

Tanja Väärä

# JÄTEVEDENPUHDISTAMON VÄHÄHIILISYYS

Hule- ja vuotovesien vaikutukset puhdistamon  
energiansäilytykseen ja hiilijalanjälkeen

Opinnäytetyö

Tekniikan ammattikorkeakoulututkinto

Ympäristötekniikan koulutus

2026



**Kaakkois-Suomen  
ammattikorkeakoulu**

Tutkintonimike	Insinööri (AMK)
Tekijä/Tekijät	Tanja Väärä
Työn nimi	Jätevedenpuhdistamon vähähiilisyys – Hule- ja vuotovesien vaikutukset puhdistamon energiankulutukseen ja hiilijalanjälkeen
Toimeksiantaja	Arctic Water Excellence-hanke
Vuosi	2026
Sivut	38 sivua
Työn ohjaaja(t)	Tuija Ranta-Korhonen, Niina Laurila

## TIIVISTELMÄ

Vesihuollolle on annettu tavoitteeksi saavuttaa hiilineutraalius vuoteen 2030 mennessä ja energianeutraalius vuoteen 2040 mennessä. Suomessa on tällä hetkellä 350 jätevedenpuhdistamoa, joiden tulisi päästä tähän tavoitteeseen. Kasvihuonepäästöjen vähentäminen on avainasemassa tavoitteiden saavuttamisessa. Energiankulutuksen vähentäminen pienentää kasvihuonepäästöjen määrää.

Tässä opinnäytetyössä tutkittiin, kuinka hule- ja vuotovedet vaikuttavat kahden eri kokoisien jätevedenpuhdistamon energiankulutukseen. Lisäksi laskettiin hule- ja vuotovesien puhdistukseen kulutetun energian hiilijalanjälki. Molemmat puhdistamot kuuluvat Mikkelin vesilaitokselle. Metsä-Sairilan puhdistamo on kokoluokaltaan suuri puhdistamo, ja Ristiinan jätevedenpuhdistamo on kokoluokaltaan pieni puhdistamo.

Laskennassa käytettiin Mikkelin vesilaitokselta saatuja tietoja jätevedenpuhdistamojen virtaamasta, verkostoon pumpatun puhtaan veden määrästä, suoraan puhdistamolle tuotujen sakokaivolietteiden määrästä ja puhdistamojen energiankulutuksesta. Tietoja oli 11 kuukauden ajalta. Hiilijalanjälkilaskennassa hyödynnettiin sähkönkulutuksen päästökerrointa.

Hule- ja vuotovesien osuus kaikesta puhdistetusta jätevedestä oli Metsä-Sairilan jätevedenpuhdistamolla noin 18 %. Niiden puhdistamiseen käytettiin energiaa yhteensä noin 521 420 kWh. Kulutetun energian hiilijalanjälki oli noin 15 380 kgCO<sub>2</sub>eq. Ristiinan jätevedenpuhdistamolla hule- ja vuotovesien osuus kaikesta puhdistetusta jätevedestä oli noin 29 %. Niiden puhdistukseen käytettiin energiaa 59 730 kWh. Kulutetun energian hiilijalanjälki oli noin 1 760 kgCO<sub>2</sub>eq.

Jätevedenpuhdistamojen energiankulutusta ja hiilijalanjälkeä voidaan pienentää estämällä hule- ja vuotovesien kulkeutuminen jätevedenpuhdistamolle. Hulevesien käsittely niiden syntypaikalla ja erilaiset hulevesirakenteet vähentävät jätevedenpuhdistamojen hulevesikuormitusta. Huonokuntoisten viemäri-rakenteiden kunnostuksella ja jo olemassa olevien kunnossa olevien rakenteiden ylläpidolla voidaan ehkäistä vuotovesien päätyminen jätevedenpuhdistamoille.

**Asiasanat:** Hulevesi, vuotovesi, jätevedenpuhdistamo, hiilijalanjälki, energiankulutus

Degree title	Bachelor of Engineering
Author	Tanja Väärä
Thesis title	Low-carbon wastewater treatment plant – The impact of storm-water and infiltration water on the plant’s energy consumption and carbon footprint
Commissioned by	Arctic Water Excellence-Project
Time	2026
Pages	38 pages
Supervisor	Tuija Ranta-Korhonen, Niina Laurila

## ABSTRACT

Water services have been set a target of achieving carbon neutrality by 2030 and energy neutrality by 2040. Finland currently has 350 wastewater treatment plants that should reach these targets. Reducing greenhouse gas emissions is key to achieving them. Lowering energy consumption decreases the amount of greenhouse gas emissions.

This thesis examined how stormwater and infiltration water affect the energy consumption of two wastewater treatment plants of different sizes. In addition, the carbon footprint of the energy used to treat stormwater and infiltration water was calculated. Both plants belong to the Mikkeli water utility. The Metsä-Sairila plant is a large treatment facility, while the Ristiina wastewater treatment plant is small.

The calculations were based on data provided by the Mikkeli water utility on treatment plant inflows, volumes of clean water pumped into the network, amounts of septic sludge delivered directly to the plants, and the plants’ energy consumption. The data covered a period of 11 months. An emission factor for electricity consumption was used in the carbon footprint calculation.

At the Metsä-Sairila wastewater treatment plant, stormwater and infiltration water accounted for approximately 18% of all treated wastewater. Treating this share consumed about 521 420 kWh of energy, with a carbon footprint of approximately 15 380 kg CO<sub>2</sub>eq. At the Ristiina wastewater treatment plant, stormwater and infiltration water accounted for about 29% of all treated wastewater. Their treatment consumed 59 730 kWh of energy, with a carbon footprint of approximately 1 760 kg CO<sub>2</sub>eq.

The energy consumption and carbon footprint of wastewater treatment plants can be reduced by preventing stormwater and infiltration water from entering the plants. Managing stormwater at its source and using various stormwater structures reduce the stormwater load on treatment plants. Rehabilitating deteriorated sewer infrastructure and maintaining existing structures in good condition can prevent infiltration water from reaching wastewater treatment plants.

**Keywords:** stormwater, infiltration water, wastewater treatment, carbon footprint, energy consumption

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO .....	5
2	KUNNALLINEN JÄTEVEDEN PUHDISTUS SUOMESSA.....	6
3	MIKKELIN VESILAITOKSEN JÄTEVESIPUHDISTUS .....	8
3.1	Metsä-Sairilan jätevedenpuhdistamo .....	8
3.2	Ristiinan jätevedenpuhdistamo .....	10
4	HULE- JA VUOTOVEDET .....	11
5	LAINSÄÄDÄNTÖ .....	13
6	JÄTEVEDENPUHDISTAMON ENERGIANKULUTUS.....	14
7	HIILIJALANJÄLKI .....	16
8	HIILIJALANJÄLKI JÄTEVEDENPUHDISTUKSESSA.....	17
9	AINEISTO JA MENETELMÄT .....	19
9.1	Jätevedenpuhdistamon kokoluokittelu .....	19
9.2	Jätevedenpuhdistamoilla puhdistettu jätevesi.....	20
9.3	Talousvesiverkostoon pumpattu puhdas vesi ja sakokaivolietteet .....	21
9.4	Jätevedenpuhdistamojen hulevedet .....	23
9.5	Jätevedenpuhdistamojen energiankulutus.....	27
9.6	Energiankulutuksen hiilijalanjälki .....	29
10	TULOKSET.....	30
11	TULOSTEN TULKINTA .....	31
12	JOHTOPÄÄTÖKSET .....	33
	LÄHTEET.....	34

## 1 JOHDANTO

Suomessa puhdistetaan vuosittain 550 miljoonaa kuutiometriä jätevettä. Laitoksia on joka puolella Suomea, yhteensä noin 350 kappaletta. (Yhdyskuntajätevesien aiheuttama vesistökuormitus 2022.) Jätevedenpuhdistamoille kulkeutuu puhdistettavan jäteveden lisäksi laskuttamatonta ja sinne kuulumatonta hule- ja vuotovettä. Vuosina 2020–2024 hule- ja vuotovesien osuus puhdistetusta jätevedestä oli vajaa puolet (Vesihuoltolaitosten tunnuslukujärjestelmän... 2025, 57). Hule- ja vuotovesillä on haitallisia vaikutuksia jätevedenpuhdistusprosessissa (Laitinen ym. 2014, 29–30). Lisäksi puhdistusprosessin aikana kuluu paljon sähköenergiaa. On arvioitu, että noin 30–60 % kuntien energiakulutuksesta kuluu jäteveden puhdistukseen. (Gurung ym. 2018, 668.)

Ilmastonmuutoksella on negatiivisia vaikutuksia ympäristöön ja luontoon. Näitä ovat esimerkiksi sään ääri-ilmiöiden ja luontokadon lisääntyminen. Kasvihuonepäästöjen vähentäminen on avainasemassa ilmastonmuutoksen hillitsemisessä. (Valli 2023.) Kasvihuonepäästöt koostuvat pääasiassa hiilidioksidista, metaanista ja typpioksiduulista (CO<sub>2</sub>-termit... s.a.). Jätevedenpuhdistamoilla energiankulutuksen osuus puhdistamojen aiheuttamista kasvihuonepäästöistä on noin 20 % (Lehtoranta ym. 2023, 3).

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on selvittää, kuinka paljon kahden eri koluokan jätevedenpuhdistamolla kuluu energiaa hule- ja vuotovesien puhdistukseen, ja mikä on käytetyn energian hiilijalanjälki. Lisäksi pohditaan, millä keinoilla jätevedenpuhdistamoille kulkeutuvien hulevesien määrää voitaisiin vähentää, ja näin ollen energiankulutuksen hiilijalanjälkeä pienentää.

Opinnäytetyön toimeksiantajana toimi Arctic Water Excellence -hanke (AWE), joka on Euroopan unionin osarahoittama. Tuen hankkeelle on myöntänyt Pohjois-Savon liitto. Hanketta hallinnoi Savonia ammattikorkeakoulu. Lisäksi sillä on kahdeksan osatoteuttajaa: Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu, LUT yliopisto, Geologian tutkimuskeskus, Terveystieteiden ja hyvinvoinnin laitos, Oulun yliopisto, Kajaanin ammattikorkeakoulu ja Teknologian tutkimuskeskus VYY Oy. (Arctic Water Excellence... s.a.)

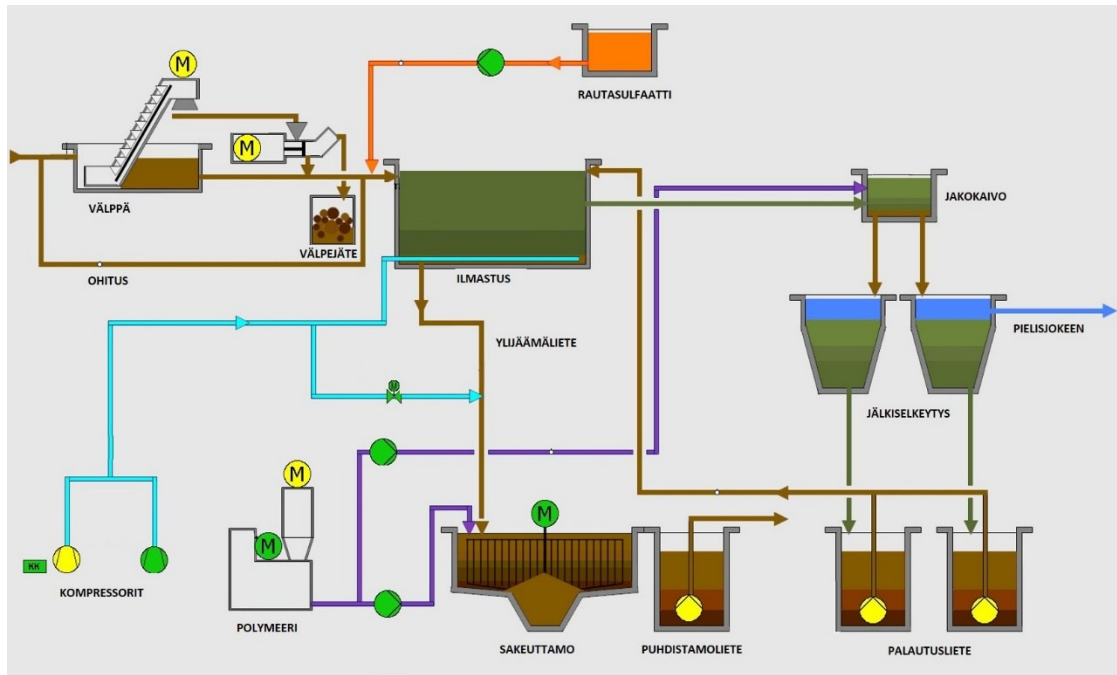
## 2 KUNNALLINEN JÄTEVEDEN PUHDISTUS SUOMESSA

Suomessa viemäreiden rakentaminen aloitettiin 1800-luvun lopulla. Ensimmäisenä niitä rakennettiin Viipuriin ja 1880-luvulla Helsinkiin. Aluksi viemärit johtivat jätevesiä suoraan läheisiin pintavesiin. Vedet alkoivat saastua ja herättiin siihen, että jätevedet tulisi puhdistaa ennen kuin ne lasketaan luontoon. Tänä päivänä kaikki viemärit johtavat jätevedenpuhdistamolle. (Mihin viemäri... 2019.)

Jätevesien puhdistusta tehdään noin 350 laitoksella ympäri Suomea. Määrällisesti jätevettä puhdistetaan noin 550 miljoonaa kuutiometriä. Tähän määrään sisältyy kotitalouksissa syntyvän jäteveden lisäksi pienyritysten ja palveluiden tuottamat jätevedet. Asukaskohtaisesti laskettuna jätevettä syntyy noin 320 litraa vuorokaudessa ja noin 116 800 litraa vuodessa. (Yhdyskuntajätevesien aiheuttama vesistökuormitus 2022.)

