustannuksiltaan paras vaihtoehto. (Hyypiä, 2021)

Tässä järjestelyssä olisi kuitenkin tarpeen tehdä ilmastuksen linjoihin muutoksia koska kummallakaan linjalla ei pystytä tällä hetkellä toimittamaan ilmaa kaikkiin lohkoihin, vaan alku- ja loppupäiden linjat ovat erilliset. Tämän vuoksi yhden puhaltimen järjestelmään vaadittaisiin muutostöitä, joiden summaksi halvimmillakaan arvioitu olevan noin 10000 €. (Takala, 2021) Alku- ja loppupään altailla on myöskin syvyysero, joka vaikuttaa linjojen paine-eroon. Tämän vuoksi puhallinta jouduttaisiin käyttämään jatkuvasti suurempaa paine-eroa vastaan, mikä taas kasvattaa käyttökustannuksia. Kun linjojen välinen paine-ero on noin 100 mbar, niin siitä seuraisi, että tietyllä kompressorilla jouduttaisiin loppupään lohkojen ilmantarpeeseen käyttämään turhaan jopa 15 % enemmän tehoa samassa toimintapisteessä verrattuna järjestelmään, jossa linjat ovat erilliset. Jos jätevedenpuhdistamolla otettaisiin käyttöön vain yksi kompressor, niin valintaan vaikuttavat tekijät esitetään taulukossa 11.

Taulukko 11. Vertailu kompressorien arvot.

	K1	K2	K3
Tuottoväli m <sup>3</sup> /l	13–53,4	16–41,9	13,5–38,8
SER J/l (toimintapisteessä)	53–53,5	51,8–52,4	50,8–50,6
Takaisinmaksu-aika	8,1	6,3	6
Elinkaarikustannus 30 vuotta.	664 468 €	602 908 €	599 288 €

Jos valintaperusteena käytetään edellä mainittuja vaikuttavia tekijöitä niin parhaimmalta valinnalta vaikuttaisi K3, joka on valittu vanhojen kompressoreiden tyyppi- ja

paine-ero tiedoilla. Kyseisellä kompressorilla ei voida kuitenkaan luotettavasti tuottaa kaikkea prosessin vaatimaa ilmaa, koska ilmantarve voi olla parhaimmillaan yli  $50\text{m}^3/\text{min}$  ilmaa. Tällöin koneita tarvittaisiin kaksi, jolloin investointi ja huoltokustannukset nousisivat. K2:lla voitaisiin tuottaa hieman enemmän  $\text{m}^3/\text{min}$ , mutta säädettävyys kärsii, kun tuottoa ei tarvita juurikaan. Kompressorin ominaisenergiankulutus ja hankintahinta ovat myös hieman suurempia kuin K3:lla, mutta näillä ei kokonaisuuteen ole merkittävää vaikutusta. K1:n ominaisenergiankulutus ja hankintahinta ovat kaikkein suurimmat edellä mainituista vaihtoehtoista, mutta kompressorin säädettävyys ja maksimituotto ovat parhaat. Kompressorilla on edellytyksiä selvitä ilman tuotosta yksinkin, mutta takaisinmaksuaika ja elinkaarikustannukset ovat suurimmat. Kompressorin on kuitenkin prosessin toimintavarmuuden ja vaatimusten kannalta paras valinta.

### 5.2.2 Kaksi kompressoria, kaksi linjaa

Tässä mallissa ilman jakelu olisi tarkoitus hoitaa kuten tähänkin asti. Yksi kompressorin vastaa loppupäästä ja yksi kompressorin alkupäästä. Kahden kompressorin järjestelmässä on hyvä huomata, että järjestelmän hankinta- ja ylläpitokulut ovat suuremmat kuin hankittaessa yksi kompressorin, mutta linjaston investointikuluissa taas voitaisiin säästää. Alustavilla laskelmilla tosin näyttäisi, että edellisessä kappaleessa mainitulla 15 % tehoerolla investointi voisi kaikesta huolimatta olla jopa kannattavampi kuin yhden kompressorin järjestelmä. Taulukossa 12 on esitetty erilaisten kompressoriyhdistelmien toiminta-arvoja ja valintaan vaikuttavia tekijöitä.

Taulukko 12. Vertailtavien kompressorien arvot.

	K1+K1	K1+K3	K2+K1
Tuottoväli $\text{m}^3/\text{min}$	26–106,8	26,5–92,2	29,5–95,3
SER J/l	107	104	105
Takaisinmaksuaika	9,4	11,7	12,1
Elinkaarikustannus 30 vuotta	647 348 €	839 588 €	937 468 €

Takaisinmaksuajat eivät merkittävästi kasva verrattuna yhden kompressorin järjestelmään. Kahden kompressorin erilaisia yhdistelmiä vertailtaessa huomattiin, että kompressorien järjestyksellä oli yllättävän suuri merkitys ja yllä olevaan taulukkoon on

koottu kolme parasta variaatiota erilaisista yhdistelmistä. Erilaisista yhdistelmistä parhaaksi nousi kahden K1 kompressorin järjestelmä, mikä johtuu siitä, että kyseinen kompressor pystyy operoimaan energiatehokkaasti loppupään lohkoissa pienemmän paine-eron ansiosta.

### 5.3 Yhteenveto

Energiatehokkuuden parantamisessa laiteinvestoinnilla ei ole olemassa yhtä selkeästi parasta vaihtoehtoa. Erilaisilla yhdistelmillä saadaan hyvin erilaisia tuloksia ja yksiselitteisten johtopäätösten tekeminen kannattavimmasta hankinnasta on erittäin hankalaa. Valinnassa joudutaan pohtimaan, kuinka suuri painoarvo eri osioilla on lopulliseen hankintaan ja samalla täytyy pitää mielessä prosessin vaatimukset, joiden täyttyminen tulee tämänkaltaisissa valvotuissa prosesseissa olla kuitenkin ensisijainen prioriteetti. On myös hyvä muistaa, että tässä työssä esitetyt tulokset ovat päteviä vain tämän jätevedenpuhdistamon prosessissa ja laskennassa käytetyillä koneilla. Toisen jätevedenpuhdistamon prosessin vaatimuksien ja eri laitetoimittajan kompressoreiden suorituskyvyn mukaan voidaan saada merkittävästi tässä työssä esitetyistä tuloksista poikkeavia tuloksia.

## 6 AURINKOSÄHKÖJÄRJESTELMÄ

Auringon kokonaissäteily Suomessa on lähes sama kuin Pohjois-Saksassa. Vaakasuo-  
ralle pinnalle noin  $980\text{--}790\text{ kWh/m}^2$  Ilmatieteenlaitoksen testivuoden mukaan. (Motiva) Optimikulmilla säteilyenergiaa saadaan Etelä- ja Keski-Suomessa noin  $1100\text{--}1000\text{ kWh/m}^2$ . (Tahkokorpi, (2016), s. 14, 27–28) (liite 5 kuva 2 vuotuinen tuotto määrä  $\text{kWh/m}^2$ .)

Ilmakehän ulkorajalla keskimääräinen auringonsäteilyteho on  $1353\text{ W/m}^2$  (kts, aurinkovakio), josta maahan saadaan noin 80 %. Auringon säteilyenergia voidaan jakaa kolmeen ryhmään:

- Suora auringonsäteily, joka on maan pinnalle saatavasta säteilystä noin 70 % kirkkaana päivänä.
- Hajasäteily, joka on noin 10 % saatavasta kokonaissäteilystä.
- Maan pinnasta heijastunut säteily.

Kokonaissäteily on suoran- ja hajasäteilyn summa, mutta etenkin talvella lumesta heijastunut säteily voi olla merkitsevää. Auringosta hyödyksi saatavan säteilyenergian määrä riippuu sääolosuhteista, vuodenajasta ja maantieteellisestä sijainnista. (Tahkokorpi, (2016), s. 30)

Sää ja säteilytietoja on saatavilla useista eri lähteistä kuten Ilmatieteenlaitos, EU:n JRC, NASA ja WMO, joiden tietoja voidaan hyödyntää aurinkosähkö ja -lämpö järjestelmiä suunniteltaessa mutta on syytä huomioda, että niiden tiedot ovat suurissa määrin keskiarvoisia. Tarkempien paikallisten säteilytietojen saamiseksi olisi hyvä tehdä mittauksia paikallisesti ainakin vuoden ajan. (Tahkokorpi, (2016), s. 31–32)

### 6.1 Hyödyntäminen jätevedenpuhdistamolla

Aurinkosähköjärjestelmiä hyödynnetään jo useammallakin jätevedenpuhdistamolla. Esimerkiksi Helsingin Viikinmäen jätevedenpuhdistamolla on otettu vuonna 2016 käyttöön aurinkosähköjärjestelmä, joka on kokonaisteholtaan 257 kW. Järjestelmän kokonaiskustannus oli 324800 €, joka tekee 1264 €/kWp. Aurinkovoimalan takaisinmaksuajaksi on arvioitu 12,7 vuotta ja sillä katetaan noin 0,6 % jätevedenpuhdistamon sähkönkulutuksesta. (STT info, 2016)

Usealla pienemmälläkin jätevedenpuhdistamolla on otettu käyttöön aurinkosähköjärjestelmiä esimerkiksi Toivakassa, Mussalossa, Alakorkalassa, Siilijärvellä ja Inkoossa. (Wikipedia, 2021). Edellä mainittujen järjestelmien toteutuksista ja kannattavuuksista koetettiin lähettää kyselyjä kartoituksen taustaksi, mutta vastauksia ei saatu.

Aurinkosähköjärjestelmän käyttöönottoa jätevedenpuhdistamolla voidaan lähtökohdaisesti pitää energiatehokkuuden ja energiaomavaraisuuden parantamisen kannalta.



Aurinkoenergiajärjestelmän käyttöönottamisella voidaan myös edistää kaupungin ilmastohankkeen ja kuntien energiatehokkuussopimuksen tavoitteita.

Kankaanpään jätevedenpuhdistamon puitteet aurinkosähköjärjestelmän hyödyntämiseksi ovat hyvät. Suuri sähkön pohjakulutus tekee suurehkonkin järjestelmän todennäköisesti kannattavaksi. Tontti on avoin, oikean suuntainen eikä varjostavia kohteita ole merkittävästi.

Järjestelmän mitoitus toteutetaan tässä työssä siten, että mahdollisimman suuri osuus tuotannosta käytetään jätevedenpuhdistamolla eikä merkittäviä ylituottoja pääse syntymään. Jätevedenpuhdistamolle ei ole tarkoitus suunnitella erillisiä akustoja tai erityistä kulutuksen ohjausta tämän opinnäytetyön puitteissa.

## 6.2 Mitoitus

Mitoitus on lähtökohtaisesti järkevää toteuttaa siten, ettei verkkoon myytävää ylituotantoa pääse syntymään, vaan mahdollisimman suuri osuus tuotannosta pystyttäisiin käyttämään itse. (Motiva B, 2021)

Pohjakulutuksen selvittämiseksi paikalliselta verkkoyhtiöltä pyydettiin kohteen vuoden 2020 kulutustiedot, joiden pohjalta mitoitus lähdettiin tekemään. Jätevedenpuhdistamolla kului sähköä kyseisenä vuonna 724 MWh, joka jakaantui kuukausittain kuvaajasta nähtävällä tavalla. (liite 4, kuvaaja 1) Vähiten sähköä kului kesäkuussa ”vain” 48000 kWh ja eniten joulukuussa 73000 kWh. Pohjakulutuksena jätevedenpuhdistamolla on jatkuvasti >51 kWh ja huippukulutus 155 kWh.

