Opinnäytetyö

Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka, insinööri AMK

Infratekniikka

2022

Jani Aalto

JÄTEVEDENPUMPPAAMON HYÖTYSUHTEEN PARANTAMINEN

– Kaarinan kaupunki

TURKU AMK
TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

OPINNÄYTETYÖ (AMK) | TIIVISTELMÄ

TURUN AMMATTIKORKEAKOULU

Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka, insinööri

Ohjaaja DI Pirjo Oksanen

2022 | 48 sivua

Jani Aalto

JÄTEVEDENPUMPPAAMON HYÖTYSUHTEEN PARANTAMINEN

- Kaarinan kaupunki

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää kaupungin nykyisten jätevedenpumppaamojen energiatehokkuutta sekä vertailla sitä muiden vastaavien pumppaamoiden kanssa. Lisäksi kehitettiin parannusehdotuksia pumppaamoiden nykytilanteeseen. Parannusehdotusten avulla pyrittiin optimoimaan yksittäisten pumppaamoiden hyötysuhdetta ja vähentämään energiankulutusta. Energiatehokkuudessa on kyse siitä, että mahdollisimman pienellä energialla saadaan aikaan mahdollisimman suuri työ. Hyötysuhde taas kuvaa, kuinka suuri energianhukka syntyy, kun esimerkiksi sähköenergia muunnetaan liike-energiaksi.

Toimiva vesihuolto on yksi nyky-yhteiskunnan peruspilareista ja jo pienikin katkos vedenjakelussa aiheuttaa laajaa yhteiskunnallista haittaa. Vesihuollon tehtävänä onkin varmistaa veden riittävä saatavuus sekä sen puhtaus. Vesihuolto jakautuu vesilaitokseen, joka huolehtii puhtaan veden jakelusta ja laadusta, sekä viemärilaitokseen, joka vastaa ensisijaisesti jätevesien keräämisestä ja puhdistamisesta. Palveluiden tehostamisen myötä useissa kaupungeissa nämä kaksi laitosta on yhdistetty vesihuoltolaitokseksi.

Paineellista jätevesiviemäröintiä tarvitaan, kun perinteisen painovoimaisen viettoviemärin rakentaminen ei ole järkevästi toteutettavissa. Tällöin veden liikuttaminen paineen avulla tehdään pumppaamoiden toimesta. Niiden rakenne on varsin yksinkertainen, sillä vesi puretaan tuloputkesta imualtaaseen, josta se siirretään pumppujen avulla lähtöputkeen. Pumppujen lisäksi tarvitaan suuri määrä mittareita ja automaatiota, jotta pumppaamon toiminta olisi helposti seurattavissa ja ohjattavissa. Pumppaamoympäristö on varsin haastava paikka elektroniikalle, mikä aiheuttaa paljon huoltokäyntejä ja lyhyen elinkaaren laitteistolle.

Energian hinnan noustessa ja tiivistyvien ilmastotavoitteiden myötä halutaan kiinnittää enemmän huomiota pumppaamoiden energiatehokkuuteen. EU-tasolla käytetään pumppaamoihin valtava määrä energiaa, josta osa on pelkkää hukkaa, esimerkiksi pumppujen ylimitoituksen takia. Energiatehokkuutta parantaessa pitää keskittyä pieniin palasiin kerrallaan, mutta tuloksia saadaan vasta kokonaisuuksien hallinnasta.

Kaarinan kaupungin noin sadasta pumppaamosta valittiin tarkasteluun neljä. Valitussa ryhmässä on: kaksi suurta pumppaamoa, yksi pieni ja yksi keskikokoinen pumppaamo. Suuria pumppaamoita on valitussa ryhmässä kaksi, koska tehonsa vuoksi niiden energiankulutus on suurta. Pumppaamoiden energiankulutusta verrattiin kirjallisuuslähteiden perusteella. Vertailussa kaupungin pumppaamoiden energiankulutus ei ollut poikkeuksellisen suurta.

ASIASANAT:

pumppaamot, jätevesi, vesihuolto, energiatehokkuus

BACHELOR´S / MASTER'S | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Civil Engineering

Instructor Pirjo Oksanen (M. Sc. Eng.)

2022 | number of pages 48

Jani Aalto

IMPROVING THE EFFICIENCY OF A WASTEWATER PUMP STATION

- city of Kaarina

This thesis aimed to examine the energy efficiency of current wastewater pumping stations in the city of Kaarina and compared them with other similar pumping stations. In addition, suggestions for improving the situation had been developed. The suggestions aimed to optimize the efficiency of each station and reduce their consumption of energy. Energy efficiency means getting as much work as possible done with as little energy as possible and efficiency describes how much energy is lost for example when electrical energy is converted into kinetic energy.

A well-functioning water supply is the cornerstone of modern society and even a small interruption in water supply causes disturbance in society. The main task of the water supply is to ensure the availability of water and its purity. Water supply is divided into the waterworks which take care of the distribution and quality of clean water, and a sewage plant which is responsible for the collection and treatment of wastewater. With the streamlining of services, the two plants have often been merged into a single water supply plant.

A pressure sewer is needed when the construction of a traditional gravity-based sewer is not reasonably feasible. In this case, the water is moved by pumping stations. Their structure is quite simple. Water is discharged from the inlet pipe to the suction tank and from there it is transferred to the outlet pipe. A pumping station also needs many gauges and other equipment that are required to make it easy to monitor and control the operation of the pumping station. The environment of the pumping station is quite a challenging place for electronics. This causes a lot of maintenance and a short life cycle for the equipment.

With rising energy prices and climate goals, people want to pay more attention to the energy efficiency of pumping stations. At the EU level, pumping stations use a huge amount of energy and some of it is completely wasted for example due to the oversizing of pumps. When improving energy efficiency, it is crucial to focus on small pieces at a time, but the results can only be obtained by managing the entities.

Of the approximately 100 pumping stations in the city of Kaarina, four were selected for review. The selected group includes: two large pumping stations, one medium and one small pumping station. There are two large pumping stations in the selected group because their large size and capacity mean they have high energy consumption. Their energy consumption was compared based on literature sources. In comparison, the energy consumption of the city's pumping stations was not exceptionally high.

KEYWORDS:

pumping stations, sewage, water services, energy efficiency

SISÄLTÖ

1 JOHDANTO **7**

2 VESIHUOLTOJÄRJESTELMÄ **8**

2.1 Yleistä 8

2.2 Jätevesiverkosto 10

2.3 Jätevedenpumppaamot 11

2.4 Eri pumpputyypit 13

2.5 Keskipakopumppu 13

2.5.1 Rakenne 13

2.5.2 Ominaiskäyrä 14

2.5.3 Kytkentä 15

3 ENERGIATEHOKKUUS **16**

3.1 Pumppaamon energiatehokkuus 16

3.2 Pumppaamon mitoitus 17

3.3 Systeemin hyötysuhde 18

3.4 Pumppujen toimintavarmuus 19

3.5 Säätöjen vaikutus energiatehokkuuteen 19

3.5.1 Kuristussäätö 20

3.5.2 On/off säätö 20

3.5.3 Juoksupyörän pyörimisnopeussäätö 21

3.6 Muita energiatehokkuuteen vaikuttavia tekijöitä 24

4 TILANNE KAARINASSA **26**

4.1 Tutkittavat pumppaamot 26

4.1.1 Koskitie JVP 26

4.1.2 Rojola JVP 27

4.1.3 Ylikylä JVP 28

4.1.4 Ladjakoski JVP 29

4.2 Tilastoituja sademääriä Kaarinassa 30

5 ENERGIATEHOKKUUDEN VERTAILU **32**

5.1 Vertailutavat 32

5.2 Vertailu ominaisenergian avulla 32

5.3 Vertailu ETpu-menetelmällä 33
5.4 Vertailu kirjallisuuslähteistä 36
5.4.1 Koskitie JVP 36
5.4.2 Rojola JVP 36
5.4.3 Ylikylä JVP 38
5.4.4 Ladjakoski JVP 38
5.5 Sademäärät vertailukohteissa 39
5.6 Vertailun tulokset 40

6 ENERGIATEHOKKUUDEN PARANTAMINEN 41
6.1 Mallintamisen hyödyt 41
6.2 Jatkuva seuranta 41
6.3 Säätöjen vaikutus 42
6.3.1 Pumpun säädöt 42
6.3.2 Taajuusmuuttajan käyttö 42
6.4 Verkoston kunto 43

7 JOHTOPÄÄTÖKSET 44
7.1 Energiatehokkuus 44
7.2 Parannustoimenpiteet 45
7.3 Energiatehokkuuden mittaamisen kehittäminen 46

LÄHTEET 47

KUVAT

Kuva 1. Haara- ja kiertojärjestelmä. (RIL 124-2) 8
Kuva 2. Jätevesiverkosto. (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, 2003) 10
Kuva 3. Eri pumppaamomalleja. A) Uppopumppaamo. B) Mökkipumppaamo. C) Turvapumppaamo. D) Itseimeväpumppaamo. E) Paineenkorotuspumppaamo. (Sipponen, 2018) 12
Kuva 4. Keskipakopumpun rakenne. (Sipponen, 2018) 14

KUVIOT

Kuvio 1. Vesihuollon yleiskaavio. 9
Kuvio 2. Keskipakopumpun QH-koordinaatisto. (Viitala, 2015) 15
Kuvio 3. Pumppauksen säästöpotentiaali Motor Challenge -hankkeen mukaan. (Motiva Oy, 2011) 16
Kuvio 4. Pumpun toiminnan muuttuminen kuristussäädössä. (Sipponen, 2018) 20
Kuvio 5. Pyörimisnopeuden muutos pumpun toimintaan. (Sipponen, 2018) 22
Kuvio 6. Pumppauksen systeemikäyrä virtauksen aiheuttamilla painehäviöillä. (Viitala, 2015) 23
Kuvio 7. Staattisen nostokorkeuden suuren osuuden vaikutus pumpun systeemikäyrään. (Viitala, 2015) 24

TAULUKOT

Taulukko 1. Eri pumpputyyppien toiminta-alue. (Motiva Oy, 2011) 13
Taulukko 2. Koskitien JVP energiankulutus. 27
Taulukko 3. Rojolan JVP energiankulutus. 28
Taulukko 4. Ylikylän JVP energiankulutus. 29
Taulukko 5. Ladjakosken JVP energiankulutus. 30
Taulukko 6. Historiallinen sademäärä Kaarinassa 31
Taulukko 7. ETpu-menetelmä. (Pulli, 2015) 35
Taulukko 8. Kuhasalontien pumppaamon energiankulutus. 37
Taulukko 9. Rantapuiston pumppaamon energiankulutus. 39

1 JOHDANTO

Jätevesipumppaamojen merkitys vesihuollossa on nykyään suuri, sillä jätevesiä keskitetään puhdistamoihin pitkien välimatkojen päästä, jolloin perinteisiä viettoviemäreitä ei ole järkevää tai edes mahdollista käyttää. Pumppaamojen käyttö vesihuollossa on vain muutamia vuosikymmeniä vanha menetelmä, eikä niistä ole tehty vielä laajalti tutkimusta. Aiheeseen on kuitenkin alettu keskittyä enemmän ja joitain tutkimuksia energiankulutuksesta sekä sen parantamisesta on tehty.