Suomea on kansainvälisellä mittapuulla pidetty edelläkävijänä vesihuoltoon liittyvissä asioissa. Jätevesiviemäriverkoston pituus on 50 000 kilometriä. Kuitenkin tästä määrästä noin 12 % on arvioitu olevan erittäin huonossa kunnossa. Vesihuoltolaitosten tulisikin olla selvillä toimintaansa vaikuttavista riskeistä sekä verkoston ja laitteiston pysymisestä kunnossa. Häiriötilanteiden varalta vesihuoltolaitoksilla on oltava suunnitelma vesihuoltopalveluiden turvaamiseksi (Vesihuollon haasteet s.a.)

Kunnallinen jätevesien puhdistus toteutetaan joka puolella hyvin samankaltaisesti. Yleisesti puhdistus koostuu kolmesta eri vaiheesta: mekaanisesta, biologisesta ja kemiallisesta käsittelystä. Käytössä voi myös olla näiden kolmen vaiheen erilaisia yhdistelmiä. (Jätevedenpuhdistamolla tapahtuu 2019; Laitinen ym. 2014, 42–53.) Uutena teknologiana on tullut käyttöön MBR-kalvosuodatus, jossa puhdas biologis-kemiallisesti käsitelty vesi erotetaan erittäin pienen huokoisen kalvon läpi. MBR-tekniikalla on saavutettu perinteisiä puhdistusmenetelmiä parempia puhdistustuloksia. Muualla MBR-prosessia on hyödynnetty jo paljon, mutta Suomessa tekniikka on suhteellisen uusi. (Muinonen s.a.) Kuvassa 1 on esitetty Enon jätevedenpuhdistamon prosessikaavio, jolla havainnollistetaan perinteistä puhdistusprosessia.



Kuva 1. Jätevedenpuhdistamon prosessikaavio (Enon jätevedenpuhdistamo s.a.)

Kun jätevesi saapuu puhdistamolle, ensimmäisenä tehdään mekaaninen käsittely. Vedestä poistetaan suuremmat kiinteät roskat, hiekka ja muut raskaammat hiukkaset. Jätevettä ilmastetaan, jonka jälkeen se siirretään biologiseen prosessiin. Biologisessa prosessissa on useimmiten käytössä aktiiviliettemenetelmä, joka perustuu mikrobien toimintaan lietteessä. Mikrobit sitovat jätevedessä esiintyviä lika-aineita itseensä, ja liete voidaan kerätä pois. Kemiallisessa käsittelyssä jäteveden puhdistusta tehostetaan lisäämällä veteen sopivaa kemikaalia, esimerkiksi ferrosulfaattia. Sillä saostetaan jätevedessä esiintyviä ravinteita. Viimeisenä jätevesi selkeytetään ennen kuin se lasketaan ulos laitoksesta. Purkupaikkoina toimivat erilaiset pintavedet, kuten meret, järvet tai joet. (Jätevedenpuhdistamolla tapahtuu 2019; Laitinen ym. 2014, 8, 42–53.)

Ylimääräistä puhdistamolietettä voidaan hyödyntää maataloudessa tai viherrakentamisessa. Ennen jatkokäyttöä lietteen tulee täyttää laatu- ja hygieniakriteerit. Se tulee käsitellä kompostoimalla, mädättämällä, vanhentamalla kemiallisesti tai kuumentamalla. Liete voidaan esimerkiksi ensin mädättää, sitten kompostoida ja lopulta käsitellä kompostimullaksi. Lietettä myös poltetaan, jolloin hyötykäyttöä ei varsinaisesti ole. (Yhdyskuntalietteen käsittelyn... 2021, 2, 14.)

### 3 MIKKELIN VESILAITOKSEN JÄTEVESIPUHDISTUS

Mikkelin alueella on viisi jätevedenpuhdistamoa, jotka puhdistavat vuosittain noin 4,4 miljoonaa m<sup>3</sup> jätevettä. Jätevesiviemäriverkoston pituus on noin 430 kilometriä. Suurin osa jätevesistä puhdistetaan Metsä-Sairilan puhdistamolla ja loput Haukivuoren, Anttolan, Ristiinan ja Suomenniemen puhdistamoilla. (Jätevedenpuhdistamot s.a.; Vesijohtoverkostot s.a.)

#### 3.1 Metsä-Sairilan jätevedenpuhdistamo

Metsä-Sairilan jätevedenpuhdistamo sijaitsee noin kuuden kilometrin päässä Mikkelin keskustasta. Laitos on otettu käyttöön toukokuussa 2021. Puhdistamo on louhittu kallion sisään, jolloin sään, melun, hajun ja valon aiheuttamat haitat on saatu minimoitua. Puhdistamon toimintaperiaate perustuu MBR-kalvosuodatusprosessiin. Puhdistusprosessi sisältää kuusi vaihetta: välppäys, hiekanerotus, hienovälppäys, esiselkeytys, ilmastus ja viimeisenä MBR-kalvosuodatus. Lopuksi puhdistettu jätevesi lasketaan vesistöön. (Ecosairila s.a.; Muinonen s.a.) Prosessin vaiheet on esitetty kuvassa 2.



Kuva 2. Metsä-Sairilan jätevedenpuhdistamon puhdistusprosessin vaiheet

Kun jätevesi saapuu puhdistamolle, puhdistaminen aloitetaan välppäyksellä. Siinä jätevedestä erotetaan suuremmat partikkelit. Välppäyksen jälkeen jätevedeen lisätään ferrosulfaattia, joka saostaa jätevedessä olevan fosforin.

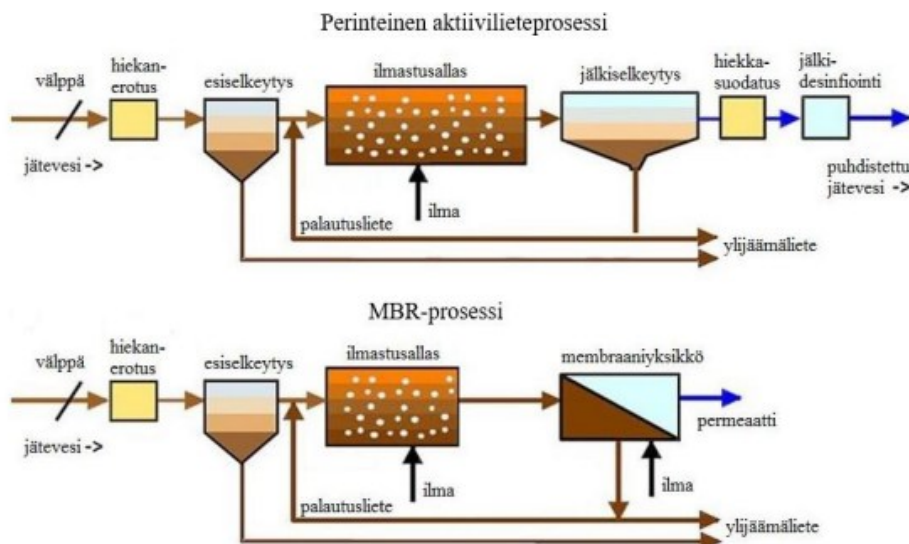
Jätevedet sisältävät hiekkaa ja rasvaa, jotka poistetaan hiekanerotuksessa ilmastamalla. Jätevesi on johdettu altaaseen, jonka toiselle laidalle ohjataan ilmaa altaan pohjasta. Hiekka laskeutuu altaan pohjalle ja kerätään sieltä pois. Pinnalle kertynyt rasva ja pintaliete kerätään pois altaan pinnasta.

Hiekanerotuksen jälkeen jätevesi ohjataan hienovälppäyksen läpi. Hienovälppäyksessä jätevedestä erotetaan kuidut ja osa orgaanisesta aineesta. Hienovälppäystä voidaan sekoittaa ylijäämälietteeseen ja ohjata lietteen käsittelyyn.

Hienovälppäyksen jälkeen jätevesi siirtyy kolmilinjaiseen esiselkeytykseen selkeytysaltaisiin. Esiselkeytyksessä poistetaan epäorgaanista kiintoainesta. Tarvittaessa esiselkeytystä voidaan ohittaa osittain ilmastukseen. Tällöin aktiivilieteosan hiili-typpisuhdetta pystytään säätämään, ja näin ollen typen poiston tehokkuutta voidaan optimoida ilman ulkopuolista hiililähdettä. Esiselkeytyksessä poistetaan pintalietettä, jotta pintaroskat, rasva ja muu kelluva aines ei jää häiritsemään biologisen prosessin toimintaa ja huonontamaan jäteveden laatua. Altaan pohjalle painuva liete kaavitaan pois ja pumpataan lietteenkäsittelyyn. Selkeytynyt vesi poistetaan altaan pinnalta. Seuraavaan vaiheeseen siirtyvään veteen lisätään myös tässä kohtaa ferrosulfaattia fosforin saostamiseksi. Esiselkeytetty ja esiselkeytyksen ohittanut vesi yhdistetään ja jaetaan tasaisesti käsittelylinjoille.

Esiselkeytyksen jälkeen vesi ohjataan kolmeen ilmastusaltaaseen, joista jokainen on jaettu kuuteen erilliseen lohkokon. Lohkoista osa on hapettomia ja osa ilmastettuja. Ilmastetuissa osissa ammoniumtyppi muuttuu nitraatiksi, ja se pelkistyy hapettomissa lohkoissa kaasumuotoiseksi typeksi. Typpikaasukuplat nousevat jäteveden pintaan ja haihtuvat ilmaan. Fosforin poistoa tehostetaan lisäämällä jätevetteen pieniä määriä polyalumiinikloridia.

Viimeinen puhdistusprosessin vaihe on MBR-kalvosuodatus. MBR-tekniikalla on pystytty korvaamaan perinteisiin jätevedenpuhdistusprosesseihin kuuluvat vaiheet: jälkiselkeytys, tertiäärikäsittely ja UV-desinfiointi. (Ecosairila s.a.) MBR-prosessin ja perinteisen aktiiviliete-prosessin ero on esitetty kuvassa 3.



Kuva 3. Perinteisen aktiiviliete-prosessin ja MBR-prosessin ero (Finnilä 2020, 12)

Prosessissa puhdistettu jätevesi erotetaan lietteestä suodattamalla se kalvon läpi paine-eroa hyödyntäen (Finnilä 2020, 12). Kalvosuodatusprosessi suodattaa jätevedestä kaiken lopun kiintoaineen, lähestulkoon kaikki mikrobit, mikro-  
muovit, sekä suuren osan lääkejäämistä. Tekniikka mahdollistaa vähäisen puhdistuskemikaalien kulutuksen. Lisäksi puhdistusyksikkö ei vaadi ulkoisia puhdistus tai huoltotöitä. Energiakulutus ja tehon häviöt ovat pieniä tehokkaan ilmapuhdistuksen ansiosta. MBR-kalvosuodatuksen jälkeen puhdistettu vesi lasketaan purkuputkea pitkin Saimaaseen Mikkelin Pappilanselälle. (Ecosairila s.a.)

### 3.2 Ristiinan jätevedenpuhdistamo

Ristiinan jätevedenpuhdistamo käsittelee Ristiinan kirkonkylän ja Pellosniemen taajaman jätevedet. Puhdistamon piirissä on noin 2 600 asukkaan jätevedet. Puhdistamo käsittelee kotitalouksien jätevesien lisäksi myös pieniä määriä teollisuuden jätevesiä. Puhdistamo on valmistunut vuonna 1978, ja sitä on laajennettu sekä saneerattu vuosina 1999–2000. Laitoksen automaatio ja sähkölaitteita on uusittu vuonna 2010, ja merkittäviä prosessimuutoksia on tehty vuosina 2019–2020. (Hietamies 2024, 3.)

Ristiinan jätevedenpuhdistamo on aktiivilietemenetelmään perustuva rinnakkaissaostuslaitos (Hietamies 2024, 3). Se koostuu kuudesta eri vaiheesta: välppäys, hiekanerotus, esiselkeytys, ilmastus, jälkiselkeytys ja Iso-Disc jälkisuodatus (Pekonen 2020, 7). Iso-Disc-suodatin on kangassuodatin, jolla pysytään poistamaan alle 10 µm kokoisia partikkeleita (Alfa Laval s.a.). Puhdistamon prosessi on esitetty kuvassa 4.



Kuva 4. Ristiinan jätevedenpuhdistamon puhdistusprosessi

Kun jätevesi saapuu puhdistamolle, se ohjataan ensin välppäykseen. Välppäyksen jälkeen vesi siirtyy hiekanerotukseen, jonka jälkeen se selkeytetään. Esiselkeytyksen jälkeen jätevettä ilmastetaan, jonka jälkeen vesi siirretään jälkiselkeytysaltaisiin. Lopuksi jätevesi pumpataan Iso-Disc jälkisuodatukseen ja

puhdistettu jätevesi johdetaan purkuputkea pitkin Saimaalle Yöveden Pök-käänlahteen. Prosessin aikana syntynyttä ylijäämälietettä hyödynnetään puhdistusprosessissa pumpaamalla sitä takaisin esiselkeytykseen. Jälkiselkeytyksestä pumpataan palautuslietettä ilmastukseen. (Pekonen 2020, 7.)

#### 4 HULE- JA VUOTOVEDET

Hulevesi on maan pinnalta huuhtoutuvaa sade- tai sulamisvettä (Laitinen ym. 2014, 29). Niiden muodostumiseen vaikuttavat monet eri tekijät, kuten vuodenaika, sademäärät ja sateen intensiteetti, sateen kesto, kuivan ajan pituus ennen sadetta, maaperän kaltevuus sekä maaperän ominaisuudet (Hulevesiopas 2012, 18). Hulevesiä muodostuu erityisesti rakennetuilla alueilla, joissa maan pinta on katettu joko asfaltilla tai kivetyksellä (Mitä on... 2019).