Mitoitus toteutettiin tuntitarkastelun pohjalta useammalle järjestelmälle, jotta löydetään omaan kulutukseen mahdollisimman hyvin sopiva järjestelmä. Tarkemmin työssä perehdytään kolmen eri suuruisen järjestelmän tuottoon, omakäyttöosuuteen ja kannattavuuteen. Tarkempaan tarkasteluun järjestelmät on valittu sillä perusteella, että niiden tuoton omakäyttöosuus on mahdollisimman lähellä 100 % eikä merkittävää yli-

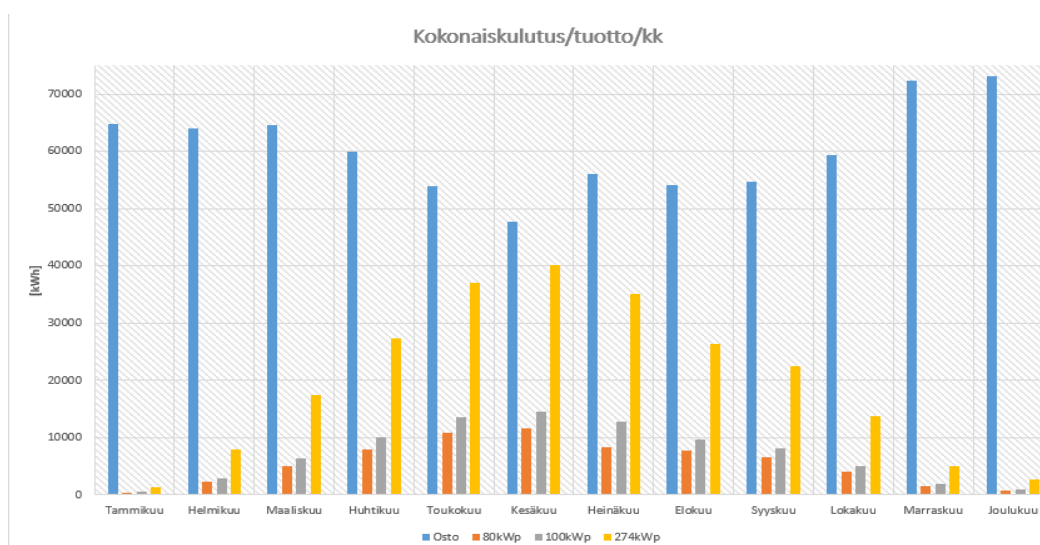
tuotantoa syntyisi. Järjestelmien kokoa on lähdetty selvittämään aluksi ihan kokeellisesti ja portaittain kokoa on kasvatettu. Sen lisäksi vertailuun otettiin erään toimittajan laskurin ehdottaman kokoluokan järjestelmä.

Mitoituksessa on käytetty lähtötietoina kallistuskulmaa  $45^\circ$ , suuntana  $0^\circ$ , joka on järjestelmässä etelää ja järjestelmänhäviöinä 14 %. Tuntikulutukseen verratut säteilytiedot on saatu EU:n tiedokeskuksen ylläpitämästä tietopalvelusta PVGIS (Photovoltaic Geographical Information System) ja säteilytietoina on käytetty vuoden 2016 tuntikohtaisia säteily tietoja. (PVGIS, 2021)

Järjestelmälle annetaan arvioidun järjestelmän nimellisteho (käytetyt järjestelmien nimellistehot 80, 100, 274 kWp), määritellään kartalta kohta, josta tiedot halutaan, tietokanta, josta säteilytiedot ovat, vuosi, asennustyyppi ja järjestelmän kulmat.

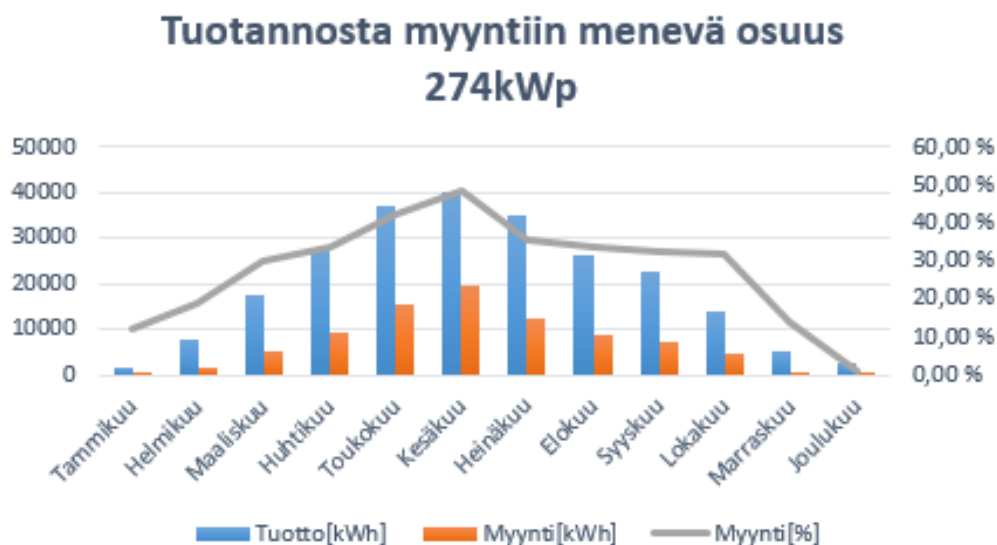
Järjestelmästä voidaan tämän jälkeen ladata csv-tiedosto, josta ilmenee tuntikohtaiset arviot tuotantoarviot edellä mainittujen kriteerien mukaan.

Kuvaajassa 6 nähdään erikokoisten järjestelmien kokonaistuotto eri kuukausina. Tuotannon kannalta merkittävimmät kuukaudet ovat maaliskuu-lokakuu. Kuvasta voidaan myös nähdä, että järjestelmien kumulatiivinen tuotto ei ylitä kumulatiivista ostoenergian käyttöä millään järjestelmällä vaan järjestelmillä olisi teoriassa vielä kasvattamisen varaa.



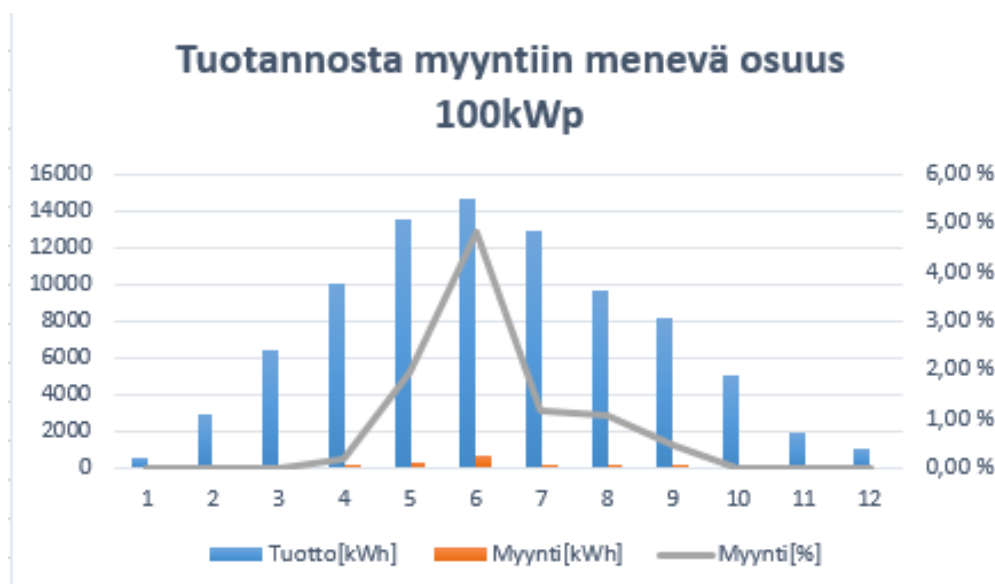
Kuvaaja 6. Kuukausittaisen tuoton vertailu kulutukseen erikokoisilla järjestelmillä.

Vaikka suurimmalla järjestelmällä voitaisiin teoreettisesti kattaa jopa 32 % jätevedenpuhdistamon kokonaiskulutuksesta niin kuvaajassa 7 nähdään, että 274 kWp järjestelmällä myyntiin menevän sähkön osuus on kuitenkin huomattava. Tämä johtuu siitä, että jätevedenpuhdistamon tuntikohtainen kulutus ja järjestelmän tuntikohtainen tuotto eivät kohtaa. Ylituotantoa syntyy jokaisena kuukautena, pahimmillaan lähes 50 %.



Kuvaaja 7. Myyntiin menevän tuoton osuus 274 kWp järjestelmällä.

Tästä syystä tuotto kannattaa vertailla tuntikohtaisesti eikä pelkästään kuukausitasolla tai kokonaiskulutuksen perusteella. Kuvaajassa 8 nähdään, että 100 kWp järjestelmällä tuotto on optimaalinen sen suhteen, ettei tuottoa juurikaan synny myyntiin vaan oma-käyttöosuus on pahimmillaankin vain 95 %.

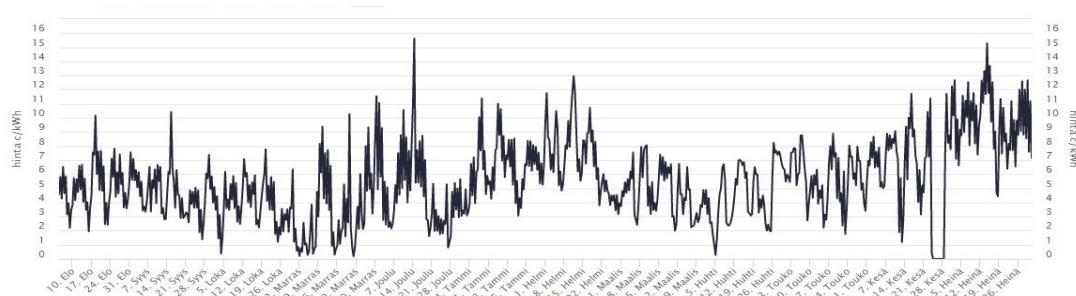


Kuvaaja 8. Myyntiin menevän tuoton osuus 100kWp järjestelmällä.

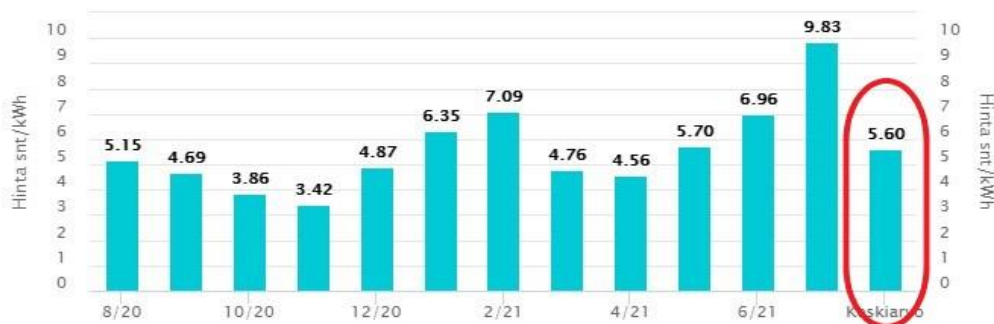
Ainoastaan omankäytön osuutta ei kannata tarkastella, koska pienemmällä järjestelmällä omankäytön osuus on tämänkaltaisessa kohteessa helposti 100 %, mutta järjestelmästä saatava kokonaishyöty jää pieneksi, koska myös vuosittainen tuotanto on myöskin pienempi.

### 6.3 Kannattavuus

Tässä työssä arvioidaan aurinkosähköjärjestelmän kannattavuutta kahdella erilaisella tavalla. Kannattavuuden arviointiin käytetään suoraa takaisinmaksuajan menetelmää ja nykyarvomenetelmää. Laskennat tehdään käyttäen sähkönhintaa-arviona 0,1 €/kWh (alv 24 %) kuten muissakin laskennoissa. Aurinkosähköjärjestelmän kannattavuuteen vaikuttaa ostosähkön hinta, omankäytön osuus tuotetusta sähköstä sekä mahdollinen ylijäämäsihtin myynti. Sähköshtiöt maksavat usein ylituotetusta sähköstä ns. spot hintaa, joka vaihtelee kysynnän mukaan, joten saatava hyvitys voi vaihdella rajusti ajanhetkestä riippuen. (Kuva 5). Kirjoitushetkellä 28 vuorokauden spot-keskihinta oli 0,0938 €/kWh (alv 24 %) (Sähkö.tk), kun taas saman ajanjakson keskihinta pks.fi sivuston mukaan oli 0,056 €/kWh (alv24%) jota myös laskennoissa käytetään myyntituottojen arvioimiseen. (Kuva 6).