Energiatehokkuus on sitä, kun mahdollisimman pienellä energialla yritetään saada aikaan mahdollisimman suuri hyöty. Sen hallinta on tärkeä osa vesihuollon järjestelmien ylläpitoa, koska sitä parantamalla saadaan aikaan suoria kustannussäästöjä järjestelmistä huolehtivalle taholle. Hyötysuhteella taas kuvataan, kuinka suuri osa alkuperäisesti energiasta pystytään muuntamaan toiseen muotoon. Energiankulutuksen vähentämisen merkitys korostuu entisestään energian hinnan noustessa ja kun tavoitellaan tiukentuvia ilmasto- ja ympäristötavoitteita.

Kaarinan kaupungin tarpeena on selvittää omien pumppaamojen tilannetta ja miten sitä voitaisiin parantaa. Kaarinassa on paljon pumppaamoita, jotka sijaitsevat varsin laajalla alueella. Pumppaamoiden lukumäärä ja hajanaisuus luovat kaupungille haasteita niiden ylläpitoon ja kehittämiseen liittyen. Lisäksi etäisyys Turussa sijaitsevalle puhdistamolle on varsin pitkä, mikä nostaa suoraan jätevesijärjestelmän kustannuksia esimerkiksi suurentuneiden painehäviöiden takia. Pumppaamoiden suuri määrä hankaloittaa myös niiden huoltoa ja saneeraustöitä. Se taas kasvattaa kustannuksia, koska pumppaamoilta vaadittu toimintavarmuus edellyttää säännöllisiä huoltotoimenpiteitä.

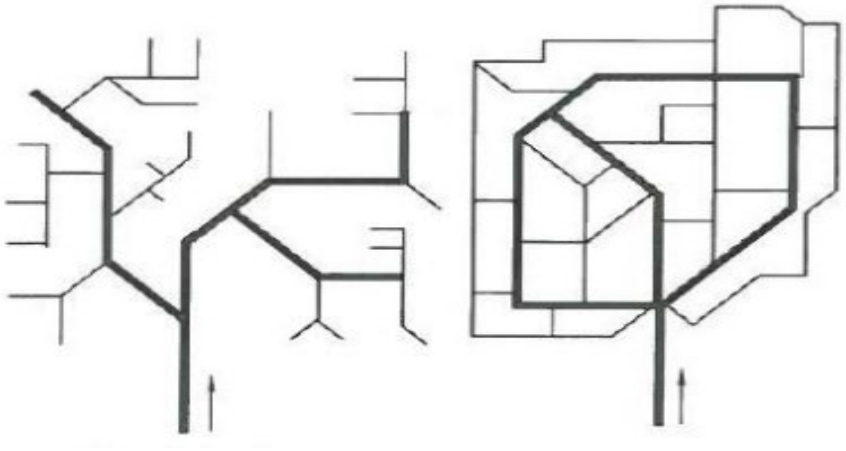
Tämän opinnäytetyön tavoitteena on selvittää kaupungin nykyisten pumppaamojen energiatehokkuutta ja vertailla sitä muiden pumppaamoiden kanssa. Lisäksi tutkitaan nykytilannetta ja etsitään parannusehdotuksia tilanteen kehittämiseksi. Työssä etsitään myös keinoja optimoida yksittäisten pumppaamoiden energiatehokkuutta energian kulutuksen pienentämisen kautta ja näin parantamaan pumppaamisen kokonaisenergiankulutusta.

2 VESIHUOLTOJÄRJESTELMÄ

2.1 Yleistä

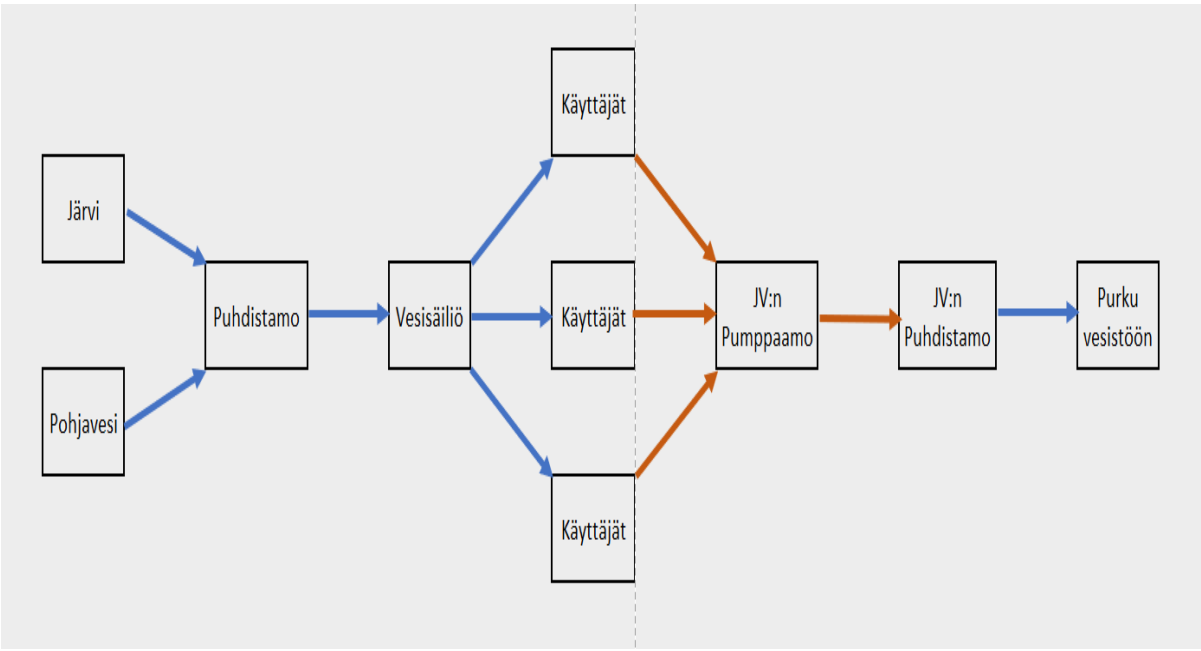
Toimiva vesihuolto on nykyaikaisessa yhteiskunnassa välttämättömyys, sillä vettä hyödynnetään yhteiskunnassa lukuisiin eri tarkoituksiin. Teollisuuden ja palveluiden lisäksi kotitaloudet ovat suuria vedenkäyttäjiä. Veden merkitys ja erityisesti tarve sen jatkuvalle saatavuudelle on vain lisääntynyt ja jo pienet katkot vedenjakelussa voivat aiheuttaa laajoja yhteiskunnallisia häiriöitä. (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, 2003)

Vesihuollon tehtävänä on ensisijaisesti varmistaa veden riittävä saatavuus käyttäjille sekä sosiaali- ja terveysministeriön talousvesiasetuksen asettamat vaatimukset veden laadusta. Saatavuuden varmistamiseksi verkostot pyritään rakentamaan kiertojärjestelmänä päättyvien haarojen sijaan. Lisäksi verkostoon asennetaan useita venttiilejä, joiden avulla huoltotoimenpiteet onnistuvat ilman koko alueen vedenjakelun katkaisemista. Haarajärjestelmää käytetään paljon haja-asutusalueilla, sillä sen rakentamis- ja huoltokustannukset ovat edullisempia kuin kiertojärjestelmässä. Haarajärjestelmän huoltotoimenpiteet eivät haja-asutusalueella kosketa suurta käyttäjämäärää, joten senkään perusteella ei ole tehokasta käyttää kiertojärjestelmää siellä. (Myllylä, 2012) Haara- ja kiertojärjestelmän erot nähdään kuvassa 1.



Kuva 1. Haara- ja kiertojärjestelmä. (RIL 124-2)

Vesihuoltojärjestelmä koostuu vesilaitoksesta, joka huolehtii puhtaan veden kuljetuksesta käyttäjille, sen hankinnasta ja saatavuudesta, sekä viemärilaitoksesta, jonka tehtävänä on haitallisten vesien, kuten viemäri- ja huleveden, keräämisestä, käsittelystä ja kuljetuksesta. Eri laitoksilla voi olla eroa toimintatavoissa ja vastuun jakamisessa, eivätkä esimerkiksi kaikki viemärilaitokset huolehdi jäteveden käsittelystä. Nykyisin palveluiden tehostamisen myötä, varsinkin pienemmissä kunnissa, on päädytty yhdistämään viemäri- ja vesilaitos yhdeksi kokonaisuudeksi. Kuviossa 1 esitellään veden kulku vesihuollossa.