Varsinkin kesäisin suuret rakennetut vettä läpäisemättömät pinnat aiheuttavat sadannan myötä suuria määriä hulevesiä (RT 89-11196: 2015). Rakennetulla alueella vesi ei pääse imeytymään maaperään samalla tavalla kuin rakentamattomalla alueella, jonka vuoksi hulevedet synnyttävät pintavaluntaa. (Hulevesiopas 2012, 18). Vanhoissa kaupunginosissa saattaa edelleen olla niin sanottuja sekaviemäreitä, joihin johdetaan yritysten ja kotitalouksien jätevesien lisäksi myös hulevesiä. Tällaisilla alueilla rankkasateet ja lumien sulamisvedet saattavat aiheuttaa viemäriverkoston kapasiteetin ylityksiä, jolloin jätevesiä pääsee tulvimaan kaduille tai kiinteistöjen alimpiin kerroksiin. (Vesihuoltolaitosten tunnuslukujärjestelmän... 2025, 56.)

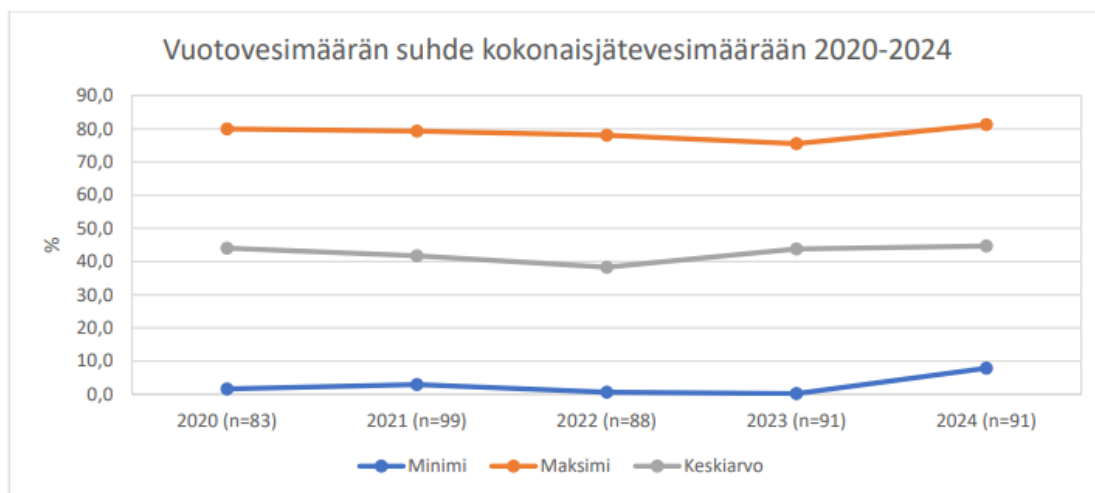
Hulevesien määrää voidaan vähentää rajoittamalla hulevesien muodostumista. Toimia vaaditaan siellä, missä hulevesiä syntyy. Rakennetun, vettä läpäisemättömän pinnan määrän vähentäminen, imeyttäminen maaperään ja haihduttaminen kasvillisuuden avulla ovat toimivia keinoja. Rakennusten päälle rakennettavat viherkatot ja kattopuutarhat sitovat sadevesiä. Uudisrakentamisessa piha-alueiden päällystämässä tulee hyödyntää vettä läpäiseviä päällysteitä. Sellaisilla alueilla, joissa hulevesiä ei pystytä suoriltaan käsittelemään, on tärkeää, että niitä pystyttäisiin viivyttämään. Viivytyksimenetelmissä on tarkoituksena varastoida syntyviä hulevesiä ja vapauttaa niitä vähitellen. Viivytyksimenetelmiä ovat muun muassa lammikot, kosteikot, painanteet, rakennetut altaat ja kaivannot. (Hulevesiopas 2018, 21)

Vuotovedellä tarkoitetaan maaperässä olevaa pohjavettä tai kaivannon täyteessä olevaa vettä. Sitä pääsee viemäriverkkoon suoraan maaperästä heikkojen putkiliitosten, rikkiäisten putkien, huokoisten putkirakenteiden tai rikkiäisten tarkastuskaivojen kautta. Esimerkiksi salaojavesi, joka siirtyy viemäriverkostoon heikkokuntoisten putkien tai putkiliitosten kautta luokitellaan vuotovedeksi. (Laitinen ym. 2014, 29, 72.)

Ilmastonmuutoksella on merkittäviä vaikutuksia hulevesimääriin. Sen vaikutukset näkyvät Suomessa etenkin sateiden lisääntymisenä. Sademäärien paikalliset ja vuotuiset vaihtelut ovat suuria, joten hulevesiä voi joillakin alueilla muodostua suuria määriä. Rankkasateiden todennäköisyys kasvaa, ja näin ollen hulevesitulvien riskit ovat suuria. (Ratkaisuja hulevesien... 2022.)

Hule- ja vuotovesillä on haitallisia vaikutuksia jätevedenpuhdistusprosessiin. Tyypillisesti hule- ja vuotovedet ovat viileämpiä kuin talousjätevedet, joten jätevedenpuhdistamolle tulevan jäteveden lämpötila laskee. Lämpötilan lasku aiheuttaa ongelmia biologisen prosessin toiminnassa, joka taas vastaavasti näkyy typen poiston tehokkuuden laskuna. Lumien sulaminen ja rankkasateet voivat tuottaa valtavia määriä hulevettä. Suuret hetkelliset virtaamat voivat aiheuttaa ohituksia jätevedenpuhdistusprosessissa. Tällaisessa tilanteessa biologisen prosessin ohittaminen on lähes väistämättä ainut ratkaisu, jotta aktiiviliete ei pääse poistumaan selkiytysaltaista suurten vesimassojen vuoksi. (Laitinen ym. 2014, 29–30.)

Tutkimusten mukaan vuonna 2014 jätevedenpuhdistamoilla käsitellyistä jätevesistä noin 38 % oli hule- ja vuotovesiä (Lehtoranta ym. 2023, 57). Vuosina 2020–2024 hule- ja vuotovesien osuus puhdistetusta jätevedestä oli vajaa puolet (Vesihuoltolaitosten tunnuslukujärjestelmän... 2025, 57). Hule- ja vuotovesien määrät suhteessa kaikkeen jätevesimäärään on havainnollistettu kuvassa 5.



Kuva 5. Hule- ja vuotovesien osuus kokonaisjätevesimäärästä vuosina 2020–2024. Vuosiluvun perässä n=kyselyyn vastanneet vesihuoltolaitokset. (Vesihuoltolaitosten tunnuslukujärjestelmän... 2025, 57.)

Vesihuoltolaitosten tunnuslukujärjestelmän raportissa (2025) on yhtenä osa-alueena Vesihuollon tila -raportti. Siinä määritelty kriteerit, joiden avulla vesilaitokset voivat tarkastella omaa toimintaansa ja nähdä helposti parannuksia vaativat osa-alueet. Lisäksi vesihuoltolaitos voi vertailla omaa suoriutumistaan muihin vastaaviin laitoksiin. Hule- ja vuotovesien osuus tulisi olla alle 30 % kokonaisjätevesimäärästä, jotta Vesihuollon tila -raportin kriteerit täyttyvät. Jos hule- ja vuotovesien osuus kokonaisjätevesimäärästä ylittää 50 %, kriteerit eivät täyty. Mikkelin vesilaitoksella hule- ja vuotovesien osuus kokonaisjätevesimäärästä raportoitiin olleen 40,86 %, eli tulos osuu annettujen kriteerien väliin. (Vesihuoltolaitosten tunnuslukujärjestelmän... 2025, 17–21.)

## 5 LAINSÄÄDÄNTÖ

Suomessa hule- ja vuotovesien hallintaan liittyy lakeja ja asetuksia, jotka koskevat ympäristönsuojelua, vesihuoltoa, rakentamista ja yhdyskuntasuunnittelua. Jokaiselle asiaa koskevalle lainsäädännölle on yhteistä se, että niiden mukaan hule- ja vuotovesiä ei tulisi johtaa suoraan jätevesiviemäriin, vaan niiden käsittelemiseksi tulisi keksiä muita ratkaisuja.

Vesihuoltolain (9.2.2001/119, 3 a. luku) tavoitteena on turvata terveyden ja ympäristönsuojelun kannalta asianmukainen viemäröinti talousvesien lisäksi myös hulevesille. Lain mukaan kunta voi päättää, että vesihuoltolaitos huolehtii tietyllä alueella hulevesien viemäröinnistä. Edellytyksenä kuitenkin on, että

laitos pystyy huolehtimaan vesistä asianmukaisella tavalla, ja että asiakasmaksut pysyvät kohtuullisina. Hulevesiä ei saa johtaa jätevesiviemäriin, vaan kiinteistöjen tulee liittyä hulevesiviemäriin. Poikkeuksena ovat kuitenkin niin sanotut vanhat alueet, joissa jätevesiviemärit on mitoitettu myös hulevesille, eikä erillistä hulevesiviemäriä ole olemassa.

Ympäristöministeriön asetus rakennusten vesi- ja viemärlaitteistoista (22.12.2017/1047, 7. luku) määrittää, että hulevesijärjestelmät on suunniteltava kiinteistöllä niin, että vesien viivyttäminen ja imeyttäminen tapahtuu ensisijaisesti kiinteistöllä. Jos tämä ei ole maaperän ominaisuuksien vuoksi mahdollista, hulevesille tulee olla oma laitteisto, jonka kautta ne ohjataan vesistöön, avo-ojaan tai kunnan hulevesiviemäriin. Hulevesilaitteistoon ei saa ohjata muita kiinteistöltä tulevia jätevesiä.

Alueidenkäyttölaissa (5.2.1999/132, 13. luku) on annettu erilaisia yleisiä tavoitteita koskien hulevesien hallintaa. Tavoitteiden mukaan hulevesien hallinta on oltava suunnitelmallista, ja niiden imeyttäminen ja viivyttäminen tulee järjestäytyneellä, missä niitä kertyy. Ympäristölle ja kiinteistöille aiheutuvia haittoja tulee ehkäistä siten, että ilmastonmuutoksesta aiheutuvat pitkän aikavälin haitat on myös huomioitu. Lisäksi hulevesien pääsy jätevesiviemäriin tulisi estää. Kuntien vastuulla on huolehtia, että hulevesijärjestelmät toteutetaan asema-kaavan mukaisen maakäytön tarpeiden mukaan, kunhan kustannukset eivät nouse kiinteistön omistajalle tai haltijalle kohtuuttomiksi.

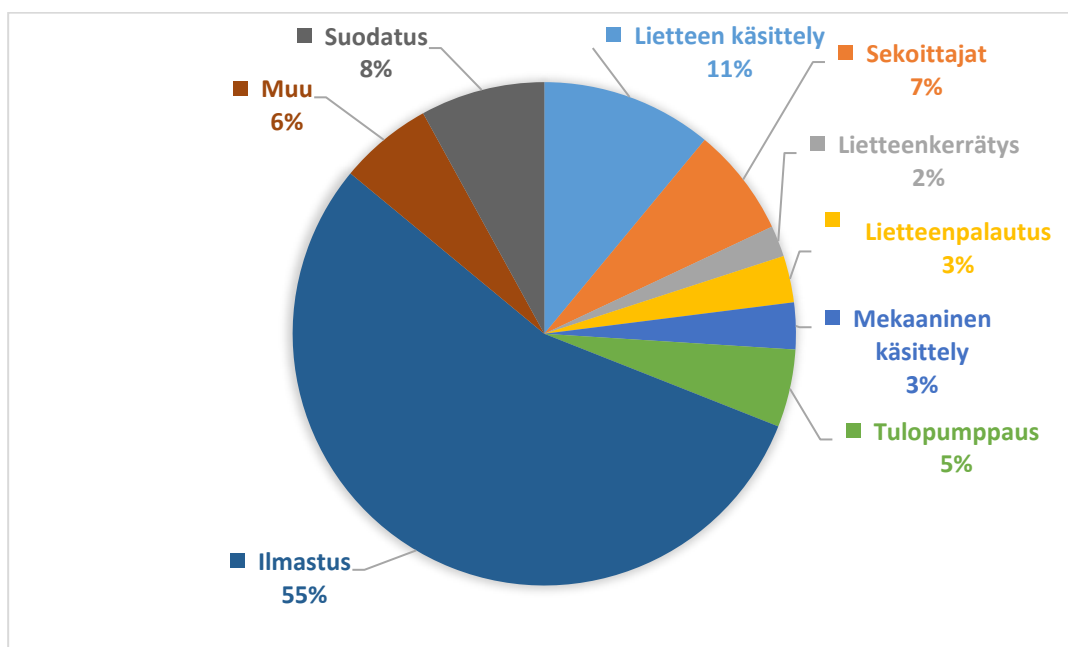
## **6 JÄTEVEDENPUHDISTAMON ENERGIANKULUTUS**

Kunnalliset jätevedenpuhdistamot, joilla on käytössään perinteisiä puhdistusprosesseja, kuluttavat paljon energiaa. Jopa 30–60 % kuntien energiakulutuksesta kuluu jäteveden puhdistukseen. Euroopan Unionin tasolla tarkasteltuna jätevedenpuhdistamoiden energiankulutus on noin 1 % Euroopan sähkönkulutuksesta. (Gurung ym. 2018, 668.) Yhden jätevesikuution puhdistamiseen kuluu energiaa keskimäärin 0,3–1 kWh (Gurung ym. 2018, 670; Energiategohakas ilmastus 2025). Jätevedenpuhdistuksen keskimääräisiä energiankulutuksen tunnuslukuja on esitetty taulukossa 1.