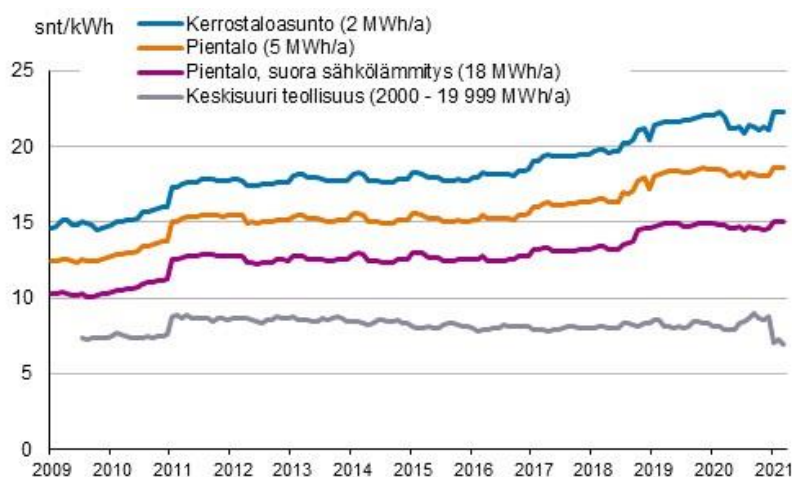
Kuva 5. Spot-hinnan kehitys 8.2020–7.2021. (Sähkö.tk)



Kuva 6. Spot-keskihinta 8/20–7/21. (Pks.fi)

Eräillä sähköyhtiöillä on tarjolla myös kiinteähintaisia ostosopimuksia, mutta niitä ei tässä työssä huomioida, koska sopimukset ovat usein määräaikaista ja käytännöt eivät ole vielä täysin vakiintuneet. Toisekseen järjestelmän mitoitus on tarkoitus tehdä siten, ettei ylituotantoa pääsisi syntymään.

Kannattavuuteen vaikuttaa myös ostosähkön hinnan kehitys. Kuvaajassa 9 on esitetty sähkön hinnan kehitys kuluttajatyypeittäin. Vuosikulutuksen perusteella Kankaanpään kaupunki lukeutuisi keskisuuren teollisuuden kokoluokkaan, jonka sähkön hintakehitys on ollut jopa hieman laskusuuntainen 2010 luvulla. Hintakehityksen mahdollisesti jatkuessa samansuuntaisina sähkönhinnasta riippuvaisten investointien kannattavuus saattaa jopa heiketä.



Kuvaaja 9. Sähkön hinta kuluttajatyypeittäin. (Tilastokeskus 2021.)

Aurinkosähköjärjestelmien hinnat kokoluokassa 10–250 kW (huom. kattoasennuksena) vaihtelevat 1350–1050 €/kWp. (Finsolar, 2021). Näissä suunnitelmissa aurinkosähköjärjestelmän hinnaksi arvioidaan 1150 €/kWp. Hinta on hieman keskiarvoa pienempi, koska maa asennukset ovat hieman kattoasennuksia halvempia.

Järjestelmän vaatima asennuspinta-ala ( $467\text{--}583\text{m}^2$ ) olisi todennäköisesti niin suuri, että kattoasennuksessa etenkin yhtenäistä pinta-alaa voi olla kohteessa haastavaa löytää, vaan paneelit jouduttaisiin hajauttamaan eripuolille jätevedenpuhdistamoa, mikä saattaisi lisätä asennuskustannuksia. Maa-asennukseen sen sijaan tontilla on hyviä mahdollisuuksia.

### 6.3.1 Takaisinmaksuaika

Takaisinmaksuajan menetelmällä tehtävässä kannattavuustarkastelussa verrataan investoinnin kumulatiivisia tuottoja investointi kustannukseen. Menetelmää voidaan käyttää kannattavuuden arvioinnissa, jotta saadaan helposti selkeä kuva siitä, kuinka kannattava hankinta mahtaa olla kyseessä. Laskenta voidaan tehdä korottomalle ja korolliselle takaisinmaksuajalle. Korollisessa menetelmässä takaisinmaksuajalle otetaan huomioon investoinnin mahdolliset rahoituskustannukset ja diskontataan investoinnin nettotuotot nykyarvoon. (Sirén, 2021)

Tätä kirjoittaessa ei kuitenkaan voida tietää tehdäänkö mahdollinen hankinta rahoituksella vai maksetaanko se suoraan, joten arviointiin käytetään korotonta takaisinmaksuajan menetelmää. Kuten aiemmin mainittiin, niin järjestelmän hankintahintana käytetään 1150 €/kWp ja laskenta tehdään 80 ja 100 kWp järjestelmille. Näin ollen järjestelmän hinta olisi 92000–115000 € ilman mahdollisia hankintatukia tai rahoituskuluja. Aurinkosähköjärjestelmille on mahdollista saada tietyin edellytyksin tukea 20 %. (Työ- ja elinkeinoministeriö, 2021). Liitteessä 4 kuvaajassa 2 on nähtävissä edellä mainittujen järjestelmien kuukausikohtainen tuottoarvio ja summa vuoden 2016 säteilyn mukaan. Taulukossa 13 on esitetty järjestelmien koroton takaisinmaksuaika tuoton perusteella.

Taulukko 13. Koroton takaisinmaksuaika.

Sähkönhintaa 0,1 €/kWh	80 kWp	100 kWp
Järjestelmän hinta €	92000	115000
Tuotto <sub>tot</sub> kWh	67216	86405
Tuotto €	6722	8641
Takaisinmaksuaika vuotta	13,7	13,3
Tuettu takaisinmaksuaika	10,9	10,6

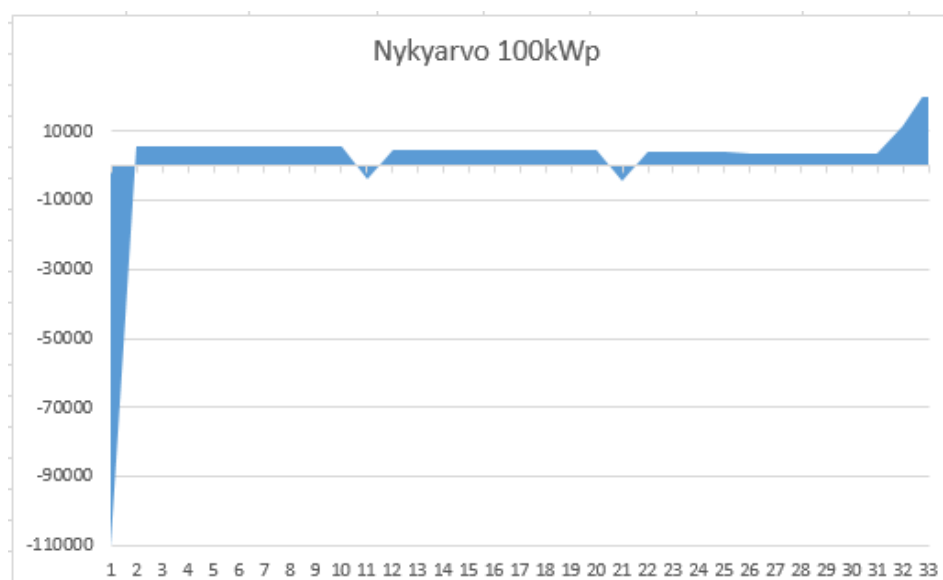
### 6.3.2 Nykyarvo

Takaisinmaksuajan periaate ei ole kuitenkaan paras mahdollinen arvioitaessa investointien kannattavuutta, koska siinä ei huomioida käyttö- ja huoltokustannuksia, mutta sillä saadaan karkeaa ennakkotietoa, minkä pohjalta voidaan lähteä tekemään tarkempia laskelmia. (Auvinen, 2020) Nykyarvomenetelmässä huomioidaan järjestelmän koko odotetun elinkaaren tuotto.

Nykyarvoperiaatteella laskettaessa investoinnin kannattavuudessa tulee huomioitua myös elinkaarenaikaiset kulut. Aurinkosähköjärjestelmän tekninen ikä voi olla jopa 30 vuotta ja parhaimmilla tuotteilla on jopa 25 vuoden tehotakuu, joka tarkoittaa, että valmistaja takaa paneelien tuotavan esimerkiksi vähintään 90 % nimellistehosta ja 25 vuoden ajan vähintään 80 % teholla nimellistehosta. (Motiva, F, 2021) Laskennassa muiden järjestelmän osien kuten invertterien eliniän oletuksena käytetään puolta koko

järjestelmän eliniästä. Laskennassa huomioidaan myös edellä mainittu tuoton väheneminen.

Laskennoissa on tehty seuraavia olettamuksia: Korkokantana käytetään laskennassa 0 % koska järjestelmä todennäköisesti hankittaisiin normaalisti budjetista, siltä ei oleteta tiettyä tuottotasoa ja se maksetaan kerralla. Vaikka edellä on toisin mainittu, niin laskennassa oletetaan 10 vuoden välein suurempi remontti, esim. invertteri, jonka arvo on 10 % hankintahinnasta, samoin kuin järjestelmän jäännösarvokin. Laskennassa on pyritty huomioimaan myös mahdollinen tuoton aleneminen siten, että yllä mainittu tehotakuu täyttyy. Järjestelmän teho laskee 10 % kymmenen vuoden jälkeen, 20 % 20 vuoden jälkeen ja 25 % 25 vuoden jälkeen. Laskennassa ei myöskään käytetä oletuksena tuettua hintaa, koska se voi antaa kannattavuudesta periaatteessa väärän kuvan etenkin tilanteessa, jossa tuen saanti ei syystä tai toisesta onnistu. Nykyarvolaskenta tehtiin 80, 100 ja 274 kWp järjestelmille, joista kaikki osoittautuivat kannattaviksi ratkaisuksi tällä laskentamenetelmällä. Kuvaajassa 10 nähdään, onko 100 kWp järjestelmän kannattavuus millainen minäkin vuonna. (Liitteessä 6 taulukoissa järjestelmien laskennoista)



Kuvaaja 10. 100 kWp järjestelmän nykyarvo.

On myös hyvä huomata, että kannattavuus todennäköisesti paranee, kun järjestelmän hankintaan saadaan 20 % tuki ja toisaalta, vuosittaiset huoltomenot on todennäköisesti



arvioitu yläkanttiin. Toisaalta jos säteilyolosuhteet tai sähkönhintat muuttuvat, niin niillä on myös vaikutusta molempiin suuntiin.

#### 6.4 Yhteenveto

Aurinkosähköjärjestelmä on suositeltava ja edellisten laskentojen valossa myös kannattava hankinta. Sen avulla Kankaanpään kaupungilla on paremmat mahdollisuudet myös saavuttavat tavoitteet, jotka kuntien energiatehokkuus sopimuksessa on määritetty. Vaikka aurinkosähköjärjestelmä on kohtuullisen suuri investointi niin sen voi odottaa tuottavan pitkään vielä takaisinmaksuajan jälkeenkin. Järjestelmän kannattavuus kasvaa, etenkin jos sähkönhintat tulevaisuudessa kasvaa.

### 7 YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Kuten alkuoletus oli, jätevedenpuhdistamon prosesseista löytyy runsaasti kohteita, joihin parannuksia voidaan tehdä helposti. Kehityskohteissa rajoittavaksi tekijäksi muodostuu helposti raha, jolloin joudutaan tekemään kompromisseja esimerkiksi laitteiden hankintahinnan, takaisinmaksuajan, säädettävyyden ja elinkaarikustannusten välillä.

Jos edellä esitetyt ratkaisutoimenpiteet toteutetaan sellaisenaan ja niiden tulokset ovat arvioidun kaltaiset, niillä voidaan vähentää Kankaanpään kaupungin kokonaisenergian kulutusta ja päästöjä.