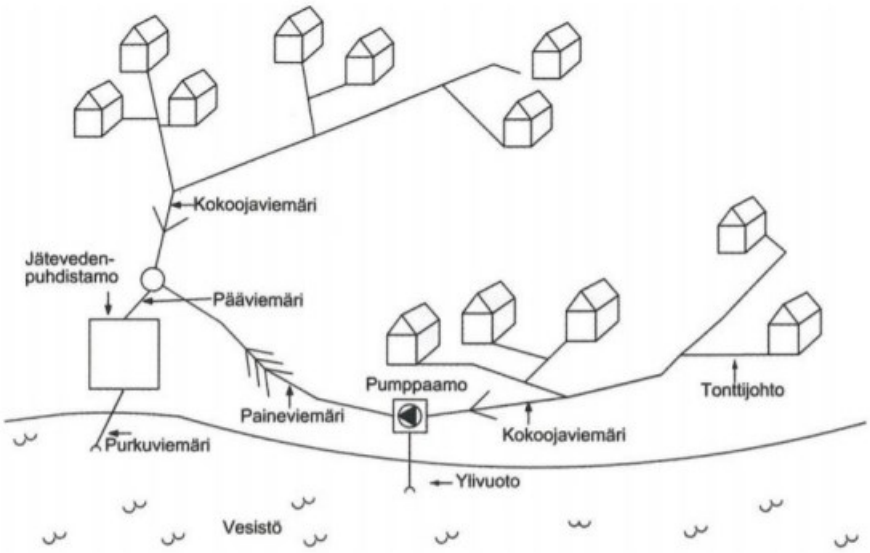


Kuvio 1. Vesihuollon yleiskaavio.

Vesilaitos ottaa vettä eri lähteistä, kuten pohjavedestä, lähteistä, järvistä tai joista. Veden otto pintavedestä on vähitellen korvautunut pohjavedellä tai tekopohjavedellä. Käyttökierron jälkeen kaikki jätevesi ohjautuu vedenpuhdistamolle, josta se ohjataan useiden puhdistusprosessien jälkeen takaisin vesistöön osaksi luonnollista veden kiertokulkua. (Hakala, 2019)

2.2 Jätevesiverkosto

Jätevesiverkosto on rakennettu puumaisesti haarautuvaksi, jotta se voi helposti kerätä kaikki yhdyskunnassa syntyneet jätevedet ja ohjata ne jätevedenpuhdistamolle. Jätevesiverkostoon on aiemmin ohjattu myös sulamisesta ja sateesta syntyvät hulevedet, mutta nykyisin hulevedet ohjataan ensisijaisesti omaan verkostoon. Tulevaisuudessa lisääntyvät sademäärät kasvattavat jätevesiverkoston kuormitusta, jonka takia pitäisi kiinnittää erityistä huomiota huleveden tehokkaaseen käsittelyyn ja ohjaamiseen. Sekaviemäröinnistä pitäisi luopua kokonaan ja siirtyä erillisviemäröintiin. Jätevesiverkosto on usein hieman huonokuntoisempi kuin puhtaan veden verkosto, jonka takia siihen pääsee vuotovesiä helpommin. Silloin verkoston vesimäärä kasvaa turhaan ja voi johtaa ohivuotoihin, kun pumput eivät selviä lisääntyneestä vesimäärästä. Kuvasta 2 nähdään, kuinka jätevesiverkosto koostuu pääviemäreistä, joihin kiinteistöjen tonttiviemärit ohjataan kokoojaviemäreiden kautta. (Viitala, 2015; Vartiainen, 2021)



Kuva 2. Jätevesiverkosto. (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, 2003)

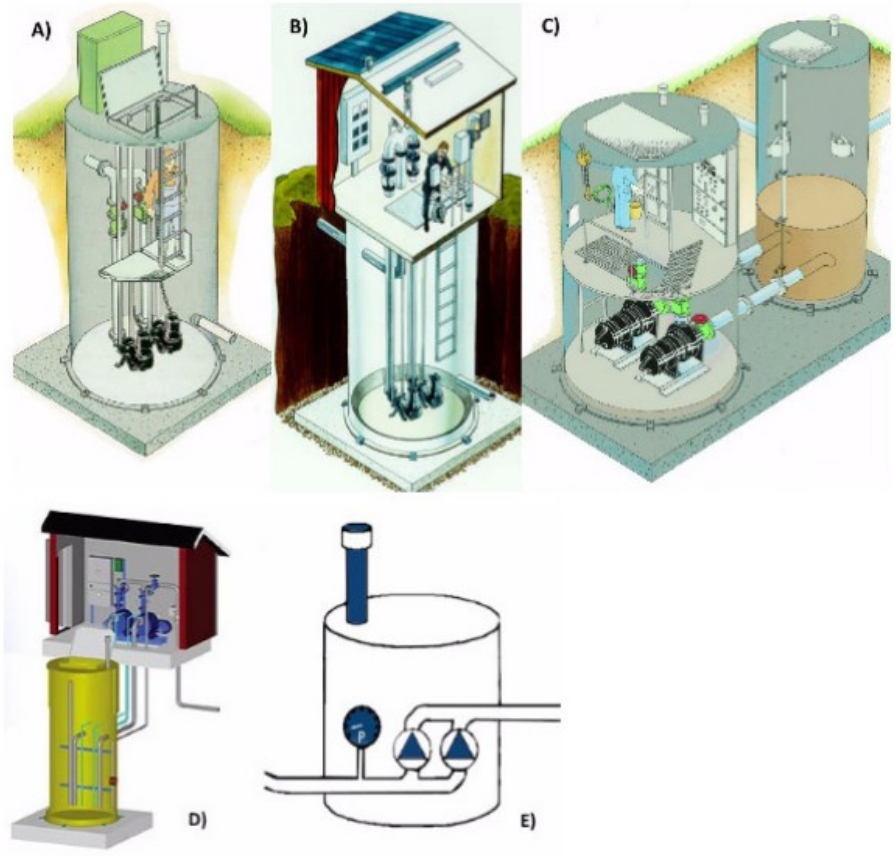
Jätevesiverkosto pyritään rakentamaan niin, että käytettäisiin mahdollisimman paljon painovoiman avulla toimivaa viettoviemäriä. Sitä ei kuitenkaan ole mahdollista tai järkevää rakentaa joka paikkaan, jolloin joudutaan turvautumaan pumppaukseen ja pai-

neviemäröintiin. Lähtökohtaisesti paineviemäröintiä käytetään, kun maasto on tasainen tai korkeuserot ovat suuria sekä vesistöä alittaessa.

Verkoston mitoitus tapahtuu laskemalla jätevesimääriä asukasta kohden ja ennustamalla muutoksia asukasmäärässä ja maankäytössä seuraavien 20–40 vuoden ajaksi. Lisäksi mitoituksessa otetaan huomioon verkostoon pääsevä vuotovesi, jonka lasketaan kasvattavan vesimääriä jopa 20 %. Mikäli käytetään sekaviemäriä, jossa huleviemäröinti yhdistetään tavalliseen viemäröintiin, on tärkeänä tekijänä mitoittava sademäärä yhdessä maanpinnan laadun kanssa. (Viitala, 2015)

2.3 Jätevedenpumppaamot

Tarve pumppaamoiden tutkimiselle kasvaa nykytrendien myötä, joita on esimerkiksi energiatehokkuus ja toimintavarmuus. Pumppaamoista on kuitenkin vielä varsin vähän tutkimusaineistoa. Niitä on aikaisemmin rakennettu lähinnä pumppaustarve edellä, mutta nykyisin on alettu kiinnittämään enemmän huomiota myös työturvallisuuteen, toimintavarmuuteen ja energiatehokkuuteen. Suomessa yleisimmin käytetyt pumppaamotyypit on esitetty kuvassa 3. Rakenne kaikissa pumppaamoissa on hyvin samanlainen. Jätevesi tulee pumppaamon imukaivoon, josta pumppaamon ohjauskeskus säätää lähtevää jäteveden määrää. Pumput voidaan sijoittaa joko kuivaan tilaan tai märkään tilaan, mutta yleisimmin suositaan märkään tilaan sijoitettavia pumppuja. (Sipponen, 2018)



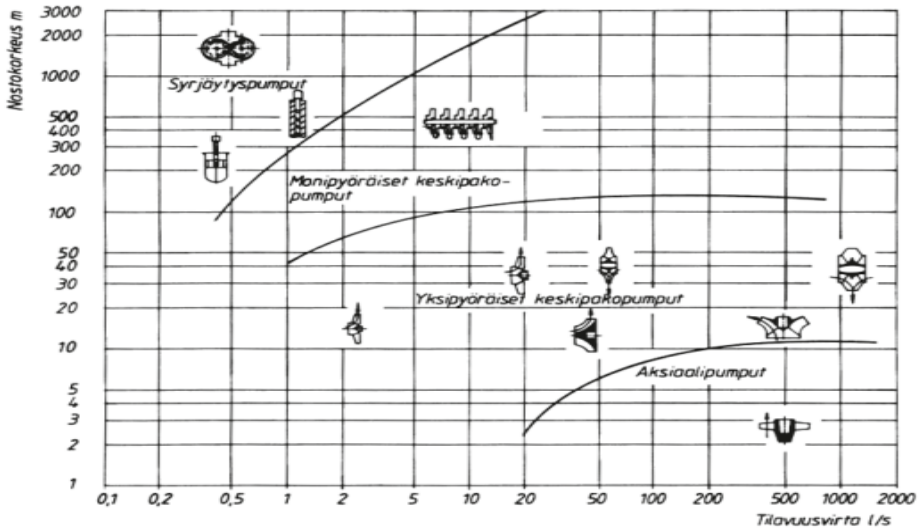
Kuva 3. Eri pumppaamomalleja. A) Uppopumppaamo. B) Mökkipumppaamo. C) Turvapumppaamo. D) Itseimeväpumppaamo. E) Paineenkorotuspumppaamo. (Sipponen, 2018)

Itse pumppujen lisäksi tarvitaan paljon muutakin kuin sähköenergiaa ja automaatiota. Lähes kaikki pumppaamot ovat kytkettynä sähköverkkoon, josta saatua energiaa käytetään pumppujen ohella esimerkiksi ilmanvaihtoon ja lämmitykseen. Pumppujen ohjauslaitteiston lisäksi pumppaamossa tarvitaan useita antureita ja mittareita, joita käytetään pumppauksen seurannassa ja kaukovalvonnassa. Viemäriverkostosta tulevat kaasut ovat erittäin haitallisia pumppaamon elektroniikalle ja vähentävät selkeästi sen elinkaarta. Tilannetta voidaan parantaa hyvällä ilmanvaihdolla tai siirtämällä elektroniikkakomponentit pumppaamorakennuksen ulkopuolelle. Kuitenkin jopa hyvä ilmanvaihto voi olla riittämätön ja pumppaamon elektroniikan sijainti pumppaamon ulkopuolella voi olla ongelmallista esimerkiksi talvisin. (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, 1994; Sipponen, 2018)

2.4 Eri pumpputyypit

Kaikista pumpputyypeistä yleisin on keskipakopumppu. Se muuntaa akselille tuodun mekaanisen energian hydrauliseksi energiaksi juoksupyörän avulla. Keskipakopumpun etuna on muihin pumppuihin verrattuna yksinkertaisuus, edullinen hinta ja laaja toiminta-ala. Muita pumpputyyppejä on esimerkiksi syrjäytyspumput ja aksiaalipumput. Taulukosta 1 nähdään erilaisten pumppujen tyypilliset toiminta-alueet.