Taulukko 1. Jätevedenpuhdistuksen keskimääräinen energiankulutus (Energiatehokas ilmasto 2025)

Energiankulutus (kWh/m <sup>3</sup> )	Keskimääräinen virtaama (m <sup>3</sup> /d)	Energiankulutus (kWh/kg poistettu BOD <sub>7ATU</sub> )	Energiankulutus (kWh/kg poistettu OCP)
<0,5	37900	1,5	280
0,51–1	6400	2,5	400
>1	1300	7	960

Yli puolet kaikesta jätevedenpuhdistamon kuluttamasta energiamäärästä kuuluu ilmastukseen. Lietteen käsittelyyn ja tulopumppaukseen kuluu energiaa noin 16 %. (Energiatehokas ilmasto 2018.) Energiankulutuksen jakaumaa on havainnollistettu kuvassa 6.



Kuva 6. Jätevedenpuhdistamon energiankulutuksen jakauma (Energiatehokas ilmasto 2025.)

Puhdistusprosessin muiden vaiheiden energiankulutuksen osuus on verrattain pieni. (Energiatehokas ilmasto 2025.)

Energiankulutuksen vertailu erilaisten puhdistamojen välillä on haastavaa. Suurempien jätevedenpuhdistamoiden ominaisenergiankulutus (kWh/m<sup>3</sup>) on pienempi kuin pienempien puhdistamoiden. (Gurung ym. 2018, 672.) Myös sillä on vaikutusta, onko puhdistamo rakennettu maan päälle vai alle (Lehtoranta ym. 2023, 29).

Moni jätevedenpuhdistamo pystyy tuottamaan itse tarvitsemansa lämmön. Lämpöä otetaan talteen muiden toimintojen hukkalämmöstä, ja sitä tuotetaan mädätyksen yhteydessä. Lisäksi talteen otettua hukkalämpöä hyödynnetään hyvin kaukolämmön ja kaukokylmän tuotannoissa. (Lehtoranta ym. 2023, 72.)

## 7 HIILIJALANJÄLKI

Hiilijalanjälki kuvaa ihmisen toiminnasta aiheutuneita ilmastopäästöjä. Se voidaan laskea tuotteelle, toiminnalle tai yritykselle. Hiilijalanjälki sisältää hiilidioksidin (CO<sub>2</sub>) lisäksi myös muut ilmastopäästöt. (Hiilijalanjälki s.a.) Ilmastopäästöt koostuvat erilaisista kasvihuonekaasuista, kuten hiilidioksidista, metaanista (CH<sub>4</sub>) ja typpioksiduulista (N<sub>2</sub>O) ja niiden pääsystä ilmakehään. (CO<sub>2</sub>-termit... s.a.)

Hiilidioksidin ilmastoa lämmittävä vaikutus perustuu sen kykyyn varastoida ja absorboida lämpöä. Hiilidioksidi on ihmisen tuottamista kasvihuonekaasuista merkittävin. Sen pitoisuus ilmakehässä on noussut teollistumista edeltävästä ajasta lähes 40 %, ja kasvu jatkuu edelleen. Ihmisen tuottamien hiilidioksidipäästöjen vaikutusaika ilmakehässä on jopa satoja vuosia. Valtaosa ihmisen tuottamasta hiilidioksidista on peräisin fossiilisten polttoaineiden käytöstä. (Lindsey 2025; Hiilidioksidi ja... s.a.)

Metaani on ihmisen toiminnan aiheuttamista ja ilmastoa lämmittävistä kasvihuonekaasuista toiseksi merkittävin. Molekyylitasolla tarkasteltuna metaani on hiilidioksidia voimakkaampi kaasu, mutta sen määrät ovat pienempiä ja se hajoaa hiilidioksidia nopeammin, noin kahdessatoista vuodessa. Metaania syntyy silloin, kun eloperäinen aines hajoaa hapettomissa olosuhteissa. (Metaani s.a.)

Typpioksiduuli eli dityppioksidi tunnetaan myös nimellä ilokaasu, ja sillä on voimakkaasti ilmakehää lämmittävä vaikutus. Typpioksiduulin pitoisuudet ilmakehässä ovat pieniä, mutta sen elinikä metaaniin verrattuna on pitkä, noin 110 vuotta. Sitä muodostuu, kun maaperän nitraatit, kuten esimerkiksi typpilannoitteet hajoavat. Maatalous tuottaa yli kolmasosan typpioksiduulipäästöistä. Typpioksiduuli hajoaa vain ilmakehän ylemmissä kerroksissa auringon tuottaman korkeaenergisien ultraviolettiäteilyn ansiosta. (Dityppioksidi s.a.)

Kasvihuonepäästöjen ilmaisulle on oma yksikkö, hiilidioksidiekvivalentti (CO<sub>2</sub>eq) (Glossary: Carbon... s.a.). Yksikkö kuvaa eri kasvihuonekaasujen ilmastoa lämmittävää vaikutusta. Hiilijalanjäljen määrittämisessä tulee huomioida määrittämisen kohteena olevan asian kokonaisuus, sisältäen välittömät ja välilliset päästöt koko elinkaaren aikana. (CO<sub>2</sub>-termit... s.a.). Päästöjä aiheutuu esimerkiksi energiankulutuksesta, liikenteestä, valmistuksen prosesseista ja jätteen tuottamisesta (Valli 2023).

Hiilijalanjälki voidaan ilmoittaa toiminnan tai tuotteen aiheuttamien kasvihuonepäästöjen massana. Yksikkönä käytetään tilanteen mukaan grammoja, kilogrammoja tai tonneja. (CO<sub>2</sub>-termit... s.a.). Ilmaston lämmityspotentiaali mitataan yleensä 100 vuoden ajanjaksolla (Valli 2023).

Vuonna 2018 suomalaisen keskimääräinen hiilijalanjälki oli 10 300 kgCO<sub>2</sub>eq. Vuonna 2023 vastaava arvo oli 9610 kgCO<sub>2</sub>eq, joten laskua oli seitsemän prosenttia. On tutkittu, että hiilijalanjäljen tulisi olla 2500 kgCO<sub>2</sub>eq. Suomalaisen pitäisi saada pienennettyä hiilijalanjälkensä ¼ nykyisestä, jotta se olisi kestävällä tasolla. (Keskivertosuomalaisen hiilijalanjälki 2018.)

Kasvihuonepäästöjen ja siten hiilijalanjäljen pienentäminen on ensiarvoisen tärkeää ilmastonmuutoksen hidastamiseksi. Päästöjen vähentäminen voi vaikuttaa myös resurssien käyttöön. Tuotteen käyttöiän pidentäminen ja uusioskäyttö tai julkisen liikenteen hyödyntäminen matkustamisessa säästää resursseja ja vähentää päästöjä. (Valli 2023).

## **8 HIILIJALANJÄLKI JÄTEVEDENPUHDISTUKSESSA**

Vesihuollolle on annettu tavoitteeksi saavuttaa hiilineutraalius vuoteen 2030 mennessä. Euroopan Unionin yhdyskuntajätevesidirektiivin uudistuksen yhteydessä on esitetty, että jäteveden käsittely tulisi olla energianeutraalia vuoteen 2040 mennessä. Suomen osalta tavoite koskee kahtakymmentäkuutta suurempaa laitosta, joilla käsitellään noin 73 % kaikesta jätevedestä. (Lehtoranta ym. 2023, 3, 76.)

Noin 56 % vesihuollon päästöistä aiheutuu jäteveden ja lietteen käsittelystä. Jätevedenpuhdistuksessa eniten kasvihuonepäästöjä aiheutuu käsittelyn aikana muodostuvista typpioksiduulista ja metaanista. Niiden osuus päästöistä on noin 30 %. Energiankulutuksen osuus päästöistä on noin 20 %. Nykyisten ja uusien jätevedenpuhdistamoiden toiminta vaatii uudistusta, jotta lakisääteiset vaatimukset ja jätevesipäästöjen raja-arvot täyttyvät. (Lehtoranta ym. 2023, 3.) Jätevedenpuhdistamojen aiheuttamia kasvihuonepäästöjä on mahdollista kompensoida monin eri tavoin. Uusiutuvat energialähteet, biokaasun talteenotto, lämpöenergiantuotanto ja lietteen poltolla tuotettu sähköenergia ovat hyviä keinoja päästöjen kompensointiin. (Abyar & Nowrouzi 2023, 2.)

Lietteen käsittelystä aiheutuvien päästöjen minimointi on päästöjen vähentämisen kannalta olennaista. Käsittelyketjun optimoinnilla voidaan saavuttaa päästövähennyksiä. Keinoja tähän on kuljetusten minimointi, lyhyet välisäilytysajat ja prosessoinnista muodostuvien kasvihuonepäästöjen vähentäminen. Lietteen kompostointia tulisi vähentää ja mädätystä lisätä, koska mädätyksen avulla pystytään tuottamaan sähköä, lämpöä ja liikennepolttoainetta. Mädätyksen yhteydessä on kuitenkin metaanipäästöjen riski eri vaiheissa tuotantoketjua. Tulevaisuuden vetytalous lisää lietteen hyötykäytön mahdollisuuksia. Lietteestä saatavasta biokaasusta on mahdollista tehdä vetyä, sekä korkean arvoluokan hiiltä rengas- ja akkuteollisuuden hyödynnettäväksi. (Lehtoranta ym. 2023, 91–100.)

Jätevedenpuhdistusprosessissa ilmastuksen energiankäytön optimoinnilla voidaan vähentää puhdistamon energiankulutusta. Kompressorien ja säätöventtiilien mitoittaminen ja ohjaus käsiteltäviin jätevesimassoihin ja niiden päivittäiseen vaihteluun voi pienentää laitoksen energiankulutusta. Esimerkiksi HSY:n Viikinmäen puhdistamolla saavutettiin energiansäästöä noin 1 %, kun kompressoreiden ohjaustapaa tehostettiin. Koska ilmastukseen kuluu suurin osa jätevedenpuhdistamon käyttämästä energiasta, jo yhden prosentin säästöllä on suuria vaikutuksia laitoksen energiankulutukseen. Myös laitteiden säännöllinen huolto ja puhdistus on energiatehokkuuden kannalta tärkeää. (Energiatehokas ilmasto 2018.) Uusien laitteiden hankintavaiheessa tulisi keskittyä kompressoreiden ja moottoreiden elinkaarikustannuksiin ja energiatehokkuuteen, eikä niinkään hankintahintaan. Jätevedenpuhdistuslaitokset tuottavat

lämpöä, jota hyödynnetään kaukolämpönä. Kaukolämmöntuotannon kapasiteettia pystyttäisiin kuitenkin lisäämään, jos lämpöä otettaisiin talteen myös lietteestä. Lisäksi aurinkopaneeleilla tuotetun sähkön lisääminen olisi hyvä keino päästöjen vähentämiseen. (Lehtoranta ym. 2023, 83, 100.)

## **9 AINEISTO JA MENETELMÄT**

Tämä opinnäytetyö toteutettiin kvantitatiivisena tutkimuksena. Tutkimusta varten tarvittiin lähtötietoja kahdelta eri kokoluokan puhdistamolta. Tutkimustietoina käytettiin vesilaitoksen energiankulutustietoja, puhdistamon puhdistaman jäteveden määriä, verkostoon pumpatun puhtaan veden määriä ja puhdistamolle suoraan toimitetun sakokaivolietteen määriä. Tietoja saatiin Mikkelin vesilaitokselta 11 kuukauden ajalta.

Saatujen tietojen pohjalta laskettiin puhdistamoille saapuvat hule- ja vuotovesimäärät ja niiden puhdistamiseen kuluva energia. Hulevesimäärät laskettiin vähentämällä puhdistetun jäteveden kokonaismäärästä verkostoon pumpatun talousveden määrä sekä suoraan puhdistamoille tuotujen sakokaivolietteiden määrät. Hule- ja vuotovesien puhdistuksen energiankulutus laskettiin jakamalla koko tarkastelujaksolla kulutettu energiamäärä koko tarkastelujaksolla puhdistetun jäteveden määrällä. Näin saatiin selvitettyä, paljonko energiaa kuuluu keskimäärin yhden jätevesikuution puhdistamiseen. Saatu tulos kerrottiin hulevesien määrällä, jolloin saatiin selville hulevesien puhdistukseen kulunut sähköenergian määrä.

### **9.1 Jätevedenpuhdistamon kokoluokittelu**

Jätevedenpuhdistamojen kokoluokittelussa voidaan käyttää useita erilaisia tapoja. Uuden puhdistamon suunnitteluvaiheessa huomioidaan virtaama ja sen vaihtelut sekä puhdistamolle tuleva kuormitus. Kuormitus lasketaan asukasvastineluvuksi (avl). Asukasvastineluku on yhden ihmisen keskimääräinen päivässä aiheuttama kotitalouden jätevesikuormitus. Sitä hyödynnetään myös vertailumielessä muiden kuin kotitalouksien jätevesien kuormituksen tarkasteluun. Asukasvastineluku on keskeinen suure, jonka perusteella määräytyvät puhdistamon jäännöspituuden ja poistotehon raja-arvot. Lisäksi sen perusteella määritellään tarkkailuun sisältyvien näytteiden lukumäärä/vuosi. (Laiti-

nen ym. 2014, 26.) Puhdistamot voidaan jakaa myös laitokselle tulevan jäteveden virtaamamäärien mukaan kokoluokaltaan suureen, keskisuureen ja pieneen puhdistamoon. Kokoluokittelu virtaamamäärien mukaan on esitetty taulukossa 2.