Esimerkiksi kompressorien vaihdolla voidaan saavuttaa vuosittain noin 83 MWh säästöt sähköenergian kulutuksessa sekä hiilidioksidipäästöissä 10873 kg/CO<sub>2</sub>, jos laskeaan sähköntuotannon keskimääräisellä hiilidioksidipäästöllä, joka Suomessa on 131 kg CO<sub>2</sub>/MWh. (Motiva, E, 2021) Säästöjen tarkistamisella voidaan myös olettaa olevan sähkönkulutusta vähentävä vaikutus, koska järjestelmä vastaa tehokkaammin prosessien tarpeisiin. Aurinkosähköjärjestelmän käyttöönotolla voidaan myös vähentää mer-

kittävästi ostosähkön osuutta noin 6 kuukautta vuodesta, tinkimättä kuitenkaan prosessin vaatimasta sähkön käytöstä, eikä sillä ole negatiivisia vaikutuksia prosessiin mitenkään, vaan se pysyy käynnissä koko ajan.

Jos jätevedenpuhdistamolla otetaan käyttöön aurinkosähköjärjestelmä, niin sen voidaan arvioida tuovan vielä lisää säästöjä ostosähkön vähentymisenä järjestelmän koosta riippuen noin 67–86 MWh, jonka myötä CO<sub>2</sub>- päästöt vähenevät vastaavasti 8777–10873 kg, laskettuna kuten edellä.

Työnä tämä opinnäytetyönaihe oli erittäin mielenkiintoinen ja laaja-alainen. Siinä yhdistyivät monipuolisesti mm. energiatekniikka, sähkötekniikka, ympäristötekniikka ja biokemia. Jätevedenpuhdistamon toiminnasta sekä siihen vaikuttavista tekijöistä on saatu paljon arvokasta tietoa puolin ja toisin.

## LÄHTEET

Abb. (2021). Pehmökäynnistysopas.

[https://library.e.abb.com/pub-lic/d11f99611045fef8c125796e00473a8a/OPAS%20Pehmokaynnistys%20FI12\\_01.pdf](https://library.e.abb.com/pub-lic/d11f99611045fef8c125796e00473a8a/OPAS%20Pehmokaynnistys%20FI12_01.pdf)

Atlascopco. (2021). Kompressorihuoneen ilmanvaihto.

<https://www.atlascopco.com/fi-fi/compressors/paineilman-perusteet/kompressorihuoneen-ilmanvaihto>

Auvinen, K. (2021). Aurinkosähköjärjestelmä kannattavuus.

<https://finsolar.net/kannattavuus/>

Finsolar. (2016). Aurinkosähkön hinnat ja kannattavuus.

<https://finsolar.net/kannattavuus/aurinkosahkon-hinnat-ja-kannattavuus/>

Hyypiä, I. (2021). Atlascopco, Henkilökohtainen tiedonanto.

Kankaanpään kaupunki. (2021). Talousarvio 2020 Taloussuunnitelma 2021–2022.

<https://www.kankaanpaa.fi/wp-content/uploads/2019/12/TA-2020-ja-TS-2021-2022.pdf>

Kankaanpään kaupunki. (2021). Ilmasto-ohjelma 2017–2025.

[https://www.kankaanpaa.fi/wp-content/uploads/2019/12/Kankaanpaan\\_ilmasto-ohjelma\\_2017-2025.pdf](https://www.kankaanpaa.fi/wp-content/uploads/2019/12/Kankaanpaan_ilmasto-ohjelma_2017-2025.pdf)

Karttunen E, (1998), Vesihuoltotekniikan perusteet.

Karttunen E, (1991), RIL 192-1991, Vesihuoltolaitosten peruskunnostus.

Karttunen E, (2004) RIL 124–2 Vesihuolto 2.

Keitaanpää, N-M. (2017). Jätevedenpuhdistamon ilmastuksen ohjaaminen ammoniumtyypen määrittelyllä [AMK-opinnäytetyö, Satakunnan ammattikorkeakoulu]. Theseus.

<https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2017073114197>

Hautamäki, H. (2020). Kvvy, Kankaanpään jätevedenpuhdistamon käyttö- ja päästö-tarkkailun vuosiyhteenveto 2020.

<https://intranet.kankaanpaa.fi/djulkaisu/kokous/20214209-11-1.PDF>

Lähde, J. (2008). Ammoniumtyppi ilmastuksen ohjausparametrina yhdyskuntajäteveden puhdistuksessa [Kandidaatintyö, Lappeenrannan teknillinen yliopisto]. Docplayer.

<https://docplayer.fi/6742900-Ammoniumtyppi-ilmastuksen-ohjausparametrina-yh-dyskuntajateveden-puhdistuksessa.html>

Takala, O-P, (2021) Metallituote Olli-Pekka Takala Ky. Henkilökohtainen tiedonanto.

Motiva A, (2021), Energiatehokas ilmastus.

[https://www.motiva.fi/julkinen\\_sektori/vesihuoltolaitos/jateveden\\_puhdistus/energia-tehokas\\_ilmastus](https://www.motiva.fi/julkinen_sektori/vesihuoltolaitos/jateveden_puhdistus/energia-tehokas_ilmastus)

Motiva B, (2021), Aurinkosähköjärjestelmän mitoitus.

[https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva\\_energia/aurinkosahko/hankinta\\_ja\\_asennus/aurinkosahkojarjestelman\\_mitoitus](https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/hankinta_ja_asennus/aurinkosahkojarjestelman_mitoitus)

Motiva C, (2020), Puhaltimen hankintaopas.

Motiva D, (2011), Energiatehokkaat sähkömoottorit.

Motiva E, (2021), CO<sub>2</sub>-päästökertoimet.

[https://www.motiva.fi/ratkaisut/energian kaytto\\_suomessa/co2-paastokertoimet](https://www.motiva.fi/ratkaisut/energian kaytto_suomessa/co2-paastokertoimet)

Motiva, F, 2021, Aurinkosähköjärjestelmän teho.

[https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva\\_energia/aurinkosahko/jarjestelman\\_valinta/aurinkosahkojarjestelman\\_teho](https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/jarjestelman_valinta/aurinkosahkojarjestelman_teho)

Sähkö TK, (2021), Pörssisähkön hinta.

<https://sahko.tk/>

Pks, (2021) Pörssisähkön keskihinta.

[https://www.pks.fi/sahkotarjoukset/kotiin/sahkotuotteet/priima-alykkaampi-sahko/?gclid=CjwKCAjwmK6IBhBqEiwAocMc8qYM-CafPDpU3Cj5YSzopR7iW76zEvXp9j5hq6\\_Iz0gvY-jAj77saPPxoCUWgQAvD\\_BwE](https://www.pks.fi/sahkotarjoukset/kotiin/sahkotuotteet/priima-alykkaampi-sahko/?gclid=CjwKCAjwmK6IBhBqEiwAocMc8qYM-CafPDpU3Cj5YSzopR7iW76zEvXp9j5hq6_Iz0gvY-jAj77saPPxoCUWgQAvD_BwE)

PVGIS, PV Performance, (2021).

<https://ec.europa.eu/jrc/en/pvgis>

Sirén P, Projektien investointilaskelmat kurssin materiaali, Moodle.

STTinfo, HSY, (2016), jätevedenpuhdistamoon Suomen viidenneksi suurin aurinkovoimala.

<https://www.sttinfo.fi/tiedote/hsyn-jatevedenpuhdistamoon-suomen-viidenneksi-suurin-aurinkovoimala?publisherId=4346&releaseId=45383230>

Sulzer, (2021), Lautasilmastinjärjestelmän asennus, käyttö ja huolto-ohjeet.

Tahkokorpi, M. (2016) Aurinkoenergia suomessa.

Tilastokeskus. (2021) Sähkön hinta kuluttajatyypeittäin.

[https://www.tilastokeskus.fi/til/ehi/2021/01/ehi\\_2021\\_01\\_2021-06-10\\_kuv\\_005\\_fi.html](https://www.tilastokeskus.fi/til/ehi/2021/01/ehi_2021_01_2021-06-10_kuv_005_fi.html)

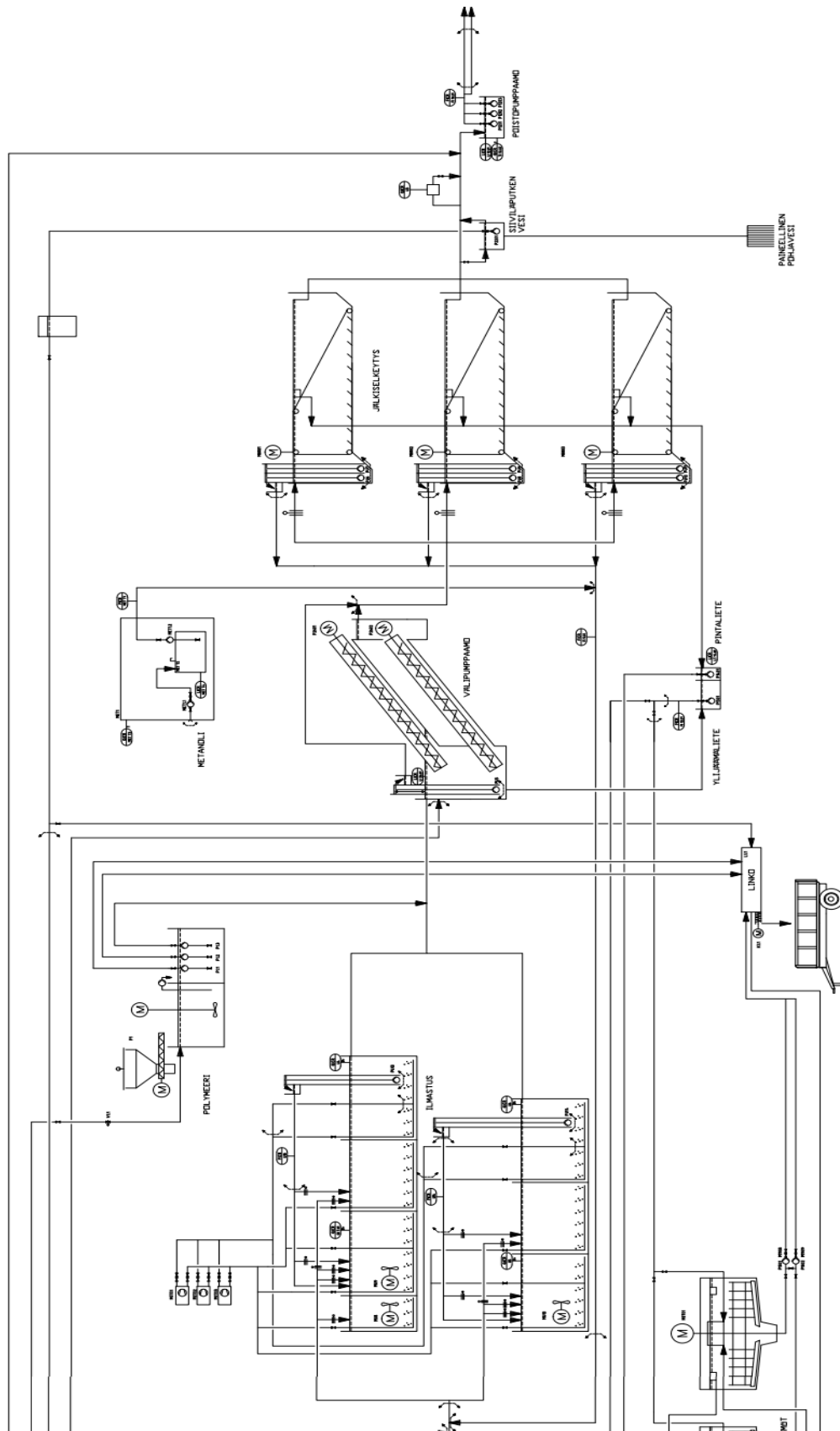
Tritonet oy, (2009). Puhdistamon kehittäminen.