Taulukko 1. Eri pumpputyyppien toiminta-alue. (Motiva Oy, 2011)



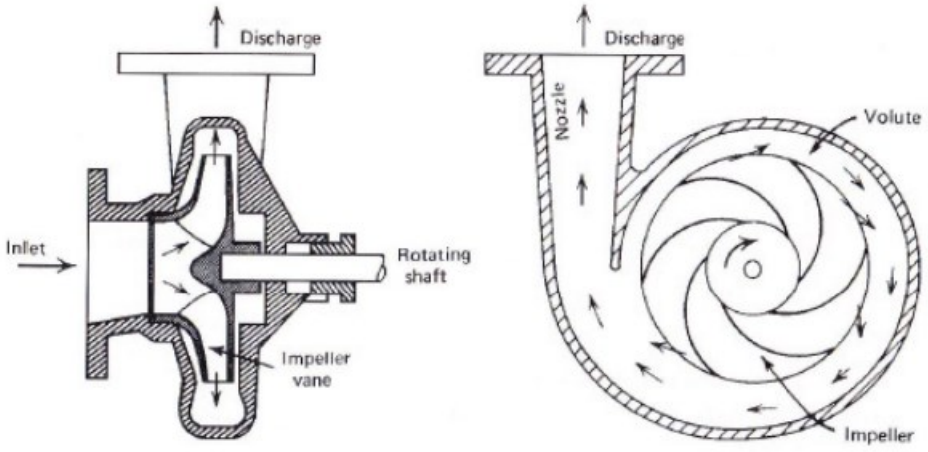
Taulukosta nähdään, että keskipakopumppu on hyvä kompromissi nostokorkeuden ja virtaaman välillä. Tämä onkin yksi syy, minkä takia keskipakopumppu on suosittu. Nykyisin ei juurikaan käytetä muita pumppuja ainakaan laajassa mittakaavassa. (Motiva Oy, 2011)

2.5 Keskipakopumppu

2.5.1 Rakenne

Keskipakopumppu on rakenteeltaan varsin yksinkertainen. Se koostuu pesästä, juoksupyörästä ja sähkömoottorista. Vesi tulee pumpun juoksupyörään sähkömoottorin akselin suuntaisesti, josta se ajautuu juoksupyörän kautta pumppupesän ulkolaidalle. Pumppuun tuleva virtaus voi olla myös akselin vastainen tai siihen nähden vinossa.

Juoksupyörän avulla vesi kuljetetaan pesän reunaa pitkin, josta se sitten pumpataan ulos poiston kautta. Pumpun rakenne ja toimintaperiaate selviää kuvasta 4. (Sipponen, 2018)

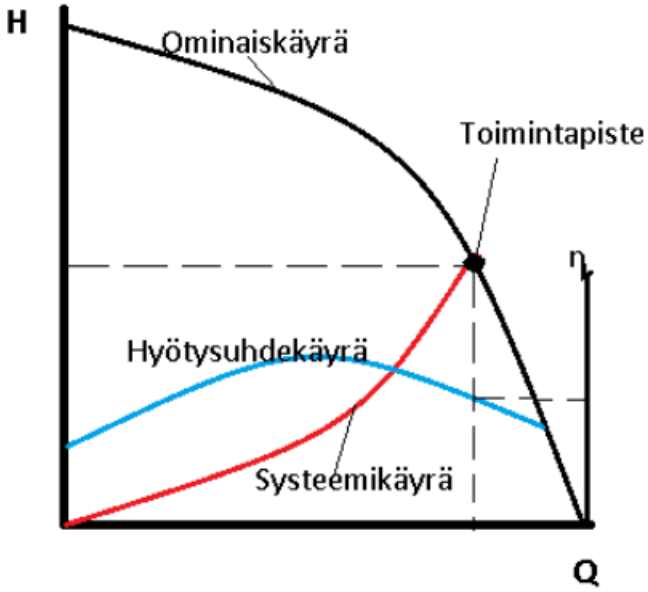


Kuva 4. Keskipakopumpun rakenne. (Sipponen, 2018)

Jätevedenpumpuissa käytettävissä juoksupyörissä täytyy huomioida jäteveden aiheuttamat vaatimukset esimerkiksi läpäisykyvyssä ja tukkeutumattomuudessa. Juoksupyörän on oltava mahdollisimman avara, jotta pumppu pystyy läpäisemään halkaisijaltaan vähintään 80 millimetrin kokoista kiintoainesta. Tämän läpäisykyvyn on oltava riittävä, jotta vältytään pumpun tukkeutumisilta ja turhilta huoltokäynneiltä. Juoksupyörän säädöillä tai sen vaihtamisella toiseen on suuri merkitys pumpun energiatehokkuuteen. Sen takia on tärkeää löytää kompromissi pumpun tukkeutumattomuuden ja energiatehokkuuden välillä. (Sipponen, 2018; Motiva Oy, 2022)

2.5.2 Ominaiskäyrä

Pumpun ominaiskäyriä tarvitaan mitoitusta ja oikeanlaisen pumpun valintaa varten. Ominaiskäyrästä nähdään pumpun toiminta-alue. Se esitetään nostokorkeuden ja virtaaman suhteena QH-koordinaatistossa. Ominaiskäyrän lisäksi samassa koordinaatistossa esitetään usein myös systeemikäyrä, pumpun toimintapiste sekä pumpun hyötysuhde. (Viitala, 2015) Systeemikäyrä kuvaa virtauksen vastustuksen putkistossa, kun taas toimintapiste kertoo pumpun teoreettisen maksimitehokkuuden. Kuviossa 2 on esimerkki pumpun QH-koordinaatistosta, jossa kaikki em. arvot esiintyvät. (Motiva Oy, 2009)



Kuvio 2. Keskipakopumpun QH-koordinaatisto. (Viitala, 2015)

2.5.3 Kytkentä

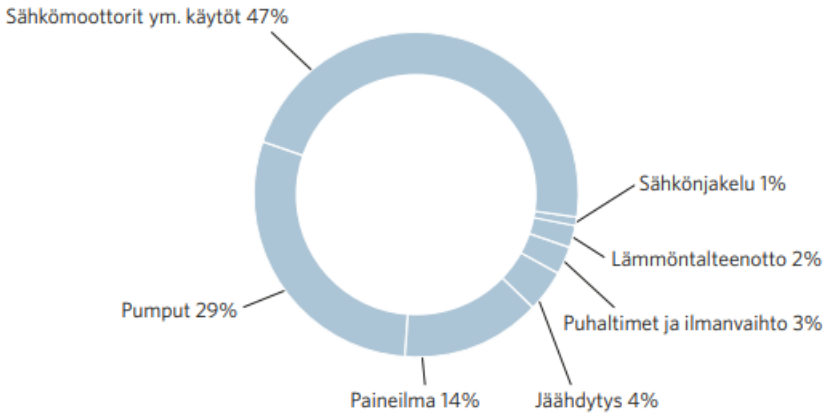
Mikäli pumppuja on useampia, voidaan ne kytkeä joko rinnan tai sarjaan. Valitulla kytkentätavalla voidaan vaikuttaa pumpun tuottoon, energiankulutukseen ja hyötysuhteeseen. Rinnan kytkettyjen pumppujen tuotto kasvaa lähes kaksinkertaiseksi, mutta nostokorkeus pysyy samana. Sarjaan kytkettynä taas pumppujen nostokorkeus kasvaa lähes kaksinkertaiseksi, mutta tuotto pysyy samana. Yleisesti suositaan pumppujen kytkemistä rinnan. (Motiva Oy, 2009)

3 ENERGIATEHOKKUUS

3.1 Pumppaamon energiatehokkuus

Pumppaamot kuluttavat toimiessaan energiaa ja niiden lukumäärän kasvaessa myös energiankulutus kasvaa. On esitetty arvio, että Euroopan sähkönkulutuksesta 70 % käytetään sähkömoottoreihin ja siitä energiasta 22 % kuluisi pumppaamoissa. (Pulli, 2015) Energiankulutuksen pienentäminen on tärkeää sekä kansallisella että EU-tasolla ja se tuo lisäksi vesihuoltojärjestelmästä huolehtivalle taholle kustannussäästöä. Trendi energiankulutuksen pienentämiseksi tulee vain lisääntymään uusien standardien ja vaatimusten myötä. Pumppausjärjestelmä tarvitsee energiaa paineen korottamiseksi sekä nesteen ylempään korkeusasemaan nostamiseen ja sen liikekitkan aiheuttamien häviöiden poistamiseen. (Motiva Oy, 2009)

Motor Challenge -hankkeessa tehdyn tutkimuksen mukaan lähes 30 % pumppauksen energiansäästöstä voidaan saavuttaa valitsemalla kohteeseen hyvin soveltuva pumppu. Vielä suurempi säästö, 47 %, voidaan saavuttaa pumppujen optimaalisen säädön avulla. (Motiva Oy, 2011) Motor Challenge -hankkeen tulokset on esitetty kuviossa 3.