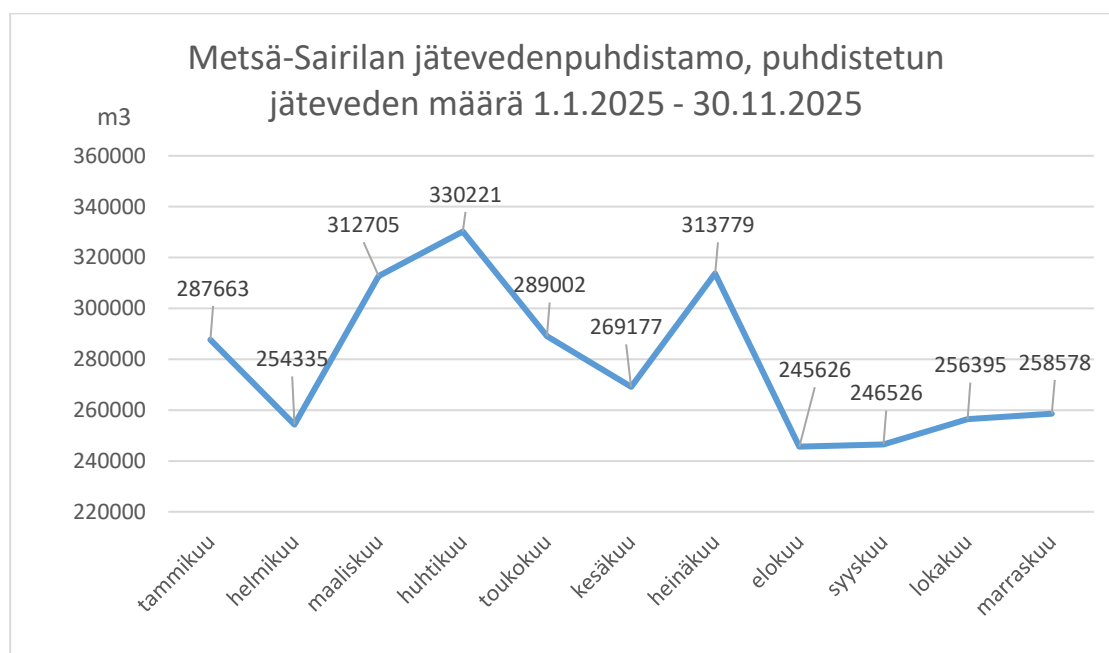
Taulukko 2. Jätevedenpuhdistuslaitoksen kokoluokittelu virtaaman mukaan

Puhdistamon koko	Jätevesivirtaama (m <sup>3</sup> /vuosi)
Suuri	yli 1 000 000 m <sup>3</sup> /vuosi
Keskisuuri	250 000–1 000 000 m <sup>3</sup> /vuosi
Pieni	alle 250 000 m <sup>3</sup> /vuosi

Opinnäytetyössä tarkastellaan kahta, kokoluokaltaan pientä ja suurta puhdistamo. Puhdistamot on valikoitu edellä esitettyjen virtaamamäärien perusteella. Metsä-Sairilan puhdistamo on kokoluokaltaan suuri puhdistamo ja Ristiinan jätevedenpuhdistamo on kooltaan pieni puhdistamo.

## 9.2 Jätevedenpuhdistamoilla puhdistettu jätevesi

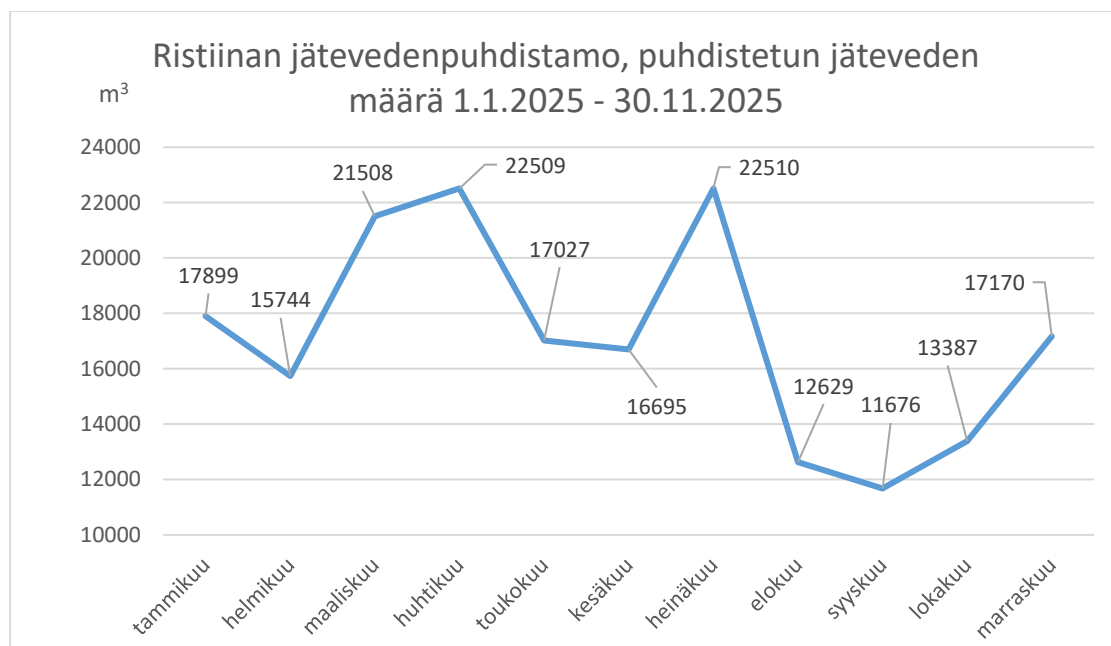
Metsä-Sairilan jätevedenpuhdistamolla puhdistettiin 1.1.2025 – 30.11.2025 aikana kaiken kaikkiaan 3 064 005 m<sup>3</sup> jätevettä. Puhdistetun jäteveden määrät kuukausitasolla on esitetty kuvassa 7.



Kuva 7. Metsä-Sairilan jätevedenpuhdistamo, puhdistetun jäteveden määrä 1.1.2025 – 30.11.2025

Jätevettä puhdistettiin eniten huhtikuussa, jolloin puhdistetun jäteveden määrä oli 330 221 m<sup>3</sup>. Vähiten jätevettä puhdistettiin elokuussa. Kuukausittaista vaihtelua oli paljon. (Turkki 2025.)

Ristiinan jätevedenpuhdistamolla puhdistettiin samalla aikavälillä kaikkiaan 188 753 m<sup>3</sup> jätevettä (Turkki 2025). Puhdistetun jäteveden määrät kuukausitasolla on esitettyä kuvassa 8.

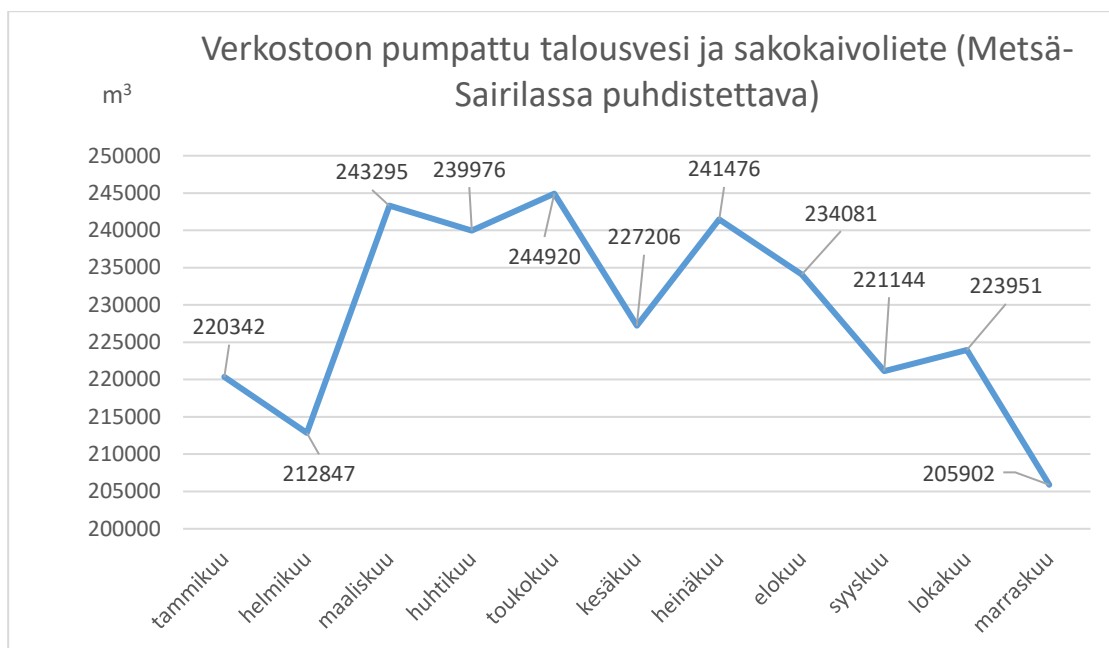


Kuva 8. Ristiinan jätevedenpuhdistamo, puhdistetun jäteveden määrä 1.1.2025 - 30.11.2025

Jätevettä puhdistettiin eniten heinäkuussa, jolloin puhdistetun jäteveden määrä oli 22 510 m<sup>3</sup>. Vähiten vettä puhdistettiin syyskuussa. Myös Ristiinan jätevedenpuhdistamolla oli paljon kuukausittaista vaihtelua. (Turkki 2025.)

### 9.3 Talusvesiverkostoon pumpattu puhdas vesi ja sakokaivolietteet

Talusvesiverkostoon, josta muodostuvat jätevedet johdetaan Metsä-Sairilan puhdistamolle, oli pumpattu 1.1.2025 – 30.11.2025 aikana 2 491 970 m<sup>3</sup> puhdasta talusvettä. Sakokaivolietettä oli viety suoraan puhdistamolle puhdistettavaksi 23 169 m<sup>3</sup>. (Turkki 2025.) Näistä muodostui lasketun jäteveden määrä, joka oli 11 kuukauden ajalta yhteensä 2 515 139 m<sup>3</sup>. Talusvesiverkoston puhtaan veden ja sakokaivolietteiden yhteismäärät kuukausitasolla on esitetty kuvassa 9.



Kuva 9. Verkostoon pumpattu talousvesi ja sakokaivoliete, Metsä-Sairila

Ristiinan talousvesiverkostoon pumpattiin 1.1.2025 – 30.11.2025 välisenä aikana 138 332 m<sup>3</sup> puhdasta talousvettä. Sakokaivoliेतettä puhdistamolle tuotiin puhdistettavaksi 13 876 m<sup>3</sup>. (Turkki 2025.) Näistä muodostui lasketun jäteveden määrä, joka oli 11 kuukauden ajalta yhteensä 152 208 m<sup>3</sup>. Talousvesiverkoston puhtaan veden ja sakokaivoliеттеiden yhteismäärät kuukausitasolla on esitetty kuvassa 10.



Kuva 10. Verkostoon pumpattu talousvesi ja sakokaivoliete, Ristiina

Molempia laitoksia koskevien vesien ja lietteiden määrät vaihtelivat kuukausitasolla jonkin verran. Metsä-Sairilan alueen vesimäärissä oli laskua loppuvuotta kohti. Vastaavasti Ristiinan alueen vesimäärät kasvoivat.

#### 9.4 Jätevedenpuhdistamojen hulevedet

Puhdistamoille saapuvien hule- ja vuotovesien määrät saatiin selville vähentämällä puhdistetun jäteveden määrästä verkostoon pumpatun puhtaan talousveden ja suoraan puhdistamoille tuodun sakokaivolietteen määrät. Laskenta on esitetty yhtälössä 1.

$$Hulevesimäärä = jv_{11kk} - (pv_{11kk} + skl_{11kk}) \quad (1)$$

jossa	$jv_{11kk}$	jätevesi
	$pv_{11kk}$	puhdas talousvesi
	$skl_{11kk}$	sakokaivolietteet

Metsä-Sairilan jätevedenpuhdistamolla puhdistettiin 1.1.2025 – 30.11.2025 välisenä aikana kaikkiaan 548 866 m<sup>3</sup> hule- ja vuotovesiä (Turkki 2025). Laskennan tulokset on esitetty taulukossa 3.