Työ- ja elinkeinoministeriö, (2021). Energia ja investointituet. <https://tem.fi/energia-ja-investointituet>

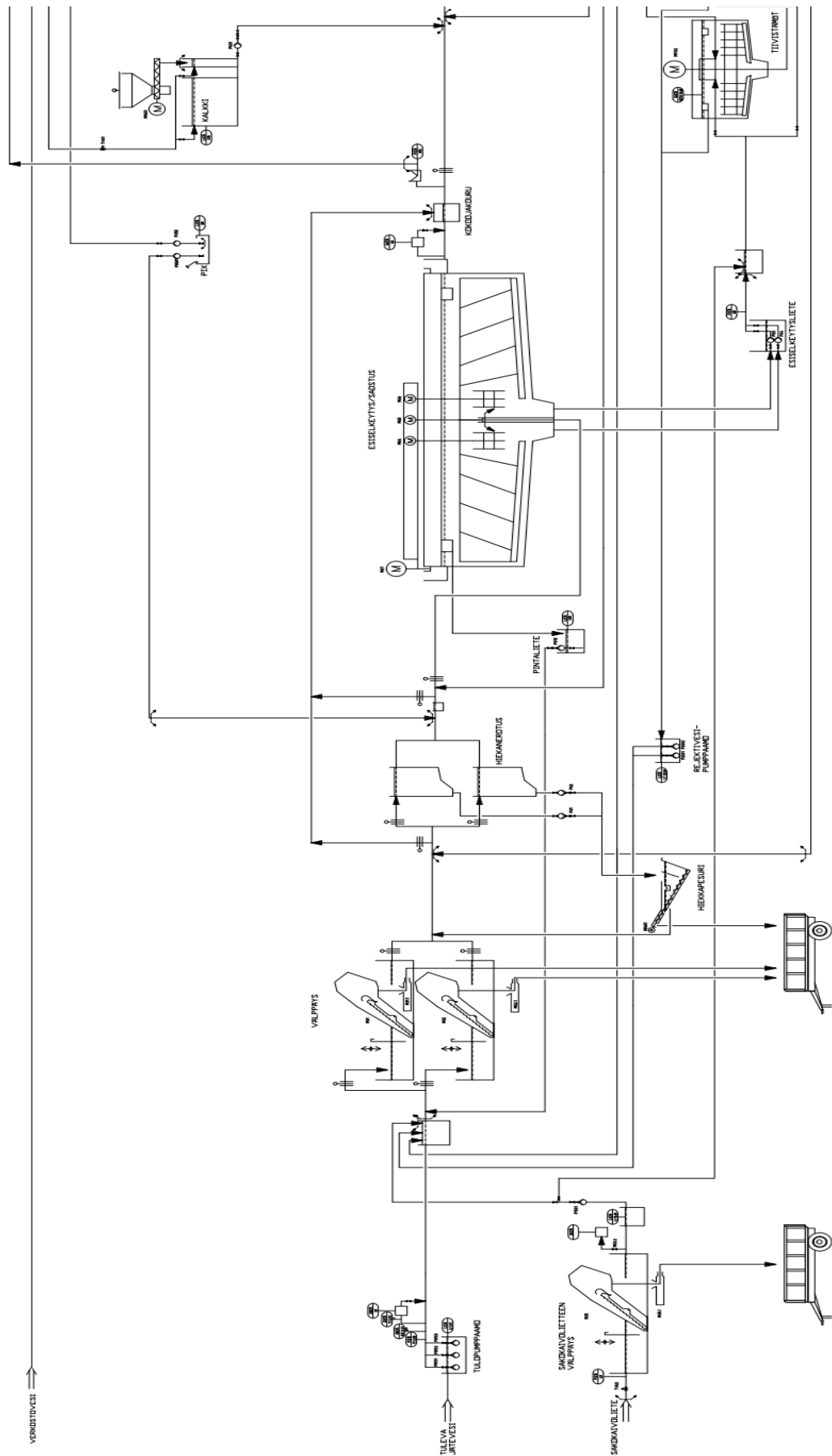
Vaasan hallinto-oikeus, (2015). Diaarinumero 01810/13/5110.

Vettenranta H, (2021), Sähködomino, Henkilökohtainen tiedonanto.

Wikipedia, 2021. <https://fi.wikipedia.org/wiki/Wikipedia:Etusivu>



Liite1, kuva1. Jätevedenpuhdistamon prosessikaavio. 2/2 (Kankaanpään kaupunki)



Liite 1, kuva 2. Jätevedenpuhdistamon prosessikaavio. 1/2 (Kankaanpään kaupunki)

**Tulopumppaamo.**

P0101: Tulopumppu.

P0102: Tulopumppu.

P0103: Tulopumppu. (vara)

MU3: Porrasvälppä, sakokaivoliete.

MU3.1: Välpepuristin, sakokaivoliete.

P01501: Sakokaivolietepumppu.

PP1: Poistopuhallin.

**Välppäys.**

MU1: Välppä.

MU2: Välppä.

P2301: Rejektivesipumppu.

P2032: Rejektivesipumppu.

**Esiselkeyty.**

MU4: Hämmennin.

MU5: Hämmennin.

MU6: Hämmennin.

MU7: Laahain.

PU3: Lietepumppu.

PU4: Lietepumppu.

PU12: Pintalietepumppu.

**Ilmastus.**

MU8: Sekoittaja.

MU9: Sekoittaja.

MU10: Sekoittaja.

PU13: Kierrätyslietepumppu.

PU14: Kierrätyslietepumppu.

M0701: Kompressori.

M0702: Kompressori.

M0703: Kompressori.

**Jälkiselkeyty.**

PU5: Välipumppaamo, potkuripumppu.

PU6-11: Palautuslietepumppu.

M0801: Laahain.



M0802: Laahain.

M0803: Laahain.

P2601: Ruuvipumppu.

P2602: Ruuvipumppu.

P1301: Ylijäämälietepumppu.

P1401: Pintalietepumppu.

### **Tiivistämö.**

M1702: Sekoittaja.

M1701: Sekoittaja.

P1802: Lietepumppu.

P1801: Lietepumppu.

L1.1: Linko.

M1.1: Lietepressi.

M1.2: Hydraulikoneisto.

### **Kemikalointi.**

P0501: Kemikaalipumppu. (Esiselkeytyks)

PU32: Kemikaalipumppu. (Jälkiselkeytyks)

M1601: Kalkinannostelija.

M1902: Polymeerinannostelija.

M1906: Polymeerin sekoitin.

P1905: Polymeerin siirtopumppu.

P1.1: Polymeeripumppu. (Linko)

P1.2: Polymeeripumppu. (Linko)

P1.3: Polymeeripumppu. (Välipumppaamo)

PU31: Kalkkivesipumppu.

### **Poistopumppaamo.**

P1201: Poistopumppu.

P1202: Poistopumppu.

P1203: Poistopumppu. (Vara)

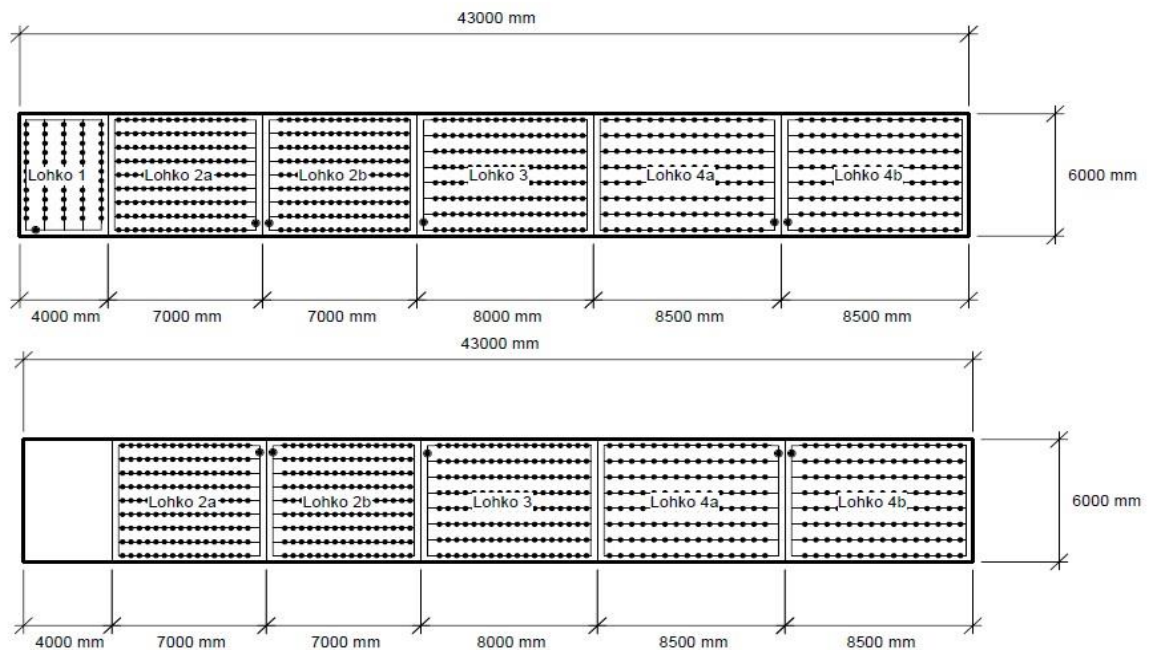
### **Prosessivesiasema.**

P2201: Teknisen veden pumppu.

P2202: Teknisen veden pumppu.

P1: Teknisen veden syöttöpumppu.

P2: Teknisen veden syöttöpumppu.

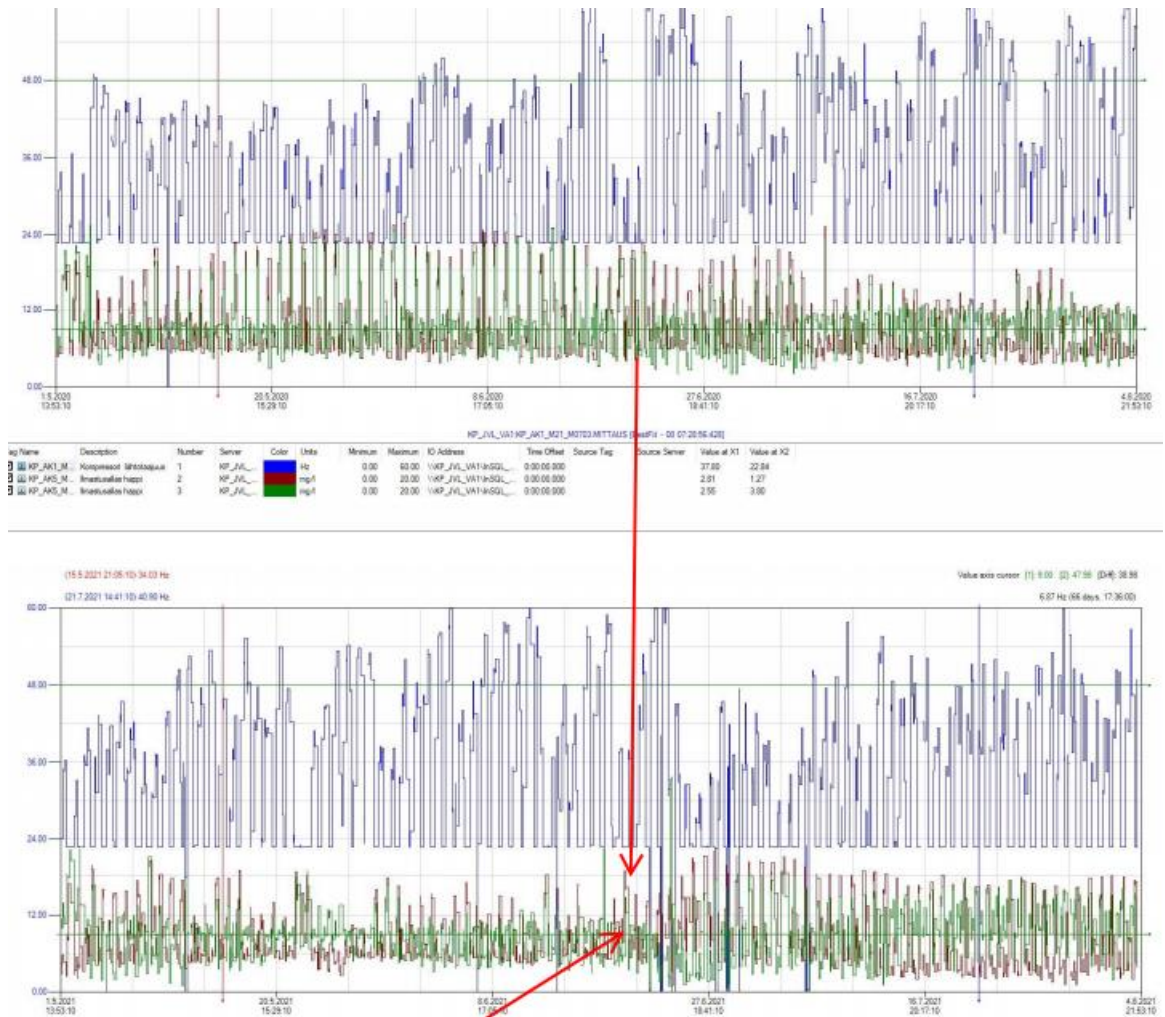


Lohkot 1, 2a ja 2b ovat anoksisia osia mutta talvella niissä ylläpidetään happea. Lohkot 3, 4a ja 4b ovat aerobisia osia, jossa ilmastus on käytössä ympäri vuoden ja sitä ohjataan tavoite happipitoisuudella.