Kuvio 3. Pumppauksen säästöpotentiaali Motor Challenge -hankkeen mukaan. (Motiva Oy, 2011)

Energiatehokkuus muodostuu ensisijaisesti kokonaisuuksista. Vaikka pumppu olisi hyvä ja energiatehokas, ei se tuo haluttua energiansäästöä, jos pumppaamo on muuten kohteeseen sopimaton. Myöskään yhden pumppaamon optimointi energiatehokkaaksi ei riitä, jos verkostossa on useita muita huonompia pumppaamoita. Energiatehokkuuden parantamiseksi tulisi huomioida jokainen yksittäinen osakokonaisuus ja niitä kaikkia parantamalla saavutetaan hyötyä koko järjestelmälle. (Motiva Oy, 2022) Ensisijaisesti pumppaamon energiatehokkuus muodostuu sen ominaisuuksista sekä käyttäjän määrittelemistä säädöistä. Kuitenkin jo hankintavaiheessa kohteeseen sopivan pumppaamon valinta on tärkeää ja mahdollistaa pumppaamon tarkemman optimoinnin. (Motiva Oy, 2011)

Muita osakokonaisuuksia ovat putkistot ja niiden kunto. Hyvin suunnitellut, ehjät ja toimivat putket ovat iso tekijä systeemin kokonaisenergiatehokkuuden kannalta. Vuotovedet putkistossa ovat suoraa ja täysin turhaa energiankulutusta. Vuotovesiä voidaan ehkäistä huonokuntoisten putkiosuuksien saneerauksella ja vuotojen pikasaneerauksilla. Vuotovesien lisäksi energiankulutusta kasvattavat venttiilit, komponentit ja putkien aiheuttamat kitkahäviöt. (Motiva Oy, 2022)

Jätevedenpumppaamoissa vesimäärät eivät pysy jatkuvasti vakiona, vaan vaihtelevat vuorokaudesta ja vuodenajasta riippuen. Tämän takia pumppaamossa tulisi olla enemmän kuin yksi pumppu, jotta pumput saadaan toimimaan tehokkaasti. Pumpuista toinen voisi olla optimoitu suurille vesimäärille ja toinen pienemmille. Tällä ratkaisulla vältyttäisiin siltä, että yksi pumppu hoitaisi kaiken pumppauksen, sillä se ei ole kovin energiatehokas ratkaisu. (Motiva Oy, 2022)

3.2 Pumppaamon mitoitus

Mitoitus on suunnittelijan tekemää työtä tilaajan lähtötietojen perusteella. Sen tavoitteena on valita juuri tiettyyn kohteeseen sopiva pumppaamo. Lähtötietojen perusteella suunnittelija valitsee pumppujen kapasiteetin ja määrittelee niiden tehokkuuden. Mitoituksen apuna käytetään pumppujen ominaiskäyrää, hyötysuhdekäyrää ja systeemikäyrää. Niiden avulla suunnittelija pystyy valitsemaan teholtaan ja ominaisuuksiltaan kohteeseen sopivan pumpun. (Motiva Oy, 2011)

Lähtökohtaisesti pumppaamo mitoitetaan liian suurelle kapasiteetille. Syynä on ajatus siitä, että vältytään ongelmilta verkoston kapasiteetin äkillisesti kasvaessa. Tämä kui-

tenkin lisää pumppaamon energiankulutusta, joka verkostotasolla kertaantuu pumppaamojen määrän kautta. (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, 2004) Mitoituksen oikeaoppisuus on huomattavan tärkeää, sillä väärin mitoitettu pumppaamo ei toimi oikealla tavalla kohteessa. On esitetty, että jopa 75 % pumppausjärjestelmistä EU-alueella olisi ylimitoitettuja. Näin ollen myös Suomessa on paljon ylimitoitettuja pumppuja. Yleisin syy väärään mitoitukseen on ylimitoitus, jonka vuoksi valitut pumput ovat liian tehokkaita kohteeseen. Väärin mitoitettua pumppaamoa voidaan jälkikäteen yrittää korjata lisäämällä pumppuihin taajuusmuuttaja tai vaihtamalla väärin mitoitettu pumppu toimivaan. (Viitala, 2015; Vartiainen, 2021)

3.3 Systeemin hyötysuhde

Hyötysuhteen avulla kuvataan, kuinka suuren osan ottamastaan energiasta systeemi pystyy muuntamaan lopputuotteeksi. Hyötysuhde on aina pienempi kuin 1 tai 100 %, sillä systeemiin häviää aina osa energiasta esimerkiksi hukkalämpönä. Pumppauksen hyötysuhde η_{syst} lasketaan kaavan (1) avulla hyödyntämällä pumpun teoreettista tehoa, sekä todellista tehoa P_{in}. Muita tarvittavia suureita ovat tuotto Q (m^3/s), tiheys ρ (kg/m^3), putoamiskiihtyvyys g ja nostokorkeus H (m).

$$\eta syst = \frac{Q\rho gH}{Pin} \qquad (1)$$

Pumppauksen kokonaishyötysuhteen tietämiseksi tarvitaan lisäksi moottorin, pumpun ja nopeudensäädön hyötysuhteet. Kokonaishyötysuhde lasketaan kaavalla (2).

$$\eta systkok = \eta pumppu \times \eta moottori \times \eta nopeussäätö \qquad (2)$$ (Viitala, 2015)

Hyötysuhde esitetään usein koordinaatistossa pumpun ominaiskäyrän kanssa. Hyötysuhdekäyrältä nähdään piste, jossa pumppu toimii parhaalla teoreettisella maksimihyötysuhteella. Usein pumppuvalmistajien toimittamissa tiedoissa on hyötysuhdekäyriä eri nopeuksille. Hyötysuhdekäyrää käytetään yhdessä pumpun ominaiskäyrän kanssa

arvioinnin apuna, kun mietitään pumpun soveltuvuutta tiettyyn kohteeseen. (Viitala, 2015) (Motiva Oy, 2011)

3.4 Pumppujen toimintavarmuus

Pumppaamot on suunniteltava toimintavarmoiksi, sillä jo pienikin häiriö pumppausprosessissa voi aiheuttaa laajoja haittoja koko verkostolle. Jos pumppausprosessi pysähtyy ja verkosto alkaa tukkeutumaan, on ainoa vaihtoehto ohijuoksutus, jolloin jätevedet ohjataan pois verkostosta. Ohijuoksutuksen seurauksena jätevesi pääsee käsittelemättömänä ympäristöön ja aiheuttaa haittaa lähialueen asukkaille sekä kuormittaa ympäristöä. (Kangas, 2019)

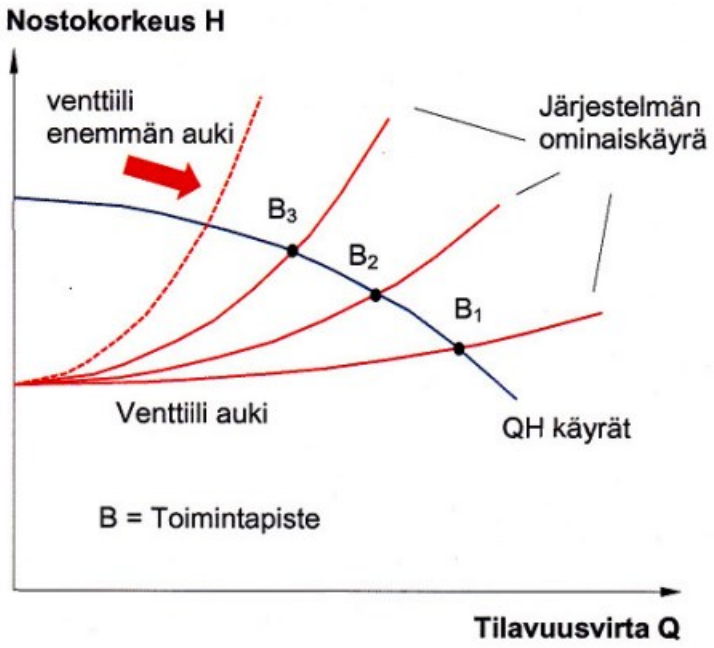
Pumppaamon toimintavarmuuteen vaikuttaa oikeaoppinen mitoitus, pumpun ja laitteistojen osien laatu ja ikä sekä jäteveden laatu. Pumppujen tulisi toimia ilman tukkeumia ja putkiston ahtautumia, sillä vaikka osittain tukkeutunut pumppu toimisi edelleen sen energiankulutus kasvaa paljon. Tässä tilanteessa myös pumppaamon käyttö- ja huoltokustannukset kasvavat. (Viitala, 2015)

3.5 Säätöjen vaikutus energiatehokkuuteen

Pumppaamon muuttaminen energiatehokkaaksi edellyttää sitä, että pumppujen tuottoa ja nostokorkeutta pystytään säätelemään käytön aikana. Säätöjen tavoitteena on pumpun käyttäminen mahdollisimman lähellä sen hyötysuhdekäyrää. Säätötarvetta aiheutuu esimerkiksi virtaamien vaihteluista, jonka vuoksi pumpun toimintaa pitää muuttaa uuteen tilanteeseen sopivaksi. Pumpun säätöihin kuuluu myös käynnistymiskertojen säätely. Käynnistyessään pumpun energiankulutus on suurinta, joten jatkuva säännöllinen pumppaus on kannattavampaa kuin jatkuva päälle/pois vaihtelu. Hyvä käynnistyskertojen lukumäärä olisi 4–6 kertaa tunnissa. Nykyään eniten käytetyt säätötavat esitellään alla ryhmiteltynä energiatehokkuuden mukaan huonoimmasta parhaimpaan. (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, 2004)

3.5.1 Kuristussäätö

Kuristussäätö on ollut perinteinen tapa hoitaa pumpun säätäminen, sillä se on yksinkertainen ratkaisu ja helppo toteuttaa pelkästään kuristavan venttiilin avulla. Tuon venttiilin avulla pienennetään virtausta, mutta samalla sen käyttö kasvattaa painehäviötä. Tämän takia pumpun nostokorkeus kasvaa, mikä taas vaikuttaa suoraan pumpun hyötysuhteeseen. Tästä syystä kuristussäädön käyttäminen on vähentynyt ja vesihuoltolaitokset ovat siirtyneet käyttämään muita energiatehokkaampia ratkaisuja. Kuristussäädön vaikutus pumpun toimintaan on esitetty kuviossa 4. (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, 2004; Vartiainen, 2021)



Kuvio 4. Pumpun toiminnan muuttuminen kuristussäädössä. (Sipponen, 2018)