Taulukko 3. Metsä-Sairilan jätevedenpuhdistamon hule- ja vuotovedet

METSÄ-SAIRILA	Puhdistettu jätevesi (m <sup>3</sup> )	Puhdas talousvesi + sakokaivolietteet (m <sup>3</sup> )	Hulevedet (m <sup>3</sup> )
tammikuu	287 663	220 342	67 321
helmikuu	254 335	212 847	41 488
maaliskuu	312 705	243 295	69 410
huhtikuu	330 221	239 976	90 245
toukokuu	289 001	244 920	44 081
kesäkuu	269 177	227 206	41 971
heinäkuu	313 779	241 476	72 303
elokuu	245 626	234 081	11 545
syyskuu	246 526	221 144	25 383
lokakuu	256 395	223 951	32 444
marraskuu	258 578	205 902	52 676
<b>yhteensä</b>	<b>3 064 005</b>	<b>2 515 139</b>	<b>548 866</b>

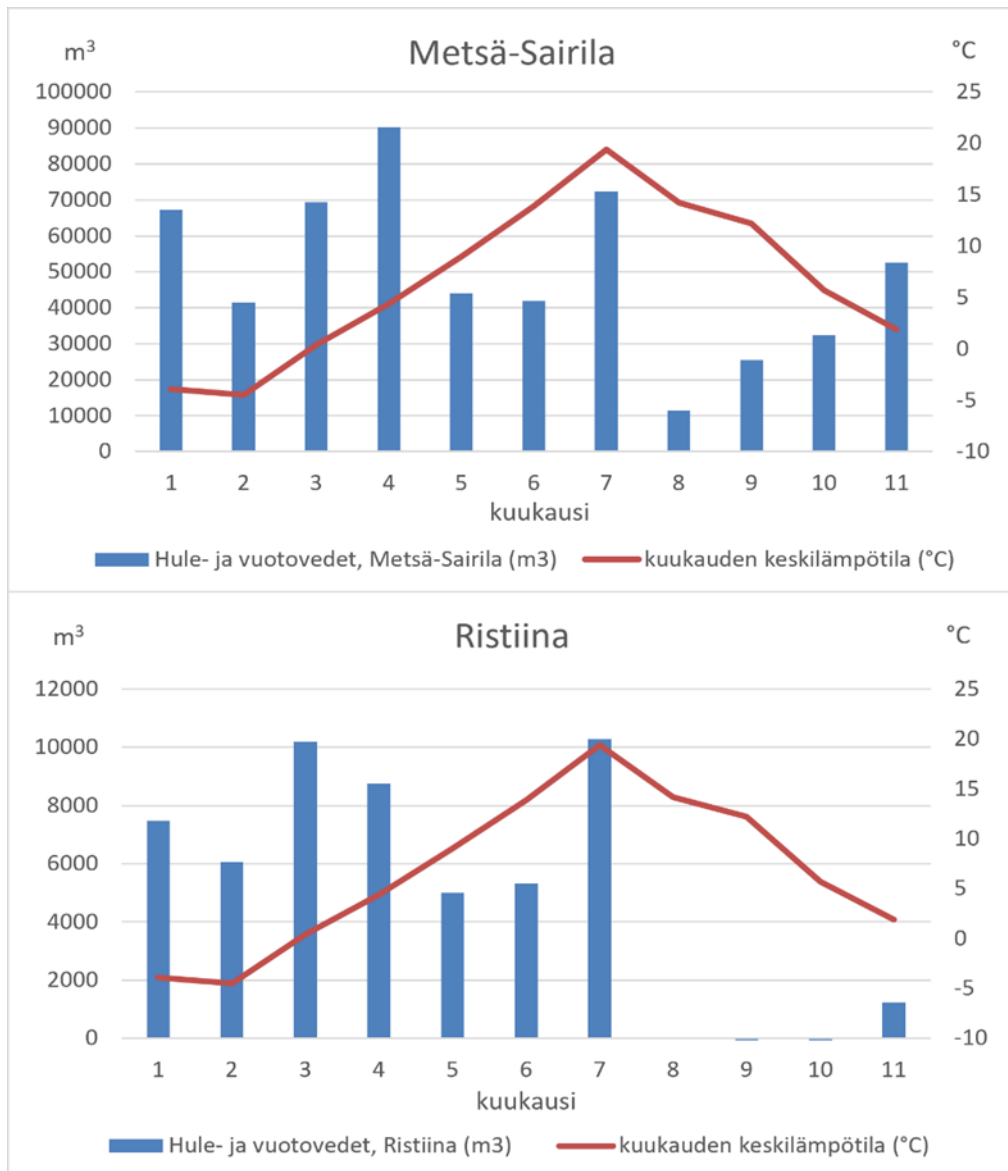
Ristiinan jätevedenpuhdistamolla puhdistettiin samalla aikavälillä 54 300 m<sup>3</sup> hule- ja vuotovesiä. Laskennan tulokset on esitetty taulukossa 4. Elo-lokakuussa jätevesiä puhdistettiin vähemmän verrattaessa verkostoon pumpattuun puhtaaseen talousveteen ja suoraan puhdistamolle vietyihin sakokaivolietteiin. Näitä miinusmerkkisiä lukuja ei ole otettu laskennassa huomioon.

Taulukko 4. Ristiinan jätevedenpuhdistamon hule- ja vuotovedet

<b>RISTIINA</b>	<b>Puhdistettu jätevesi (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Puhdas talousvesi + sakokaivolietteet (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Hulevedet (m<sup>3</sup>)</b>
tammikuu	17 899	10 432	<b>7466</b>
helmikuu	15 744	9691	<b>6053</b>
maaliskuu	21 508	11 309	<b>10 198</b>
huhtikuu	22 509	13 750	<b>8759</b>
toukokuu	17 027	12 032	<b>4995</b>
kesäkuu	16 695	11 378	<b>5317</b>
heinäkuu	22 510	12 239	<b>10 270</b>
elokuu	12 629	12 643	<b>-14</b>
syyskuu	11 676	12 964	<b>-1287</b>
lokakuu	13 387	15 965	<b>-2578</b>
marraskuu	17 170	15 929	<b>1242</b>
<b>yhteensä</b>	<b>188 753</b>	<b>138 332</b>	<b>54 300</b>

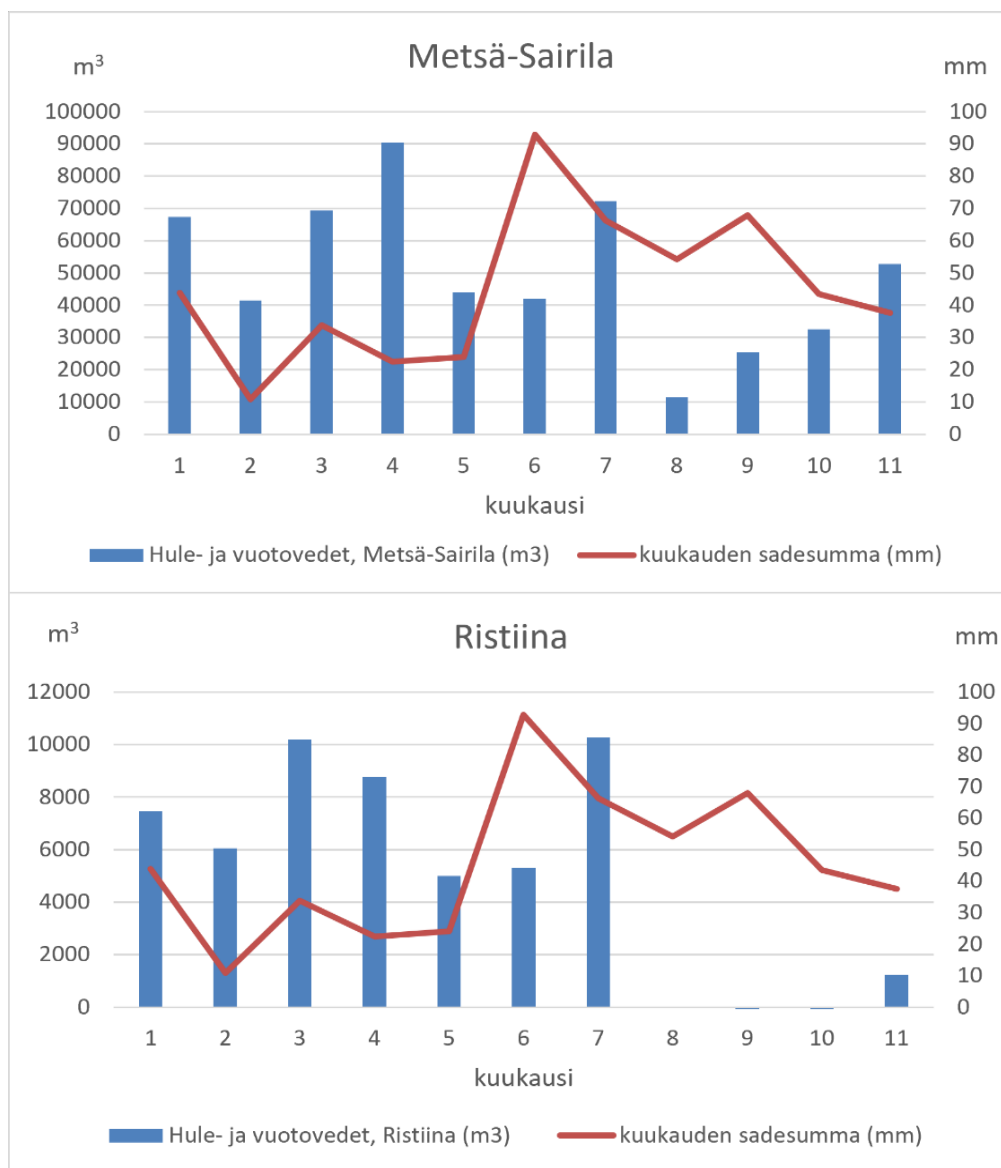
Molemmilla puhdistamoilla hule- ja vuotovesiä puhdistettiin eniten keväällä maaliskuussa ja huhtikuussa ja kesällä heinäkuussa. Elo-, syys- ja lokakuussa hule- ja vuotovesiä puhdistettiin vähiten.

Sääolosuhteet vaikuttavat hule- ja vuotovesien muodostumiseen. Molempien jätevedenpuhdistamojen hule- ja vuotovesimääriä vertailtiin kuukausittaisiin sademääriin ja lämpötiloihin. Sää- ja lämpötilatietoja haettiin Ilmatieteen laitoksen Havaintojen lataus -palvelusta (s.a.). Säätilojen havaintoasemana toimi Mikkelin lentoasema. Etäisyys Metsä-Sairilan jätevedenpuhdistamon ja havaintoaseman välillä on noin 8 kilometriä. Ristiinan jätevedenpuhdistamon ja havaintoaseman välinen etäisyys on noin 31 kilometriä. (Google Maps s.a.) Vertailua on havainnollistettu kuvissa 11 ja 12.



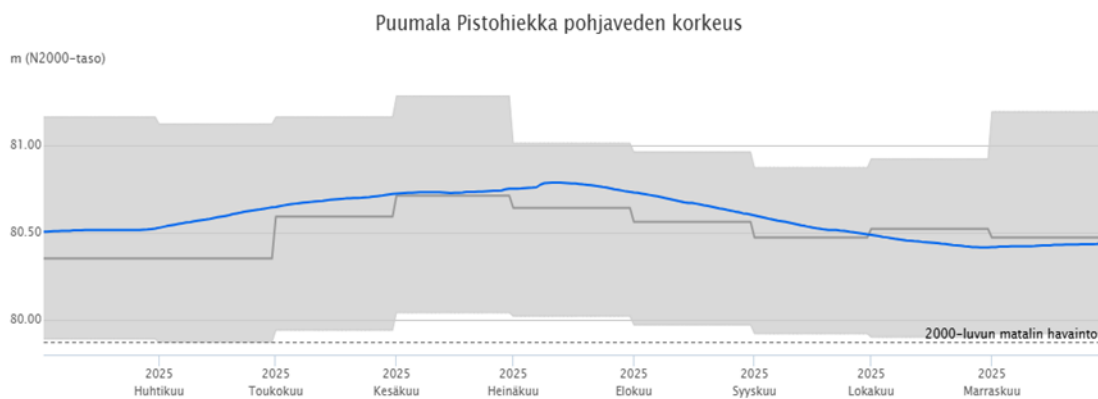
Kuva 11. Metsä-Sairilan ja Ristiinan jätevedenpuhdistamojen hulevesimäärät ja ilman lämpötila kuukausitasolla. Lämpötiladata on kerätty Mikkelin lentoaseman säähavaintoasemalta.

Alkuvuosi 2025 oli lämmin, joka näkyy hule- ja vuotovesien määrissä. Maaliskuussa lämpötilan kohotessa lumet ja maaperän routa alkoivat sulaa. Näin ollen hule- ja vuotovesiä päätyi vesilaitoksille puhdistettavaksi huomattavia määriä.



Kuva 12. Metsä-Sairilan ja Ristiinan jätevedenpuhdistamojen hulevesimäärät ja kuukausittainen sadesumma. Sademäärät on kerätty Mikkelin lentoaseman säähavaintoasemalta.

Sademäärät pysyivät alkuvuonna 2025 maltillisina. Kesäkuussa satoi määrällisesti paljon, mutta sademäärät eivät suoraan näkyneet kuluvan kuukauden hulevesimäärissä. Tarkemmassa päiväkohtaisessa tarkastelussa havaittiin, että kesäkuun lopulla ja heinäkuun alussa satoi paljon (Havaintojen lataus s.a.). Tutkimusten mukaan sadevedet suotautuvat maaperään viiveellä (Liu ym. 2025). Onkin mahdollista, että kesäkuun sateet näkyvät vasta heinäkuun hule- ja vuotovesimäärissä. Pohjaveden pinnankorkeutta mitataan muun muassa Puumalan Pistohiekalla (Karttapalvelu s.a.). Metsä-Sairilan jätevedenpuhdistamon ja mittauspisteen etäisyys on noin 44 kilometriä. Ristiinan jätevedenpuhdistamon ja mittauspisteen välinen etäisyys on noin 41 kilometriä. (Google Maps s.a.) Mittauspisteen pohjaveden korkeutta esittää kuva 13.



Kuva 13. Puumalan Pistohiekan mittauspisteeltä mitattu pohjaveden pinnan korkeus maalijoulukuussa 2025 (Karttapalvelu s.a.).

Kuiva ja leuto alkukevät piti pohjaveden korkeuden maltillisella tasolla. Kesäkuun lopun ja heinäkuun alun sateet nostivat korkeutta niin, että pohjavesi on mahdollisesti saavuttanut viemäriputket ja päässyt sitä kautta kulkeutumaan jätevedenpuhdistamolle.

## 9.5 Jätevedenpuhdistamojen energiankulutus

Metsä-Sairilan jätevedenpuhdistamolla kului energiaa 1.1.2025 – 30.11.2025 välisenä aikana 2 911 481 kilowattituntia (Turkki 2025). Sähkönkulutus kuukausitasolla on esitetty taulukossa 5.