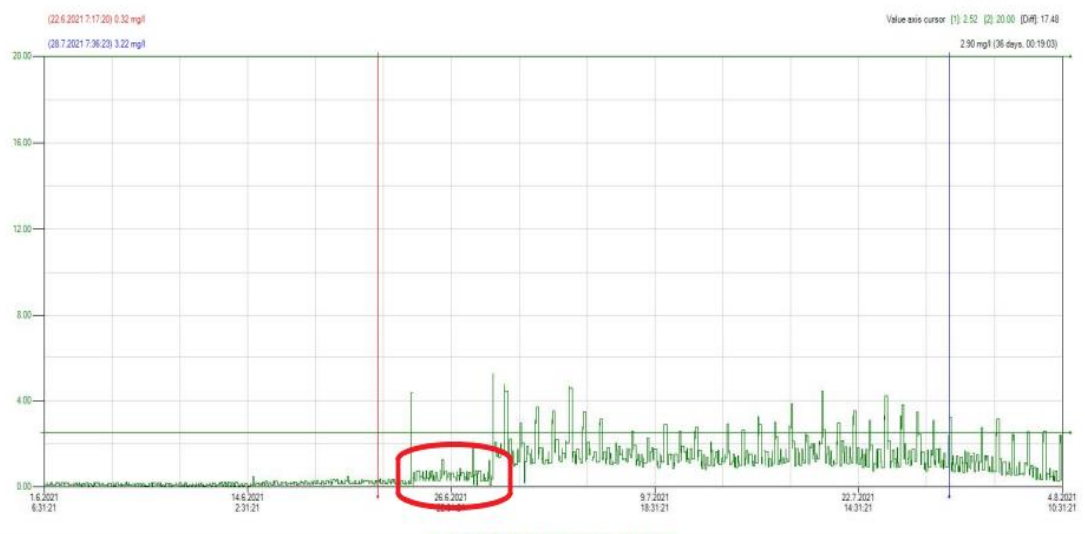
Kuvat lainattu Tritonet Oy:n tekemistä puhdistamon kehittämis projektin piirrustuksista.

Kuva 1. Allasjärjestys. (Tritonet Oy, 2009)

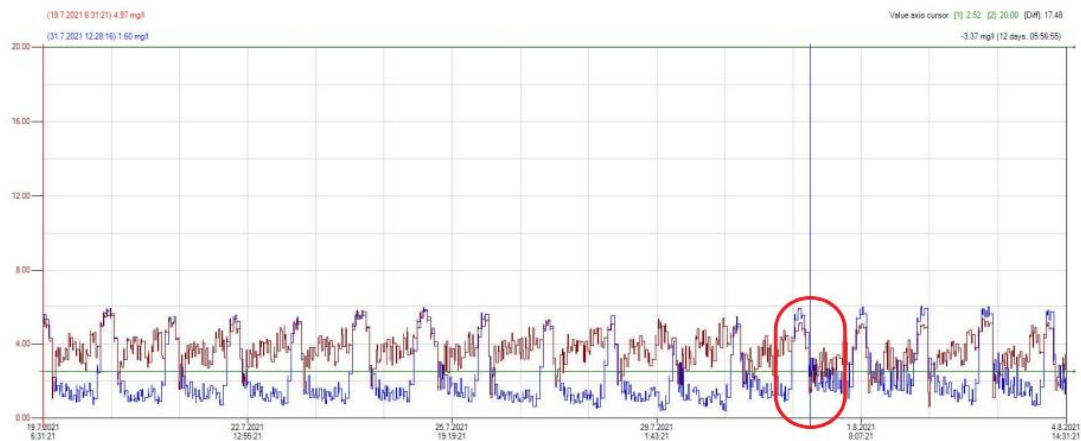
## LIITE 3



Liite 3, kuvaajat 1&2. Lohkojen 4a ja 4b happipitoisuus ja taajuus vuosina 20 ja 21 1.5–4.8.



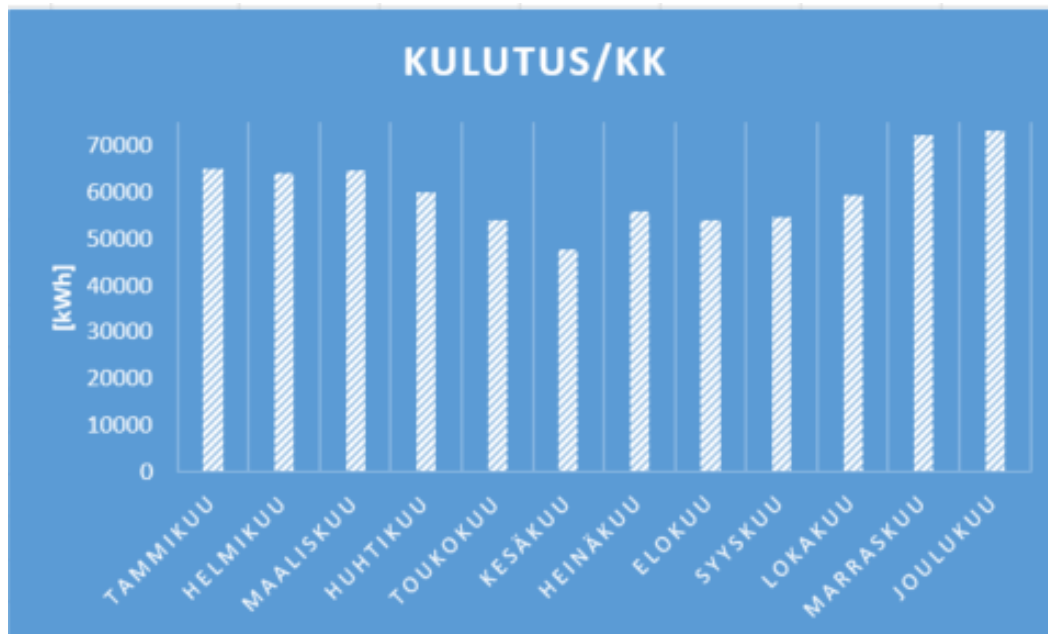
Liite 3, kuvaaja 3. Lohkojen 3a ja 3b happipitoisuus venttiilien aukaisun jälkeen.



Liite 3, kuvaaja 4. Ilmajakautuminen oikean ja vasemman lohkon välillä. Sininen viiva on vasemmanpuoleinen lohko.

Vuotoreiän halkaisija mm		Vuotomäärä 8 bar l/min	Kustannukset euroa/vuosi
1	●	75	290
1,5	●	150	580
2	●	260	1 000
3	●	600	2 320
4	●	1 100	4 260
5	●	1 700	6 580

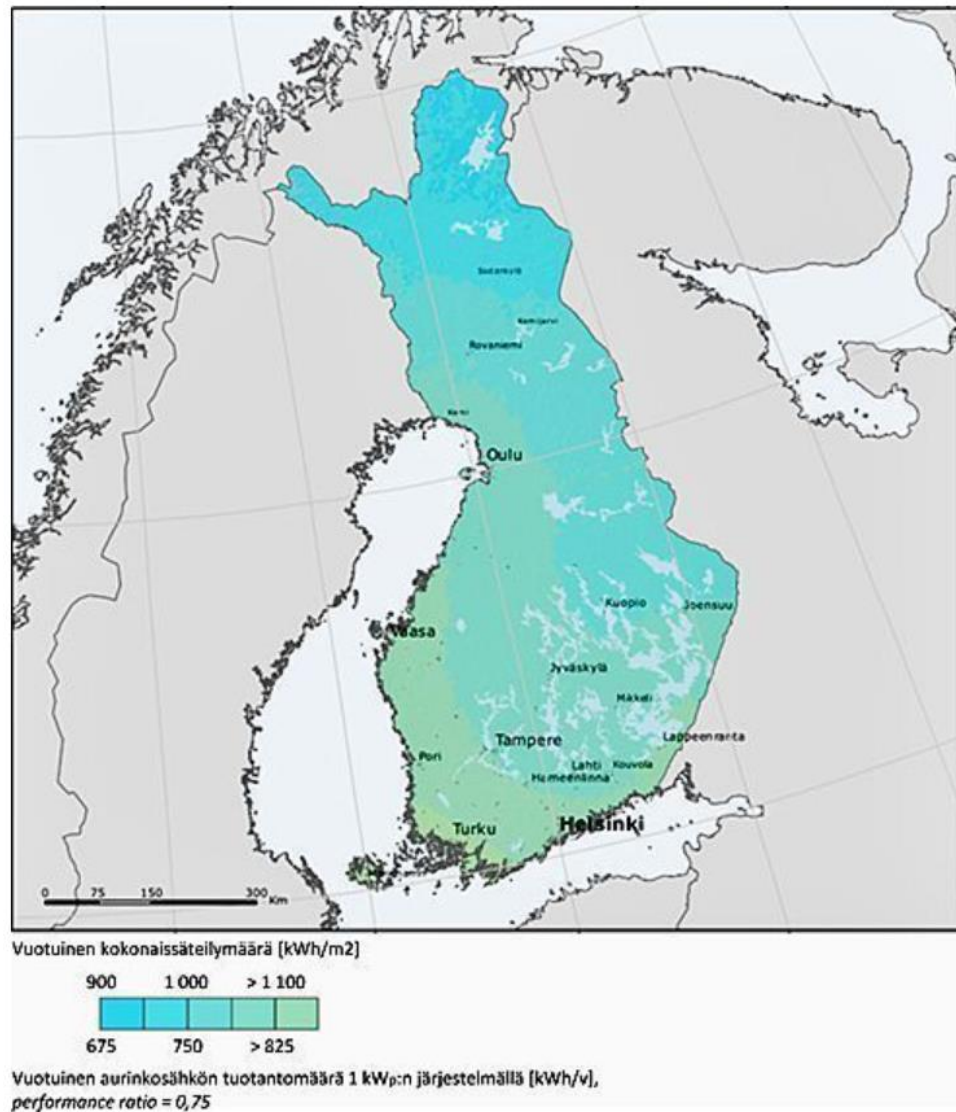
Kuva 1. Esimerkki vuodon koosta ja sen aiheuttamista kustannuksista.



Liite 4, kuvaaja 1. Jätevedenpuhdistamon kuukausittainen sähkönkulutus.



Liite 4, kuvaaja 2. Järjestelmien tuottoarviot.