3.5.2 On/off säätö

On/off säädöllä tarkoitetaan tilannetta, jossa pumppu on joko päällä vakioteholla tai se on kokonaan pois päältä. Säädön etuna on se, ettei pumppu ole jatkuvasti käytössä,

eikä näin ollen kuormitu samoin kuin tiheällä käytöllä olevat pumput. Säätötapa mahdollistaa myös toimintarajojen määrittämisen pumpuille, esimerkiksi voidaan määrittää käynnistys vesisäiliön korkeuden suhteen. (Sipponen, 2018) Toisaalta käynnistäminen kuluttaa normaalia käyttöä enemmän energiaa sekä rasittaa pumppua enemmän. Säätötavan haittana on käynnistämisen suuren energiankulutuksen lisäksi siitä aiheutuvat normaalia suuremmat painehäviöt. Energiankulutus tällä säätötavalla on siis suurempi kuin mitä se on yhtäjaksoisella pumppauksella. (Viitala, 2015)

3.5.3 Juoksupyörän pyörimisnopeussäätö

Pumpun pyörimisnopeutta muuttamalla pystytään muuttamaan pumpun ominaiskäyriä. Ominaiskäyrien muutokset perustavat affiniteettisääntöihin. Niiden mukaan pyörimisnopeuden muutos n vaikuttaa virtaamaan Q, pumpun nostokorkeuteen H, sekä pumpun tehoon P alla olevien kaavojen (3–5) mukaisesti. (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, 2004)

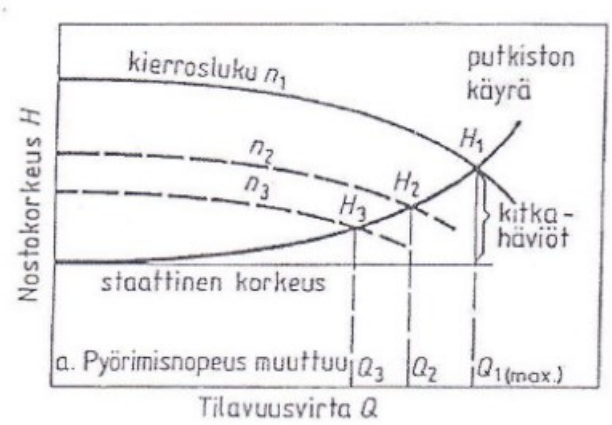
$$Q_2 = Q * \frac{n_2}{n} \qquad (3)$$

$$H_2 = H * \left(\frac{n_2}{n}\right)^2 \qquad (4)$$

$$P_2 = P * \left(\frac{n_2}{n}\right)^3 \qquad (5)$$

(Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, 2004)

Pyörimisnopeutta voidaan säätää joko asentamalla säätölaite moottorin ja pumpun väliin, jolloin moottorin pyörimisnopeus ei muutu, tai muuttamalla vain moottorin pyörimisnopeutta. Pyörimisnopeuden muutos ja sen vaikutus pumpun toimintaan on esitetty kuviossa 5. Nykyisin yleisimmin käytössä oleva menetelmä juoksupyörän pyörimisnopeuden säätöön on staattinen invertteri eli taajuusmuuttaja. Se on kaikista säätötavoista energiatehokkain. Taajuusmuuntajan avulla säädellään moottorille menevää jännitettä, mikä mahdollistaa liukuvan säädön koko moottorin toiminta-alueella. (Viitala, 2015)



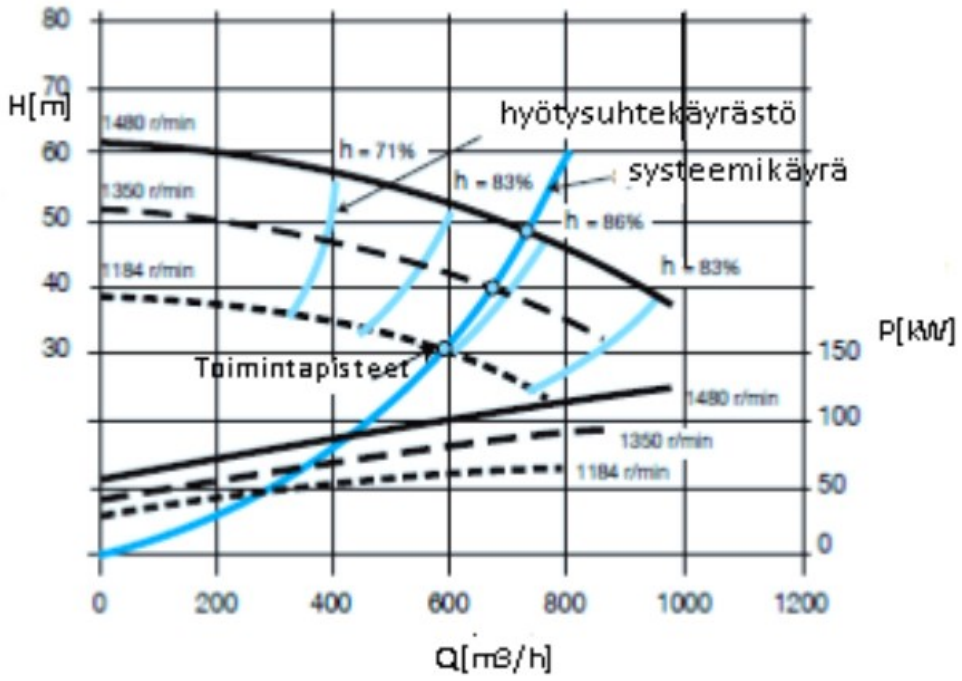
Kuvio 5. Pyörimisnopeuden muutos pumpun toimintaan. (Sipponen, 2018)

Taajuusmuuttajan jälkiasennus ylimitoitettuun pumppaussysteemiin mahdollistaa energiasäästön, joka ovat välillä 30–50 % aikaisempaan tilanteeseen verrattuna. Energiansäästön lisäksi taajuusmuuttajan etuna on nopea reagointi muuttuviin virtauksiin ja säätöjen muuttaminen tilanteeseen sopivaksi. Hyötynä on myös pumpun laakereiden ja venttiilien elinkaaren piteneminen ja vähentynyt huoltotarve, kun pumput eivät käy jatkuvasti täydellä teholla. (Viitala, 2015)

Taajuusmuuttajan käytön haittoja on pumpun ja rakenteiden ominaisvärähtely, jota taajuusmuuttaja voi mahdollisesti lisätä ja vahvistaa. Lisäksi taajuusmuuttajan käyttö pienentää hieman pumpun hyötysuhdetta. Tämä on kuitenkin mitätön haitta, sillä taajuusmuuttajan käytön avulla voidaan pumppauksen hyötysuhteeksi saada yli 0,80. Pelkän taajuusmuuttajan hyötysuhde on välillä 0,97–0,99. Jos taajuusmuuttajalla ohjataan pumppu käymään alhaisella pyörimisnopeudella, voi se aiheuttaa tukoksia pumppaamossa, kun kaikki kiintoaines ei enää kulje pumppaamosta eteenpäin. Tällöin huoltotoimenpiteistä aiheutuvat kulut vähentävät tai jopa poistavat taajuusmuuttajan käytöstä saadut hyödyt. Myös pumppaamon toimintavarmuus alenee tässä tapauksessa, mikä ei ole pumppaamoilta toivottu ominaisuus. Tämä haitta voidaan kuitenkin ehkäistä, jos pumppua käytetään aina välillä suuremmalla nopeudella poistamaan kertynyt kiintoaines. (Xenos, 2014)

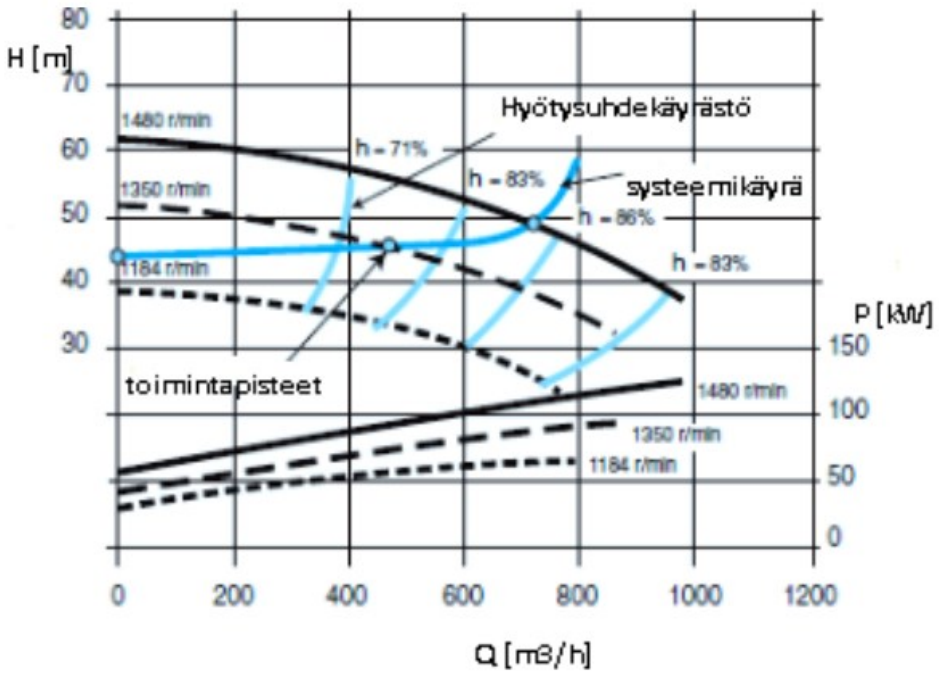
Taajuusmuuttaja ei kuitenkaan sovellu jokaiseen pumppaamoon lisättäväksi. Lähtökohtaisesti sitä tulisi käyttää vain pumpuille, joiden nostokorkeus on enimmäkseen dynaamista nostoa. Dynaamisessa nostokorkeudessa painehäviöt aiheutuvat virtauksista. Näissä pumppaamoissa tehokkuus ei laske, vaikka pumppujen pyörimisnopeutta hidastetaan, sillä taajuusmuuttajan säädöillä saadaan pumput pidettyä hyvän hyötysuh-

teen alueella koko ajan. Dynaamisen nostokorkeuden pumppaamon systeemikäyrä on esitetty kuviossa 6.



Kuvio 6. Pumppauksen systeemikäyrä virtauksen aiheuttamilla painehäviöillä. (Viitala, 2015)

Pumput, joiden nostokorkeus on staattista nostokorkeutta, eivät sovellu yhtä hyvin taajuusmuuttajaohjatuiksi. Sääntönä voidaan esittää, että jos yli 50 % nostokorkeudesta on staattista nostokorkeutta, ei taajuusmuuttajasta ole silloin sanottavaa hyötyä. Staattisen nostokorkeuden pumppaamossa systeemikäyrä käyttäytyy kuvion 7 mukaisesti.