Taulukko 5. Metsä-Sairilan jätevedenpuhdistamon sähkönkulutus 1.1.2025 - 30.11.2025

Metsä-Sairilan jätevedenpuhdistamon sähkönkulutus 1.1.2025 - 30.11.2025	kWh/kk
tammikuu	273 878
helmikuu	249 021
maaliskuu	257 122
huhtikuu	280 665
toukokuu	283 597
kesäkuu	265 266
heinäkuu	272 073
elokuu	213 653
syyskuu	236 324
lokakuu	285 640
marraskuu	294 242
<b>yhteensä</b>	<b>2 911 481</b>

Jätevedenpuhdistamon energiankulutus oli aika tasaista ympäri vuoden. Kuukausittaista vaihtelua oli vähän, joka voi selittyä sillä, että puhdistamo on sijoitettu maan alle (Ecosairila s.a.). Tällöin ulkoilman lämpötilavaihtelut ja sääolosuhteet eivät pääse vaikuttamaan puhdistusprosessiin. (Ecosairila s.a.).

Ristiinan jätevedenpuhdistamolla kului sähköä samalla aikavälillä 1.1.2025 – 30.11.2025 yhteensä 208 017 kilowattituntia (Turkki 2025). Sähkönkulutus kuukausitasolla on esitetty taulukossa 6.

Taulukko 6. Ristiinan jätevedenpuhdistamon sähkönkulutus 1.1.2025 - 30.11.2025

Ristiinan jätevedenpuhdistamon sähkönkulutus 1.1.2025 - 30.11.2025	kWh/kk
tammikuu	27 064
helmikuu	13 373
maaliskuu	25 745
huhtikuu	25 745
toukokuu	19 804
kesäkuu	13 245
heinäkuu	14 576
elokuu	14 673
syyskuu	14 247
lokakuu	17 305
marraskuu	22 239
<b>yhteensä</b>	<b>208 017</b>

Puhdistamon sähkönkulutuksessa oli jonkin verran kuukausikohtaista vaihtelua. Kylmempinä talvikuukausina sähköä kului enemmän ja lämpimämpinä kevät ja kesäkuukausina puolestaan vähemmän. Ristiinan jätevedenpuhdistamo on maanpäällinen rakennus, joka selittää kylmempien kuukausien suuremman energiankulutuksen.

Yhden jätevesikuution puhdistamiseen kuluva energiamäärä saatiin laskettua jakamalla koko ajanjakson sähkönkulutuksen määrä koko ajanjakson jätevesivirtaaman määrällä yhtälön 2 mukaisesti.

$$\frac{kWh}{m^3} = \frac{kWh_{11kk}}{jvm^3_{11kk}} \quad (2)$$

jossa	$\frac{kWh}{m^3}$	kilowattituntia/kuutiometri puhdistettua jätevettä
	$kWh_{11kk}$	kilowattituntia 11 kuukau- den ajanjaksolla
	$jvm^3_{11kk}$	jätevesimäärä 11 kuukau- den ajanjaksolla

## 9.6 Energiankulutuksen hiilijalanjälki

Hiilijalanjäkilaskenta perustuu kahteen muuttujaan: aktiviteettiin ja päästökertoimeen. Aktiviteettimuuttuja kuvaa mitä tahansa aktiviteettia tai toimintaa, joka aiheuttaa päästöjä. Päästökerroin kuvaa toiminnan intensiteettiä. Toisin sanoen, se on arvo, joka yhdistää toiminnasta aiheutuvan ilmakehään vapautuvan päästön. Esimerkiksi polttoaineen kulutus (l, kg), matkan pituus (km) tai sähkönkulutus (kWh) voidaan määrittää erilaisiksi toiminnoiksi. Päästökertoimet saadaan mallinnettua matemaattisten tutkimusten, artikkeleiden ja raporttien avulla. Hiilijalanjälki saadaan laskettua kertomalla aktiviteettimuuttuja päästökertoimella, kuten yhtälössä 3 esitetään. (Hiilijalanjäljen laskeminen s.a.; Liljeström 2024.)

$$CO_2eq = kWh \cdot \frac{gCO_2}{kWh} \quad (3)$$

jossa	$CO_2eq$	hiilidioksidiekvivalentti
	$kWh$	kilowattitunti
	$\frac{gCO_2}{kWh}$	sähköntuotannon päästökerroin

Yhtälössä  $CO_2eq$  kuvastaa hiilijalanjälkeä (hiilidioksidiekvivalentti). Aktiivimuuttujana käytetään jätevedenpuhdistamon energiankulutusta (kWh). Päästökertoimena on Suomen sähköntuotannon päästökerroin. Laskennassa käytettiin vuoden 2024 sähköntuotannon  $CO_2$ -päästökerointa, joka oli 29,5  $gCO_2/kWh$  (Sähköntuotannon päästökertoimet... s.a.).

## 10 TULOKSET

Metsä-Sairilan jätevedenpuhdistamolla yhden jätevesikuution puhdistamiseen kului energiaa keskimäärin 0,95 kWh. Hule- ja vuotovesien puhdistukseen käytettiin 11 kuukauden aikana energiaa yhteensä noin 521 420 kWh. Laskettu hiilijalanjälki oli 28 gCO<sub>2</sub>eq/m<sup>3</sup> puhdistettua jätevettä. Kaiken hule- ja vuotovesien puhdistamiseen käytetyn energian hiilijalanjälki oli 15 381 970 gCO<sub>2</sub>eq, kilogrammoiksi muutettuna noin 15 382 kgCO<sub>2</sub>eq. Hule- ja vuotovesien osuus puhdistetusta jätevedestä oli noin 18 %.

Ristiinan jätevedenpuhdistamolla yhden jätevesikuution puhdistamiseen kului energiaa keskimäärin 1,10 kWh. Hule- ja vuotovesien puhdistukseen käytettiin 11 kuukauden aikana energiaa yhteensä noin 59 730 kWh. Laskettu hiilijalanjälki oli 32 gCO<sub>2</sub>eq/m<sup>3</sup> puhdistettua jätevettä. Kaiken hule- ja vuotovesien puhdistamiseen käytetyn energian aiheuttama hiilijalanjälki oli 1 762 035 gCO<sub>2</sub>eq, kilogrammoiksi muutettuna noin 1762 kgCO<sub>2</sub>eq. Hule- ja vuotovesien osuus puhdistetusta jätevedestä oli noin 29 %. Tulokset on kerätty taulukkoon 7.

Taulukko 7, Metsä-Sairilan ja Ristiinan jätevedenpuhdistamojen hule- ja vuotovesien puhdistukseen 1.1.2025 – 30.11.2025 aikana käytetyn sähköenergian hiilijalanjälki, sekä hule- ja vuotovesien osuus puhdistetusta jätevedestä.

	Metsä-Sairila	Ristiina
<b>Hiilijalanjälki</b> (kgCO <sub>2</sub> eq/m <sup>3</sup> puhdistettu hule- ja vuotovesi)	<b>2,8</b>	<b>3,2</b>
<b>Hiilijalanjälki</b> (kgCO <sub>2</sub> eq/kaikki puhdistettu hule- ja vuotovesi)	<b>15 382</b>	<b>1 762</b>
Hulevesien osuus puhdistetusta jätevedestä (%)	<b>18</b>	<b>29</b>

Metsä-Sairilan jätevedenpuhdistamolla kului kaiken hule- ja vuotoveden puhdistamiseen energiaa yhteensä 521 423 kWh, joka on noin 18 % kaikesta puhdistamon käyttämästä sähköenergiasta. Ristiinassa energiaa kului 59 730 kWh, eli noin 29 % puhdistamon sähkönkulutuksesta.

## 11 TULOSTEN TULKINTA

Hule- ja vuotovesien puhdistamiseen kuluu suuria määriä energiaa, joka taas kasvattaa puhdistamon hiilijalanjälkeä. Metsä-Sairilan jätevedenpuhdistamon hule- ja vuotovesien puhdistamiseen kuluvan sähköenergian hiilijalanjälki oli suhteessa pienempi, kuin Ristiinan jätevedenpuhdistamon. Aiemmat tutkimustulokset tukevat tässä opinnäytetyössä saatuja tuloksia (Gurung ym. 2018, 672).

Suomalaisen keskimääräinen hiilijalanjälki on noin 9 610 kgCO<sub>2</sub>eq. Keskimääräiset päästöt henkeä kohti maailmanlaajuisesti vuonna 2023 olivat 4 700 kgCO<sub>2</sub>eq, eli suomalaisen hiilijalanjälki on lähes kaksinkertainen keskiarvoon verrattuna (Average per... s.a.). Metsä-Sairilan jätevedenpuhdistamolla 11 kuukauden aikana puhdistettujen hule- ja vuotovesien puhdistukseen kulutetun energian hiilijalanjälki vastaa noin 1,6 suomalaisen vuosittaista hiilijalanjälkeä. Jos hiilijalanjälkeä verrataan autoilun aiheuttamiin päästöihin, Metsä-Sairilan jätevedenpuhdistamon hule- ja vuotovesien puhdistuksen sähkönkulutuksen aiheuttamat päästöt vastaavat 1 789 kilometrin autolla ajoa (Interactive map... 2022). Ristiinassa hule- ja vuotovesien puhdistukseen käytetyn energian hiilijalanjälki vastaa 0,2 suomalaisen vuosittaista hiilijalanjälkeä. Määrä vastaa 205 kilometrin autolla ajoa (Interactive map... 2022).

Metsä-Sairilan ja Ristiinan jätevedenpuhdistamolle saapuvia hulevesimääriä verrattiin muihin vastaavan kokoluokan laitoksiin. Laitosten koko määritettiin kunkin laitoksen kohdalla laskutetun puhtaan veden määrän mukaan. Muiden laitosten tiedot kerättiin Vesihuoltolaitosten tunnuslukujärjestelmän raportista (2025). Raportin vesilaitosdata on kerätty vuodelta 2024. Laitosvertailu on esitetty taulukossa 8.

Taulukko 8. Metsä-Sairilan- ja Ristiinan jätevedenpuhdistamojen hule- ja vuotovesi määrien vertailu muiden saman kokoluokan laitosten kanssa.

Laitos (isot)	Laskutettu vesimäärä, puhdas vesi (m <sup>3</sup> )	Hule- ja vuotovesien osuus puhdistetusta jätevedestä (%)
Liikelaitos Salon Vesi	2 392 000	56,75
Rauman Vesi	2 608 000	49,83
Liikelaitos Porvoon vesi	2 764 000	47,96
Järvenpään vesi	2 349 000	43,44
Keravan kaupunkitekniikka, infra-palvelut, Vesihuolto	2 845 000	35,04
Riihimäen Vesi	2 219 000	33,43
<b>Metsä-Sairilan jäteveden puhdistamo</b>	<b>2 491 970</b>	<b>17,91</b>
Laitos (pienet)	Laskutettu vesimäärä, puhdas vesi (m <sup>3</sup> )	Hule- ja vuotovesien osuus puhdistetusta jätevedestä (%)
Urjalan kunnan vesihuoltolaitos	125 100	73,69
Sysmän kunnan vesi- ja viemärlaitos	142 900	61,02
Kangasniemen kunnan vesihuoltolaitos	122 000	50,42
Joutsan Vesihuolto Oy	125 100	37,37
<b>Ristiinan jätevedenpuhdistamo</b>	<b>138 332</b>	<b>28,71</b>
Joroisten kunnan vesilaitos	142 000	25,73
Parikkalan kunta, vesihuoltolaitos	124 700	24,36

Isojen laitosten suurin hulevesimäärä oli Liikelaitos Salon Vedellä ja pienin Metsä-Sairilan jätevedenpuhdistamolla. Pienten laitosten kohdalla suurin hulevesimäärä oli Urjalan kunnan vesihuoltolaitoksella ja pienin Parikkalan kunnan vesihuoltolaitoksella. Ristiina sijoittui vertailussa kolmen vähiten hule- ja vuotovesiä käsittelevän laitoksen joukkoon. Vertailussa hule- ja vuotovesien osuudet jätevesissä vaihtelivat paljon. Tarkastelussa tulee myös ottaa huomioon, että Metsä-Sairilan- ja Ristiinan jätevedenpuhdistamojen tiedot on kerätty 11 kuukauden ajalta, kun taas muiden puhdistamojen tiedot ovat kokonaiselta kalenterivuodelta.

Hule- ja vuotovesien määrien vertailu säätietoihin on suuntaa antavaa. Ristiinan jätevedenpuhdistamon kohdalla välimatka Mikkelin lentoaseman säähavaintopisteen ja puhdistamon välillä on suuri. Sateet voivat olla hyvin paikallisia, joten varmuutta sademäärien vaikutuksista hule- ja vuotovesimääriin ei voida pitää täysin luotettavana. Puumalan Pistohiekan pohjavedenkorkeuden

mittauspisteen ja jätevedenpuhdistamoiden välinen etäisyys oli myös suuri. Näin ollen tämänkin vertailu on suuntaa antava.

## 12 JOHTOPÄÄTÖKSET

Tämä opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää, kuinka hule- ja vuotovedet vaikuttavat kokoluokaltaan pienen ja suuren jätevedenpuhdistamon energiankulutukseen ja hiilijalanjälkeen. Opinnäytetyön tutkimus oli aiheeltaan ja alueeltaan hyvin rajattu. Molempien tarkasteltavien puhdistamojen kohdalla hule- ja vuotovesien puhdistukseen kulutettiin merkittävä määrä energiaa, joka suhteessa kasvattaa puhdistamon hiilijalanjälkeä.

Puhdistamovertailu antaa puhdistamokohtaisen kuvan siitä, missä kunnossa alueen viemäriverkosto on. Metsä-Sairilan jätevedenpuhdistamon alueella verkosto vaikuttaa olevan suhteellisen hyvässä kunnossa, ja hulevesiä käsitellään asianmukaisesti, koska hule- ja vuotovesiä kulkeutuu puhdistamolle vähän verrattuna muihin vastaavan kokoluokan laitoksiin. Ristiinan puhdistamolla puhdistetaan hule- ja vuotovesiä kolmanneksi vähiten. Epävarmuutta vertailussa kuitenkin aiheuttaa se, ettei ole tiedossa, onko vertailussa mukana olevilla laitoksilla yksi vai useampia puhdistamoja. Vertailu olisi myös tarkempi, jos Metsä-Sairilan ja Ristiinan jätevedenpuhdistamojen tietoja olisi ollut saatavilla 12 kuukauden ajalta.