Liite 5, kuva 1. Vuotuinen tuotto kWh/m<sup>2</sup>. (Motiva)



## LIITE 6

Korkokanta					Vuosi	Tulot		Menot		Netto		Nykyarvo
0,00 %					0	3361 €		92000 €		-88639 €		-88639,00 €
Tulot €/a					1	6722 €		2000 €		4722 €		4722,00 €
8641					2	6722 €		2000 €		4722 €		4722,00 €
Tuotonalenema 10v					3	6722 €		2000 €		4722 €		4722,00 €
90 %					4	6722 €		2000 €		4722 €		4722,00 €
Tuotonalenema 20v					5	6722 €		2000 €		4722 €		4722,00 €
80 %					6	6722 €		2000 €		4722 €		4722,00 €
Tuotonalenema 25v					7	6722 €		2000 €		4722 €		4722,00 €
75 %					8	6722 €		2000 €		4722 €		4722,00 €
Järjestelmän hinta					9	6722 €		2000 €		4722 €		4722,00 €
92000					10	6722 €		9200 €		-2478 €		-2478,00 €
Tuettuhinta					11	6049,8 €		2000 €		4049,8 €		4049,80 €
73600					12	6049,8 €		2000 €		4049,8 €		4049,80 €
					13	6049,8 €		2000 €		4049,8 €		4049,80 €
					14	6049,8 €		2000 €		4049,8 €		4049,80 €
					15	6049,8 €		2000 €		4049,8 €		4049,80 €
					16	6049,8 €		2000 €		4049,8 €		4049,80 €
					17	6049,8 €		2000 €		4049,8 €		4049,80 €
					18	6049,8 €		2000 €		4049,8 €		4049,80 €
					19	6049,8 €		2000 €		4049,8 €		4049,80 €
					20	5377,6 €		9200 €		-3822,4 €		-3822,40 €
					21	5377,6 €		2000 €		3377,6 €		3377,60 €
					22	5377,6 €		2000 €		3377,6 €		3377,60 €
					23	5377,6 €		2000 €		3377,6 €		3377,60 €
					24	5377,6 €		2000 €		3377,6 €		3377,60 €
					25	5041,5 €		2000 €		3041,5 €		3041,50 €
					26	5041,5 €		2000 €		3041,5 €		3041,50 €
					27	5041,5 €		2000 €		3041,5 €		3041,50 €
					28	5041,5 €		2000 €		3041,5 €		3041,50 €
					29	5041,5 €		2000 €		3041,5 €		3041,50 €
					30	5041,5 €		2000 €		3041,5 €		3041,50 €
				Jäännösarvo	30	9200 €		0 €		9200 €		9200,00 €
												24966,20

Liite 6, taulukko 1. 80 kWp järjestelmän nykyarvo.

Korkokanta					Vuosi	Tulot		Menot		Netto		Nykyarvo
0 %					0	4320,5 €		115000 €		-110679,5 €		-110679,5 €
Tulot €/a					1	8641 €		3000 €		5641 €		5641 €
8641					2	8641 €		3000 €		5641 €		5641 €
Tuotonalenema 10v					3	8641 €		3000 €		5641 €		5641 €
90 %					4	8641 €		3000 €		5641 €		5641 €
Tuotonalenema 20v					5	8641 €		3000 €		5641 €		5641 €
80 %					6	8641 €		3000 €		5641 €		5641 €
Tuotonalenema					7	8641 €		3000 €		5641 €		5641 €
75 %					8	8641 €		3000 €		5641 €		5641 €
					9	8641 €		3000 €		5641 €		5641 €
Järjestelmän hinta					10	7776,9 €		11500 €		-3723,1 €		-3723,1 €
115000					11	7776,9 €		3000 €		4776,9 €		4776,9 €
Tuettuhinta					12	7776,9 €		3000 €		4776,9 €		4776,9 €
92000					13	7776,9 €		3000 €		4776,9 €		4776,9 €
					14	7776,9 €		3000 €		4776,9 €		4776,9 €
					15	7776,9 €		3000 €		4776,9 €		4776,9 €
					16	7776,9 €		3000 €		4776,9 €		4776,9 €
					17	7776,9 €		3000 €		4776,9 €		4776,9 €
					18	7776,9 €		3000 €		4776,9 €		4776,9 €
					19	7776,9 €		3000 €		4776,9 €		4776,9 €
					20	6912,8 €		11500 €		-4587,2 €		-4587,2 €
					21	6912,8 €		3000 €		3912,8 €		3912,8 €
					22	6912,8 €		3000 €		3912,8 €		3912,8 €
					23	6912,8 €		3000 €		3912,8 €		3912,8 €
					24	6912,8 €		3000 €		3912,8 €		3912,8 €
					25	6480,75 €		3000 €		3480,75 €		3480,75 €
					26	6480,75 €		3000 €		3480,75 €		3480,75 €
					27	6480,75 €		3000 €		3480,75 €		3480,75 €
					28	6480,75 €		3000 €		3480,75 €		3480,75 €
					29	6480,75 €		3000 €		3480,75 €		3480,75 €
					30	6480,75 €		3000 €		3480,75 €		3480,75 €
				Nykyarvo	30	11500 €		0 €		11500 €		11500 €
												22807

Liite 6, taulukko 2. 100 kWp järjestelmän nykyarvo.

Tuotto €			Vuosi	Tulot	Menot	Netto	Nykyarvo
18424			0	9212	315100	-305888	-305888
Korko			1	18424	5000	13424	13424
0,00 %			2	18424	5000	13424	13424
Tuotonalenema 10v			3	18424	5000	13424	13424
90 %			4	18424	5000	13424	13424
Tuotonalenema 20v			5	18424	5000	13424	13424
80 %			6	18424	5000	13424	13424
Tuotonalenema 25v			7	18424	5000	13424	13424
75 %			8	18424	5000	13424	13424
Järjestelmän hinta			9	18424	5000	13424	13424
315100			10	16581,6	31510	-14928,4	-14928,4
Tuettu hinta			11	16581,6	5000	11581,6	11581,6
252080			12	16581,6	5000	11581,6	11581,6
			13	16581,6	5000	11581,6	11581,6
			14	16581,6	5000	11581,6	11581,6
			15	16581,6	5000	11581,6	11581,6
			16	16581,6	5000	11581,6	11581,6
			17	16581,6	5000	11581,6	11581,6
			18	16581,6	5000	11581,6	11581,6
			19	16581,6	5000	11581,6	11581,6
			20	14739,2	31510	-16770,8	-16770,8
			21	14739,2	5000	9739,2	9739,2
			22	14739,2	5000	9739,2	9739,2
			23	14739,2	5000	9739,2	9739,2
			24	14739,2	5000	9739,2	9739,2
			25	13818	5000	8818	8818
			26	13818	5000	8818	8818
			27	13818	5000	8818	8818
			28	13818	5000	8818	8818
			29	13818	5000	8818	8818
			30	13818	5000	8818	8818
		Nykyarvo	30	31510	0	31510	31510
							10838

Liite 6, taulukko 3. 274 kWp nykyarvo.



# LIITE 7

Hz	V	A	W	kW	m3/h	m3/min	m3/s	l/s	J/l
15	120,9	48,9	8711,4	8,7	386,35	6,44	0,10732	107,32	81,172
16	129,0	49,5	9405,4	9,4	426,22	7,10	0,118393	118,3933	79,44191
17	137,0	50,1	10113,6	10,1	466,08	7,77	0,129467	129,4667	78,11744
18	145,1	50,7	10836,0	10,8	505,94	8,43	0,14054	140,54	77,1027
19	153,1	51,3	11572,6	11,6	545,81	9,10	0,151613	151,6133	76,32983
20	161,2	51,9	12323,4	12,3	585,67	9,76	0,162687	162,6867	75,74944
21	169,2	52,5	13088,4	13,1	625,54	10,43	0,17376	173,76	75,32474
22	177,3	53,1	13867,6	13,9	665,40	11,09	0,184833	184,8333	75,02773
23	185,4	53,7	14661,0	14,7	705,26	11,75	0,195907	195,9067	74,83678
24	193,4	54,3	15468,6	15,5	745,13	12,42	0,20698	206,98	74,73485
25	201,5	54,9	16290,4	16,3	784,99	13,08	0,218053	218,0533	74,70838
26	209,5	55,5	17126,4	17,1	824,86	13,75	0,229127	229,1267	74,74644
27	217,6	56,1	17976,6	18,0	864,72	14,41	0,2402	240,2	74,84009
28	225,6	56,7	18841,0	18,8	904,58	15,08	0,251273	251,2733	74,98199
29	233,7	57,3	19719,6	19,7	944,45	15,74	0,262347	262,3467	75,16604
30	241,7	57,9	20612,3	20,6	984,31	16,41	0,27342	273,42	75,3871
31	249,8	58,5	21519,3	21,5	1024,18	17,07	0,284493	284,4933	75,64086
32	257,8	59,1	22440,5	22,4	1064,04	17,73	0,295567	295,5667	75,92363
33	265,9	59,7	23375,9	23,4	1103,90	18,40	0,30664	306,64	76,23229
34	274,0	60,3	24325,4	24,3	1143,77	19,06	0,317713	317,7133	76,56412
35	282,0	60,9	25289,2	25,3	1183,63	19,73	0,328787	328,7867	76,91678
36	290,1	61,5	26267,2	26,3	1223,50	20,39	0,33986	339,86	77,28823
37	298,1	62,1	27259,3	27,3	1263,36	21,06	0,350933	350,9333	77,6767
38	306,2	62,7	28265,7	28,3	1303,22	21,72	0,362007	362,0067	78,08062
39	314,2	63,3	29286,3	29,3	1343,09	22,38	0,37308	373,08	78,49862
40	322,3	63,9	30321,0	30,3	1382,95	23,05	0,384153	384,1533	78,92948
41	330,3	64,5	31370,0	31,4	1422,82	23,71	0,395227	395,2267	79,37212
42	338,4	65,1	32433,1	32,4	1462,68	24,38	0,4063	406,3	79,82558
43	346,5	65,7	33510,5	33,5	1502,54	25,04	0,417373	417,3733	80,28899
44	354,5	66,3	34602,0	34,6	1542,41	25,71	0,428447	428,4467	80,76158
45	362,6	66,9	35707,8	35,7	1582,27	26,37	0,43952	439,52	81,24267
46	370,6	67,5	36827,7	36,8	1622,14	27,04	0,450593	450,5933	81,73162
47	378,7	68,1	37961,9	38,0	1662,00	27,70	0,461667	461,6667	82,22786
48	386,7	68,7	39110,2	39,1	1701,86	28,36	0,47274	472,74	82,73089
49	394,8	69,3	40272,7	40,3	1741,73	29,03	0,483813	483,8133	83,24024
50	402,8	69,9	41449,5	41,4	1781,59	29,69	0,494887	494,8867	83,75549
51	410,9	70,5	42640,4	42,6	1821,46	30,36	0,50596	505,96	84,27624
52	418,9	71,1	43845,5	43,8	1861,32	31,02	0,517033	517,0333	84,80215
53	427,0	71,7	45064,9	45,1	1901,18	31,69	0,528107	528,1067	85,33288
54	435,1	72,3	46298,4	46,3	1941,05	32,35	0,53918	539,18	85,86815
55	443,1	72,9	47546,1	47,5	1980,91	33,02	0,550253	550,2533	86,40768
56	451,2	73,5	48808,0	48,8	2020,78	33,68	0,561327	561,3267	86,95121
57	459,2	74,1	50084,2	50,1	2060,64	34,34	0,5724	572,4	87,49852
58	467,3	74,7	51374,5	51,4	2100,50	35,01	0,583473	583,4733	88,04938
59	475,3	75,3	52679,0	52,7	2140,37	35,67	0,594547	594,5467	88,60361
60	483,4	75,9	53997,7	54,0	2180,23	36,34	0,60562	605,62	89,16101

Liite 7, taulukko 1. 701 toimintapisteeet.