Kuvio 7. Staattisen nostokorkeuden suuren osuuden vaikutus pumpun systeemikäyrään. (Viitala, 2015)

Staattisen nostokorkeuden pumpuissa tehokkuus laskee suuresti, jos pyörimisnopeutta alennetaan. Tämän takia taajuusmuuttajan avulla ei saada aikaan tehokkaita vaikutuksia. (Viitala, 2015; Motiva Oy, 2022)

3.6 Muita energiatehokkuuteen vaikuttavia tekijöitä

Muita tekijöitä on selvitetty kyselyn avulla. Kyselyn on tehnyt Anni Viitala osana Kandityötään vuonna 2015. Kyselyssä on selvitetty vesihuoltoalan ammattilaisten näkemyksiä seikoista, jotka vaikuttavat jätevedenpumppaamon energiatehokkuuteen. Kaarinan kaupungin työntekijöiden haastatteluista keväällä 2022 on saatu saman suuntaisia tuloksia kuin aiemmasta kyselystä. Kyselyn yhteenveto esitetään tiivistetysti alla.

- Pumppaamon hankinta
    - Pumppaamon hyötysuhde tulisi olla mahdollisimman korkea, samoin hydraulinen hyötysuhde.

    - Pumppaamoa uusittaessa iän sijaan parempi mittari on pumppujen tehokkuus ja suorituskyky.

- Ylimitoitus
    - Tilaajan suurin virhe hankintavaiheessa.
    - Voidaan ehkäistä käyttämällä keskitason tuottoa ja useampia pumppuja.
    - Lisäksi myös linjaston ylimitoitus vaikuttaa pumppaamon energiatehokkuuteen.

- Toimintavarmuus
    - Energiatehokkuuden kannalta pumppujen toimintavarmuus ja varsinkin tukkeutumattomuus on tärkeää.
    - Tukkeutumista voidaan ehkäistä hyvällä pumpun juoksupyörän rakenteella.

- Muita huomioita
    - Venttiilien kunto ja tarkistaminen, ei ilmaa putkistoon
    - Pumppujen säännöllinen huolto ja puhtaanapito
    - Paineenkorotuspumppaamojen käyttö

(Viitala, 2015)

4 TILANNE KAARINASSA

4.1 Tutkittavat pumppaamot

Kaarinan kaupungin asukasluku on noin 35 000, mutta kaupungin jätevesiverkostossa on myös lähiseudun jätevesiä. Vesimäärät eivät ole mitenkään pieniä, sillä vuonna 2021 kaupungin jätevesiverkostoon ohjattiin Liedon ja Paimion alueilta jätevesiä yhteensä 2 715 626m^3. Tästä seuraakin ajoittain ongelmia verkoston kuormituksen kasvaessa suureksi. Kaupungin jätevesiverkoston pituus, vesiosuuskunnat mukaan lukien, on 473 kilometriä. Omaa vedenpuhdistamoa kaupungilla ei enää ole, vaan jätevedet kerätään ja ohjataan Turkuun vedenpuhdistamoon. Myöskään omaa vedentuotantoa ei ole, vaan kaupungin vedet tuodaan Turusta. Vuonna 2021 jätevesiä ohjattiin Turun puhdistamolle yhteensä 6 450 880m^3.

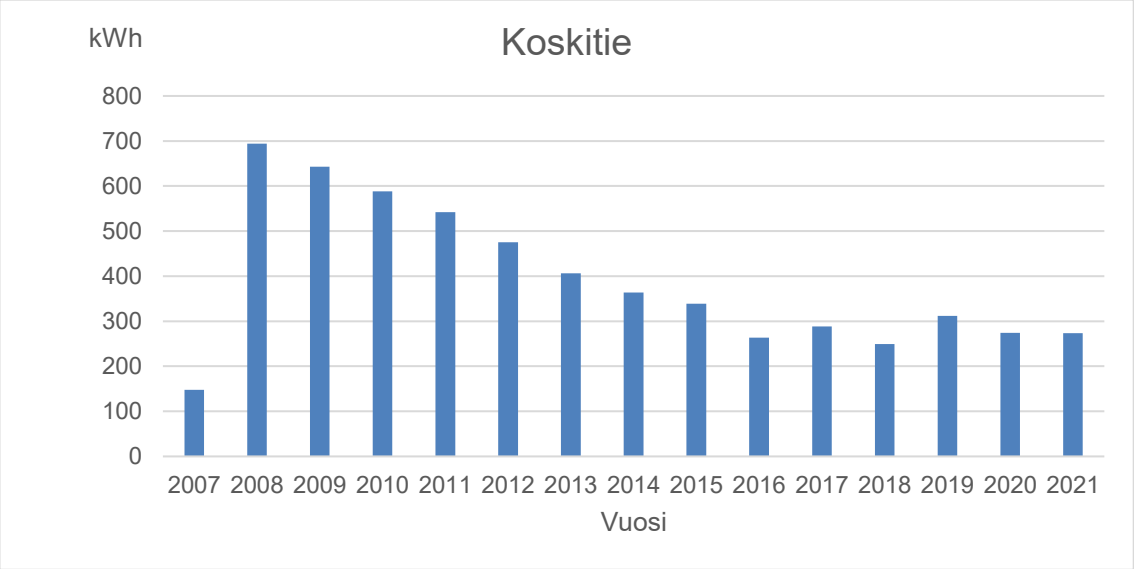
Kaupungilla on tällä hetkellä noin 100 jätevedenpumppaamoa. Ne on rakennettu keskimäärin muutaman pumppaamon vuositahdilla. Siitä syystä ne ovat kooltaan, ominaisuuksiltaan ja kunnoltaan erilaisia. Vaikka pumppaamot ovat tarpeellisia tämän päivän vesihuollossa, muodostaa niiden käyttämä energia suuren laskun kaupungille. Tilannetta voidaan kuitenkin muuttaa optimoimalla nykyisiä pumppaamoita ja kehittämällä koko verkostoa sekä parantamalla pumppaamoiden hankintaprosessia vielä paremmaksi.

Tässä työssä tarkastellaan neljää kaupungin pumppaamoa. Valitussa ryhmässä on pieni, keskikokoinen ja kaksi suurta pumppaamoa. Pumppaamot on luokiteltu kategorioihin pumppujen tehon perusteella. Suuria pumppaamoita on valitussa ryhmässä kaksi, koska kokonsa ja tehonsa vuoksi niiden energiankulutus on suurinta. Tämän takia myös optimoinnilla saavutettavat hyödyt ovat suuria. Juuri nämä neljä pumppaamoa valittiin niiden sijainnin verkostossa ja ajantasaisten lähtötietojen perusteella.

4.1.1 Koskitie JVP

Koskitien pumppaamo kuuluu pienten pumppaamoiden kategoriaan. Se on rakennettu vuonna 1998 ja se on varustettu kahdella 1,6 kW pumpulla. Koskitien pumppaamon energiankulutus on esitetty taulukossa 2.

Taulukko 2. Koskitien JVP energiankulutus.

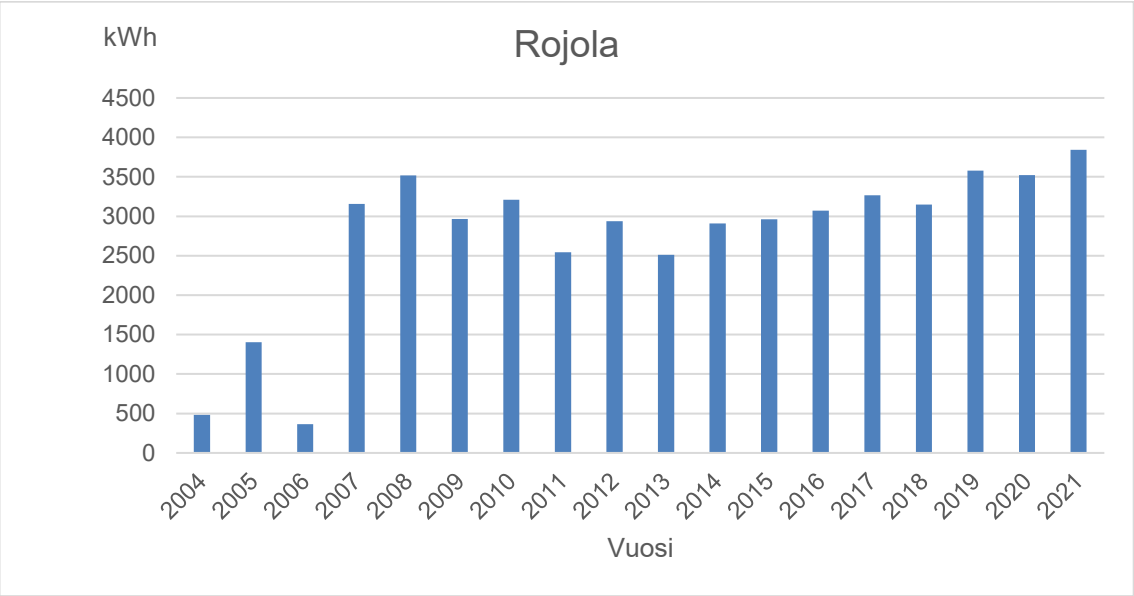


Koskitien pumppaamon energiankulutuksen trendi on varsin hyvä. Vuoden 2008 kulutuksesta (700 kWh) on päästy vuonna 2021 alle puoleen siitä. Keskiarvokulutus vuosina 2008–2021 on ollut 408 kWh.

4.1.2 Rojola JVP

Rojolan pumppaamo on kaupungin pumppaamoiden kategoriassa keskikokoinen pumppaamo. Sen rakennusvuosi on 1995 ja pumppuja siinä on kaksi kappaletta, joiden tehot ovat 5,5 kW. Rojolan pumppaamossa energiankulutus on taulukon 3 mukaista.

Taulukko 3. Rojolan JVP energiankulutus.