Jätevedenpuhdistamojen energiankulutusta ja hiilijalanjälkeä voidaan pienentää estämällä hule- ja vuotovesien kulkeutuminen puhdistamolle. Hulevedet tulisi ensisijaisesti käsitellä siellä, missä niitä syntyy. Erilaiset hulevesirakenteet ja vettä läpäisevien pintojen suosiminen kaupunkiympäristössä vähentävät sade- ja sulamisvesien kulkeutumista jätevedenpuhdistamolle. Vanhoista yhteisviemäreistä luopumisella ja hulevesiviemäroinnin rakentamisella saadaan vähennettyä puhdistamoiden hulevesikuormitusta. Vuotovesiä pääsee viemäriverkkoon suoraan maaperästä heikkojen putkiliitosten, rikkiäisten putkien, huokoisten putkirakenteiden tai rikkiäisten tarkastuskaivojen kautta. Huonokuntoisten viemäriverkoston osien kunnostuksella voidaan vähentää vuotovesien kulkeutumista jätevedenpuhdistamolle. Näillä keinoilla on mahdollista vähentää puhdistettavien vesien määriä, joka suhteessa vaikuttaa puhdistamon energiankulutukseen ja hiilijalanjälkeen.

## LÄHTEET

Arctic Water Excellence – AWE s.a. Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.xamk.fi/hanke/awe/> [viitattu 20.2.2026].

Abyar, H. & Nowrouzi, M. 2023. A comprehensive framework for eco-environmental impact evaluation of wastewater treatment plants: Integrating carbon-footprint, energy footprint, toxicity, and economic assessments. *Journal of Environmental Management*, Volume 348. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://doi-org.ezproxy.xamk.fi/10.1016/j.jenvman.2023.119255> [viitattu 12.1.2026].

Average per capita carbon dioxide emissions worldwide from 1960 to 2023 s.a. Statista. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.statista.com/statistics/268753/co2-emissions-per-capita-worldwide-since-1990/> [viitattu 2.3.2026].

Alueidenkäyttölaki 5.2.1999/132.

Alfa Laval AS-H Iso-Disc® Cloth Media Filter s.a. Alfa-Laval. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://www.alfalaval.com/products/separation/filters-and-strainers/ash-iso-disc/> [viitattu 22.9.2025].

CO2-termit tutuiksi s.a. OpenCO2net Oy. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.openco2.net/fi/co2-tietoa/> [viitattu 8.1.2026].

Dityppioksidi s.a. Ilmatieteenlaitos. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://www.ilmasto-opas.fi/artikkelit/dityppioksidi> [viitattu 12.2.2026].

Ecosairila s.a. Blue Economy Mikkeli. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://ecosairila.fi/3d-mallinnus/> [viitattu 7.8.2025].

Energiätehokas ilmastus. 2018. Motiva Oy. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://www.motiva.fi/tietopankki/energiatehokas-jateveden-puhdistus-ja-lietteen-kasittely/> [viitattu 1.10.2025].

Enon jäteveden puhdistamo s.a. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.joensuuvesi.fi/enon-jatevedenpuhdistamo> [viitattu 30.10.2025].

Finnilä, J. 2020. Membraanibioreaktorin suodatuskapasiteettiin vaikuttavat tekijät. LUT-yliopisto. School of Engineering science, Kemiantechniikka. Diplomityö. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://urn.fi/URN:NBN:fi-fe2020052739398> [viitattu 9.3.2026].

Glossary:Carbon dioxide equivalent s.a. Eurostat. WWW-dokumentti. Saatavissa: [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Glossary:Carbon\\_dioxide\\_equivalent](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Glossary:Carbon_dioxide_equivalent) [viitattu 8.1.2026].

Gurung, K., Tang, W.Z. & Sillanpää, M. 2018. Unit Energy Consumption as Benchmark to Select Energy Positive Retrofitting Strategies for Finnish Wastewater Treatment Plants (WWTPs): a Case Study of Mikkeli WWTP. *Environmental Processes* 5, 667–681. PDF-dokumentti. Päivitetty 10.11.2018. Saatavissa: <https://doi.org/10.1007/s40710-018-0310-y> [viitattu 10.9.2025].

Havaintojen lataus s.a. Ilmatieteen laitos. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/havaintojen-lataus> [viitattu 2.3.2026].

Hietamies, I. 2024. Mikkelin Ristiinan Yöveden laatu vuonna 2023 ja veden laadun kehitys vuosina 1990–2023. Saimaan vesiensuojeluyhdistys ry. Saimaan vesi- ja ympäristötutkimus Oy. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://www.svsy.fi/yhdistys/yovesi/> [viitattu 22.12.2025].

Hiilidioksidi ja hiilen kiertokulku s.a. Ilmatieteenlaitos. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.ilmasto-opas.fi/artikkelit/hiilidioksidi-ja-hiilen-kiertokulku> [viitattu 12.2.2026].

Hiilijalanjäljen laskeminen s.a. Biocode. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://biocode.io/fi/hiilijalanjaljen-laskeminen/> [viitattu 5.1.2025].

Hiilijalanjälki s.a. Sitra. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.sitra.fi/tulevaisuussanasto/hiilijalanjalki/> [viitattu 5.1.2025].

Hulevesien hallinnan vastuut ja ohjeistus. 2022. Vesi.fi. Suomen ympäristökeskus. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.vesi.fi/vesitieto/hulevesien-hallinnan-vastuut-ja-ohjeistus/> [viitattu 6.5.2025].

Hulevesiopas. 2012. Suomen kuntaliitto. PDF-Dokumentti. Saatavissa: <https://www.kuntaliitto.fi/julkaisut/2012/1481-hulevesiopas> [viitattu 6.5.2025].

Interactive map – CO2 emissions from new passenger cars in the EU, by country. 2022. Acea. WWW-dokumentti. Päivitetty 1.10.2022. Saatavissa: <https://www.acea.auto/figure/interactive-map-co2-emissions-from-new-passenger-cars-in-the-eu-by-country/> [viitattu 2.3.2025].

Jätevedenpuhdistamot s.a. Mikkelin vesilaitos. WWW-dokumentti. Saatavissa: [https://mikkelinvesi.fi/jateveden\\_puhdistus](https://mikkelinvesi.fi/jateveden_puhdistus) [viitattu 22.9.2025].

Jätevedenpuhdistamolla tapahtuu. 2019. Vesi.fi. Suomen ympäristökeskus. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.vesi.fi/vesitieto/jatevedenpuhdistamolla-tapahtuu/> [viitattu 7.5.2025].

Laitinen, J., Nieminen, J., Saarinen, R. & Toivikko, S. 2014. Paras käyttökelpoinen tekniikka (BAT): Yhdyskuntien jätevedenpuhdistamot. Ympäristöministeriö. Suomen ympäristö 3/2014. PDF-dokumentti. Saatavissa: <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-11-4286-4> [viitattu 6.5.2025].

Lehtoranta, S., Laukka, V., Mölsä, K., Linjama, J., Pesu, J. & Laitinen, J. 2023. Vesihuollon kasvihuonekaasupäästöt Suomessa ja päästövähennystoimien vaikuttavuuden arviointi. Suomen ympäristökeskuksen raportteja; 31/2023. Suomen ympäristökeskus. PDF-dokumentti. Saatavissa: <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-11-5599-4> [viitattu 10.8.2025].

Liljeström, M. 2024. Mikä on päästökerroin ja miten se lasketaan? EcoOnline. WWW-dokumentti. Päivitetty 25.3.2024. Saatavissa: <https://www.ecoonline.com/fi/blogi/paastokerroin/> [viitattu 12.1.2026].

Lindsey, R. 2025. Climate change: atmospheric carbon dioxide. National Oceanic and Atmospheric Administration. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.climate.gov/news-features/understanding-climate/climate-change-atmospheric-carbon-dioxide> [viitattu 12.2.2026].

Liu, Z., Li, X., Hu, Z., Cao, R., Han, Y., Wu, L. 2025. Time lag effect of precipitation on groundwater level based on wavelet analysis in the People's Victory Canal irrigation area, China. *Sci Rep* 15. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://doi.org/10.1038/s41598-025-96644-w> [viitattu 3.2.2026].

Google Maps s.a. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.google.com/maps> [viitattu 6.3.2026].

Metaani s.a. Ilmatieteenlaitos. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://www.il-masto-opas.fi/artikkelit/metaani> [viitattu 12.2.2026].

Mihin Viemäri vie jäteveden? 2019. Vesi.fi. Suomen ympäristökeskus. WWW-dokumentti. Päivitetty: 28.10.2019. Saatavissa: <https://www.vesi.fi/vesitieto/mihin-viemari-vie-jateveden/> [viitattu 11.6.2025].

Mitä on hulevesi? 2019. Vesi.fi. Suomen ympäristökeskus. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.vesi.fi/vesitieto/mita-on-hulevesi/> [viitattu 6.5.2025].

Muinonen, A. s.a. Metsä-Sairilan MBR-kalvobioreaktori jätevedenpuhdistamo: Tavoitteesta todellisuuteen MISONET-automaatiojärjestelmällä. Mipro Oy. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://mipro.fi/media/blogi/metsa-sairilan-mbr-kalvobioreaktori-jatevedenpuhdistamo-tavoitteesta-todellisuuteen-misonet-automaatiojarjestelmalla/> [viitattu 7.8.2025].

Pekonen, S. 2020. Jätevedenpuhdistamon lähtevien vesien vertailu – Ristiina (Iso-Disc) ja Kenkäveronniemi (MBR-koelaitos). Savonia-Ammattikorkeakoulu. Ympäristötekniikan tutkinto-ohjelma. Opinnäyte. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2020120826722> [viitattu 22.9.2025].

Ratkaisuja hulevesien hallintaan. 2022. Vesi.fi. Suomen ympäristökeskus. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.vesi.fi/vesitieto/ratkaisuja-hulevesien-hallintaan/> [viitattu 6.5.2025].

RT 89-11196. 2015. Rakennustieto. Hulevesien hallinta.

Keskivertosuomalaisen hiilijalanjälki. 2018. Sitra. WWW-dokumentti. Päivitetty 22.12.2023. Saatavissa: <https://www.sitra.fi/artikkelit/keskivertosuomalaisen-hiilijalanjalki/> [viitattu 2.3.2026].

Sähkötuotannon päästökertoimet ja uusiutuvan sähkön tuotannon osuus, 2000–2024 s.a. Tilastokeskus. WWW-dokumentti. Saatavissa: [https://pxdata.stat.fi/PXWeb/pxweb/fi/StatFin/StatFin\\_ehk/stat-fin\\_ehk\\_pxt\\_14qt.px](https://pxdata.stat.fi/PXWeb/pxweb/fi/StatFin/StatFin_ehk/stat-fin_ehk_pxt_14qt.px) [viitattu 12.1.2025].

Turkki, R. 2025. Vesihuoltopäällikkö. Sähköpostikeskustelu 14.8.2025 – 23.12.2025. Mikkelin Vesilaitos.

Valli, E. 2023. Hiilijalanjälki – Mitä se oikeastaan tarkoittaa? Biocode. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://biocode.io/fi/mika-on-hiilijalanjalki/> [viitattu 11.2.2026].

Valtioneuvoston asetus yhdyskuntajätevesistä 12.10.2006/888.

Karttapalvelu s.a. Vesi.fi. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.vesi.fi/karttapalvelu/> [viitattu 3.2.2026].

Vesihuollon haasteet s.a. Maa- ja metsätalousministeriö. WWW-dokumentti. Saatavissa: [https://mmm.fi/vesi/vesihuolto\\_haasteet](https://mmm.fi/vesi/vesihuolto_haasteet) [viitattu 26.6.2025].

Vesihuoltolaitosten tunnuslukujärjestelmän raportti 2024. 2025. Suomen ympäristöopisto Sykli Oy ja Osuuskunta Eco-One. Suomen Vesilaitosyhdistys ry. Vesilaitosyhdistyksen monistesarja nro 30. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://www.vesilaitosyhdistys.fi/verkkokauppa/tuotteet/tunnuslukujarjestel-man-raportti-2024/> [viitattu 3.1.2026].

Vesihuoltolaki 9.2.2001/119.

Vesijohtoverkostot s.a. Mikkelin vesilaitos. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://mikkelinvesi.fi/verkosto> [viitattu 22.9.2025].

Vesilaitosdata s.a. EcoSairila Mikkeli. Blue Economy Mikkeli. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://ecosairila.fi/blue-economy-mikkeli/jatevedenpuhdistamo/vesilaitosdata/> [viitattu 10.5.2025].

Yhdyskuntajätevesien aiheuttama vesistökuormitus. 2022. Vesi.fi. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.vesi.fi/vesitieto/yhdyskuntajatevesien-aiheuttama-vesistokuormitus/> [viitattu 10.8.2025].

Yhdyskuntalietteen käsittelyn ja hyödyntämisen nykytilannekatsaus vuosilta 2019–2020. 2021. Vesilaitosyhdistys. Vesilaitosyhdistyksen monistesarja nro 71. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://www.vesilaitosyhdistys.fi/verkko-kauppa/tuotteet/yhdyskuntalietteen-kasittelyn-ja-hyodyntamisen-nykytilannekatsaus/> [viitattu 17.6.2025].

Ympäristönsuojelulaki 27.6.2014/527.

Ympäristöministeriön asetus rakennusten vesi- ja viemärlaitteistoista 22.12.2017/1047.