Hz	V	A	Teho W	TehokW	Tuotto m3/h	Tuottom3/min	m3/s	l/s	J/l	
15	122,26	45,55	8199	8,20	295,302	4,92	0,082028	82,02833	99,95691	
16	130,25	46,19	8857	8,86	336,642	5,61	0,093512	93,51167	94,71784	
17	138,25	46,82	9530	9,53	377,982	6,30	0,104995	104,995	90,76727	
18	146,24	47,46	10218	10,22	419,322	6,99	0,116478	116,4783	87,72411	
19	154,23	48,10	10921	10,92	460,662	7,68	0,127962	127,9617	85,34407	
20	162,22	48,73	11639	11,64	502,002	8,37	0,139445	139,445	83,46333	
21	170,22	49,37	12371	12,37	543,342	9,06	0,150928	150,9283	81,96791	
22	178,21	50,00	13119	13,12	584,682	9,74	0,162412	162,4117	80,77609	
23	186,20	50,64	13882	13,88	626,022	10,43	0,173895	173,895	79,82772	
24	194,19	51,27	14659	14,66	667,362	11,12	0,185378	185,3783	79,07756	
25	202,19	51,91	15452	15,45	708,702	11,81	0,196862	196,8617	78,49092	
26	210,18	52,55	16259	16,26	750,042	12,50	0,208345	208,345	78,04077	
27	218,17	53,18	17082	17,08	791,382	13,19	0,219828	219,8283	77,70571	
28	226,16	53,82	17919	17,92	832,722	13,88	0,231312	231,3117	77,4686	
29	234,16	54,45	18772	18,77	874,062	14,57	0,242795	242,795	77,31555	
30	242,15	55,09	19639	19,64	915,402	15,26	0,254278	254,2783	77,23516	
31	250,14	55,72	20522	20,52	956,742	15,95	0,265762	265,7617	77,21803	
32	258,13	56,36	21419	21,42	998,082	16,63	0,277245	277,245	77,25628	
33	266,12	57,00	22331	22,33	1039,422	17,32	0,288728	288,7283	77,34331	
34	274,12	57,63	23258	23,26	1080,762	18,01	0,300212	300,2117	77,47352	
35	282,11	58,27	24201	24,20	1122,102	18,70	0,311695	311,695	77,64215	
36	290,10	58,90	25158	25,16	1163,442	19,39	0,323178	323,1783	77,84509	
37	298,09	59,54	26130	26,13	1204,782	20,08	0,334662	334,6617	78,07881	
38	306,09	60,18	27117	27,12	1246,122	20,77	0,346145	346,145	78,34025	
39	314,08	60,81	28119	28,12	1287,462	21,46	0,357628	357,6283	78,62674	
40	322,07	61,45	29136	29,14	1328,802	22,15	0,369112	369,1117	78,93594	
41	330,06	62,08	30168	30,17	1370,142	22,84	0,380595	380,595	79,26579	
42	338,06	62,72	31215	31,22	1411,482	23,52	0,392078	392,0783	79,61449	
43	346,05	63,35	32277	32,28	1452,822	24,21	0,403562	403,5617	79,98041	
44	354,04	63,99	33354	33,35	1494,162	24,90	0,415045	415,045	80,36214	
45	362,03	64,63	34446	34,45	1535,502	25,59	0,426528	426,5283	80,7584	
46	370,03	65,26	35553	35,55	1576,842	26,28	0,438012	438,0117	81,16804	
47	378,02	65,90	36674	36,67	1618,182	26,97	0,449495	449,495	81,59003	
48	386,01	66,53	37811	37,81	1659,522	27,66	0,460978	460,9783	82,02346	
49	394,00	67,17	38963	38,96	1700,862	28,35	0,472462	472,4617	82,46749	
50	402,00	67,81	40129	40,13	1742,202	29,04	0,483945	483,945	82,92137	
51	409,99	68,44	41311	41,31	1783,542	29,73	0,495428	495,4283	83,3844	
52	417,98	69,08	42508	42,51	1824,882	30,41	0,506912	506,9117	83,85598	
53	425,97	69,71	43719	43,72	1866,222	31,10	0,518395	518,395	84,33552	
54	433,97	70,35	44946	44,95	1907,562	31,79	0,529878	529,8783	84,82252	
55	441,96	70,98	46187	46,19	1948,902	32,48	0,541362	541,3617	85,3165	
56	449,95	71,62	47444	47,44	1990,242	33,17	0,552845	552,845	85,81702	
57	457,94	72,26	48715	48,71	2031,582	33,86	0,564328	564,3283	86,32368	
58	465,93	72,89	50001	50,00	2072,922	34,55	0,575812	575,8117	86,83613	
59	473,93	73,53	51303	51,30	2114,262	35,24	0,587295	587,295	87,354	
60	481,92	74,16	52619	52,62	2155,602	35,93	0,598778	598,7783	87,87701	

Liite 7, taulukko 2. 702 toimintapisteet.



HZ	V	A	W	kW	m3/h	m3/min	m3/s	l/s	l/l	
	20	161,88	48,42	11403,63	11,40	605,022	10,08	0,17	168,06	67,85
	21	169,79	48,54	11990,60	11,99	644,544	10,74	0,18	179,04	66,97
	22	177,69	48,66	12580,39	12,58	684,066	11,40	0,19	190,02	66,21
	23	185,59	48,79	13173,02	13,17	723,588	12,06	0,20	201,00	65,54
	24	193,49	48,91	13768,47	13,77	763,11	12,72	0,21	211,98	64,95
	25	201,39	49,03	14366,75	14,37	802,632	13,38	0,22	222,95	64,44
	26	209,29	49,16	14967,86	14,97	842,154	14,04	0,23	233,93	63,98
	27	217,19	49,28	15571,79	15,57	881,676	14,69	0,24	244,91	63,58
	28	225,09	49,40	16178,56	16,18	921,198	15,35	0,26	255,89	63,23
	29	233,00	49,52	16788,15	16,79	960,72	16,01	0,27	266,87	62,91
	30	240,90	49,65	17400,57	17,40	1000,24	16,67	0,28	277,85	62,63
	31	248,80	49,77	18015,82	18,02	1039,76	17,33	0,29	288,82	62,38
	32	256,70	49,89	18633,89	18,63	1079,29	17,99	0,30	299,80	62,15
	33	264,60	50,02	19254,79	19,25	1118,81	18,65	0,31	310,78	61,96
	34	272,50	50,14	19878,53	19,88	1158,33	19,31	0,32	321,76	61,78
	35	280,40	50,26	20505,08	20,51	1197,85	19,96	0,33	332,74	61,63
	36	288,30	50,39	21134,47	21,13	1237,37	20,62	0,34	343,72	61,49
	37	296,20	50,51	21766,69	21,77	1276,9	21,28	0,35	354,69	61,37
	38	304,11	50,63	22401,73	22,40	1316,42	21,94	0,37	365,67	61,26
	39	312,01	50,75	23039,60	23,04	1355,94	22,60	0,38	376,65	61,17
	40	319,91	50,88	23680,30	23,68	1395,46	23,26	0,39	387,63	61,09
	41	327,81	51,00	24323,83	24,32	1434,98	23,92	0,40	398,61	61,02
	42	335,71	51,12	24970,18	24,97	1474,51	24,58	0,41	409,59	60,96
	43	343,61	51,25	25619,36	25,62	1514,03	25,23	0,42	420,56	60,92
	44	351,51	51,37	26271,37	26,27	1553,55	25,89	0,43	431,54	60,88
	45	359,41	51,49	26926,21	26,93	1593,07	26,55	0,44	442,52	60,85
	46	367,32	51,62	27583,88	27,58	1632,59	27,21	0,45	453,50	60,82
	47	375,22	51,74	28244,37	28,24	1672,12	27,87	0,46	464,48	60,81
	48	383,12	51,86	28907,70	28,91	1711,64	28,53	0,48	475,46	60,80
	49	391,02	51,98	29573,85	29,57	1751,16	29,19	0,49	486,43	60,80
	50	398,92	52,11	30242,82	30,24	1790,68	29,84	0,50	497,41	60,80
	51	406,82	52,23	30914,63	30,91	1830,2	30,50	0,51	508,39	60,81
	52	414,72	52,35	31589,26	31,59	1869,73	31,16	0,52	519,37	60,82
	53	422,62	52,48	32266,73	32,27	1909,25	31,82	0,53	530,35	60,84
	54	430,53	52,60	32947,02	32,95	1948,77	32,48	0,54	541,33	60,86
	55	438,43	52,72	33630,13	33,63	1988,29	33,14	0,55	552,30	60,89
	56	446,33	52,85	34316,08	34,32	2027,81	33,80	0,56	563,28	60,92
	57	454,23	52,97	35004,85	35,00	2067,34	34,46	0,57	574,26	60,96
	58	462,13	53,09	35696,45	35,70	2106,86	35,11	0,59	585,24	60,99
	59	470,03	53,21	36390,88	36,39	2146,38	35,77	0,60	596,22	61,04
	60	477,93	53,34	37088,14	37,09	2185,9	36,43	0,61	607,20	61,08

Liite 7, taulukko 3. 703 toimintapisteet.

**Tekniset tiedot****AC Jännite**

Alue	Resoluutio	Tarkkuus
2.000V	1mV	±1.0% + 3
20.00V	10mV	±1.0% + 3
200.0V	100mV	±1.0% + 3
600V	1V	±1.2% + 3

**DC Jännite**

Alue	Resoluutio	Tarkkuus
200.0mV	0,1mV	±0.7% + 5
2.000V	1mV	±0.7% + 3
20.00V	10mV	±0.7% + 3
200.0V	100mV	±0.7% + 3
600V	1V	±0.7% + 3

**Resistanssi**

Alue	Resoluutio	Tarkkuus
200.0Ω	0.1Ω	±1.0% + 2
2.000kΩ	1Ω	±1.0% + 2
20.00kΩ	10Ω	±1.0% + 2
200.0kΩ	100Ω	±1.0% + 2
2.000MΩ	1kΩ	±1.2% + 3
20.00MΩ	10kΩ	±1.2% + 3

**AC Virta**

Alue	Resoluutio	Tarkkuus
2.000A	1mA	±3.0% + 10
20.00A	10mA	±2.5% + 8
100.0A	100mA	±2.5% + 5

**DC Virta**

Alue	Resoluutio	Tarkkuus
2.000A	1mA	±2.0% + 8
20.00A	10mA	±2.0% + 3
100.0A	100mA	±2.0% + 3

**Kapasitanssi**

Alue	Resoluutio	Tarkkuus
2nF	1pF	±4.0% + 10
20nF - 200.0μF	10pF - 100nF	±4.0% + 5
2.000 - 20.00mF	1μF - 10μF	±10%

Mitat 175 x 60 x 34mm, paino n. 180g

Liite 8, taulukko 1. Trifitec- mittarin tekniset tiedot.

**LIITE A:**

**Tekniset tiedot**

**Nopeus (kuumalanka):**

<b>Mittausalue</b>	0- 50 m/s
<b>Tarkkuus</b> <sup>1&amp;2</sup>	± 3% lukemasta tai ± 0,015 m/s, kumpi suurempi
<b>Resoluutio</b>	0,01 m/s

**Nopeus (Pitot):**

<b>Mittausalue</b>	1,27- 78,7 m/s
<b>Tarkkuus</b> <sup>1&amp;2</sup>	± 1,5% lukemasta nopeudella 10,16 m/s
<b>Resoluutio</b>	0,01 m/s

<b>Kanavan koko</b>	1- 635 cm, 0,1 cm:n välein
---------------------	----------------------------

**Tilavuusvirta:**

<b>Mittausalue</b>	Käytettävissä oleva alue on nopeuden ja kanavakoon funktio tai paineen ja k-kertoimen funktio.
--------------------	--

**Kuumalanka-anturi (kosteudenmittauksella)**

**Lämpötila:**

<b>Alue</b>	-10...60 °C
<b>Tarkkuus</b> <sup>5</sup>	± 0,3 °C
<b>Resoluutio</b>	0,1 °C

**Kosteus:**

<b>Alue</b>	10-95% s.k.
<b>Tarkkuus</b> <sup>6</sup>	± 3% s.k.
<b>Resoluutio</b>	0,1 % s.k.

**Märkälämpötila:**

<b>Alue</b>	5-60 °C
<b>Resoluutio</b>	0,1 °C

**Kastepiste:**

<b>Alue</b>	-15...49 °C
<b>Resoluutio</b>	0,1 °C

**Lämpöteho:**

<b>Alue</b>	Nopeuden, lämpötilan, kosteuden ja barometrisen paineen funktio.
-------------	--