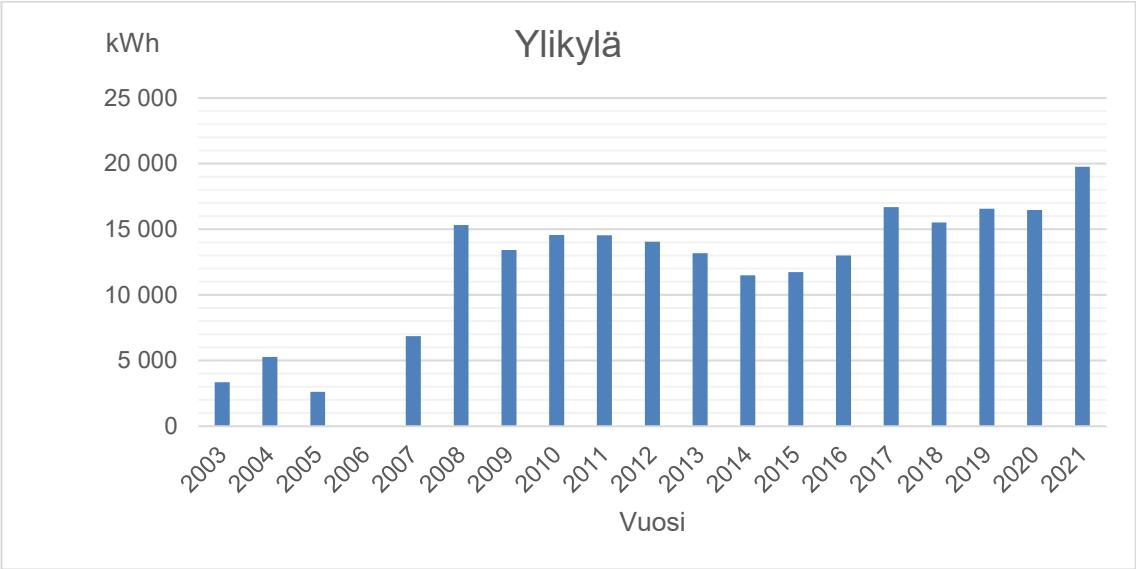


Rojolan pumppaamossa voisi harkita toimenpiteitä kulutuksen pienentämiseksi, sillä energiankulutuksen trendi on selkeästi kasvava. Paremmalla teknologialla ja laitteistolla energiankulutus tulisi laskea hieman vertailujaksolla, jos muuten vesimäärät pysyvät samoina. Keskiarvokulutus pumppaamossa vuosina 2007–2021 on ollut 3142,2 kWh.

4.1.3 Ylikylä JVP

Ylikylän pumppaamo on suurimmasta päästä kaupungin pumppaamoista. Se on vähän vanhempi, sillä se on rakennettu jo vuonna 1971. Se on kuitenkin saneerattu myöhemmin ja nykyisin sen varustuksina on kolme 7,5 kW pumppua. Ylikylän pumppaamon energiankulutus on esitetty taulukossa 4.

Taulukko 4. Ylikylän JVP energiankulutus.

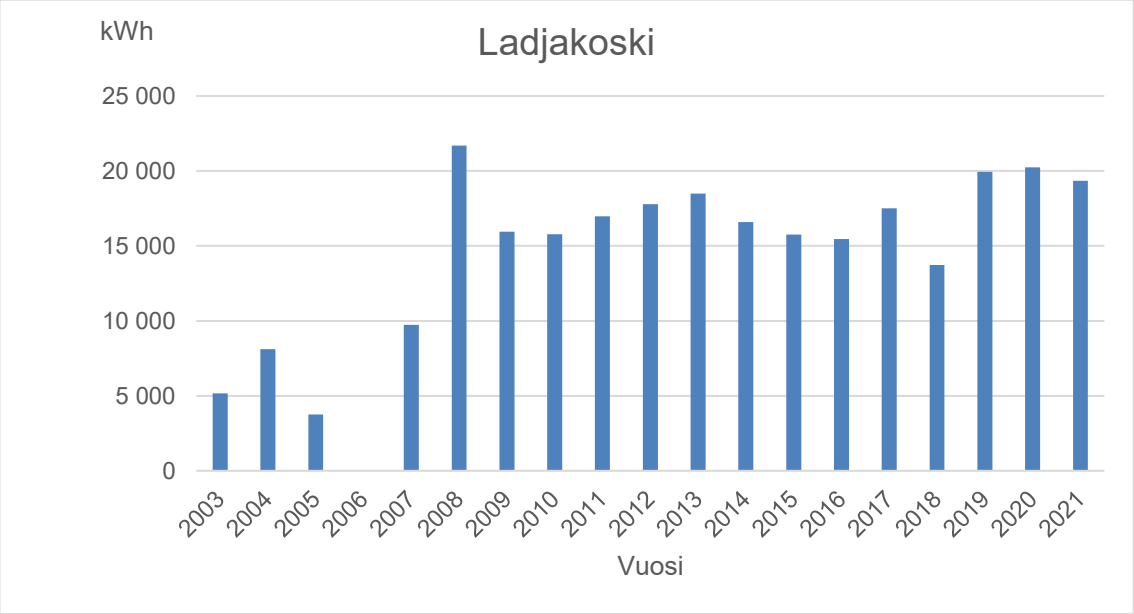


Energiankulutuksen kasvua on havaittavissa myös Ylikylän pumppaamossa. Kasvu on varsin merkittävää, jos verrataan vuoden 2021 kulutusta (20 000 kWh) vuoden 2008 kulutukseen (15 000 kWh). Toisaalta vuodesta 2008 vuoteen 2014 energiankulutuksen väheneminen on ollut toivottua, mutta siitä eteenpäin energiankulutus on vain lisääntynyt. Keskiarvokulutus pumppaamolla vuosina 2008–2021 on ollut 14 735 kWh.

4.1.4 Ladjakoski JVP

Ylikylän pumppaamon lisäksi Ladjakosken pumppaamo kuuluu kaupungin suurten pumppaamoiden kategoriaan. Se on myös rakennettu samana vuonna Ylikylän pumppaamon kanssa. Pumppaamo on varustettu kahdella 9,6 kW pumpulla. Sen energiankulutus nähdään taulukosta 5.

Taulukko 5. Ladjakosken JVP energiankulutus.

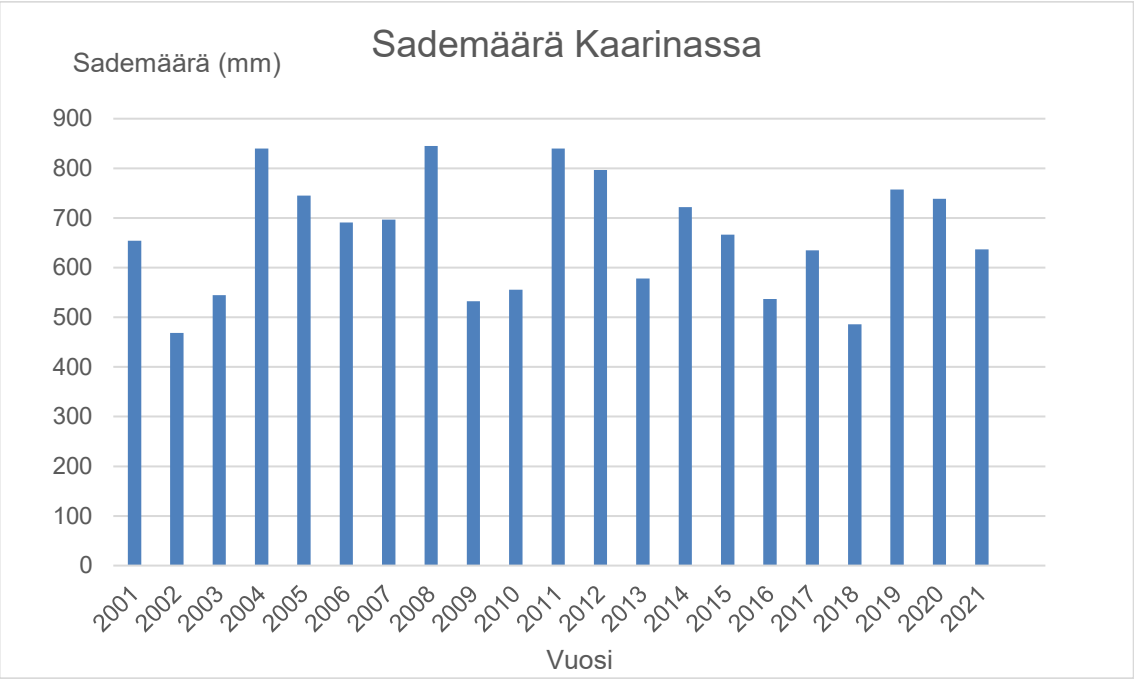


Kuten Rojolassa ja Ylikylässä, myös Ladjakoskella energiankulutuksen trendi on kasvussa. Pumppaamon energiankulutus on ollut joka vuosi alle vuoden 2008 huippukulutuksen (22 000 kWh). Kuitenkin vuodesta 2019 saakka energiankulutus on lisääntynyt kohti vuoden 2008 kulutusta. Keskiarvokulutus pumppaamossa vuosina 2008–2021 on ollut 17 514 kWh.

4.2 Tilastoituja sademääriä Kaarinassa

Ilmatieteenlaitos on kerännyt tietoa eri paikkakuntien sademääristä monen vuoden ajan. Kaarinan alueella tilastoitu sademäärä on taulukon 6 mukainen. Mittausdata on kerätty Kaarinan Yltöisissä sijaitsevalta mittausasemalta.

Taulukko 6. Historiallinen sademäärä Kaarinassa



Koskitien pumppaamoa lukuun ottamatta huomataan yhtäläisyyksiä tilastoidun sademäärän ja pumppaamoiden energiankulutuksen välillä. Tulokset eivät ole suoraan yhteneviä, mutta varsinkin suurten sademäärien vuosina myös energiankulutus on kasvanut selvästi, jos sitä vertaa lähivuosien energiankulutukseen.

5 ENERGIATEHOKKUUDEN VERTAILU

5.1 Vertailutavat

Vesihuollossa ei ole standardoitua järjestelmää pumppaamoiden energiatehokkuuden määrittämiseksi. Käytössä on kuitenkin kaksi alla mainittua tapaa, joilla energiatehokkuutta voidaan analysoida ja vertailla. Lisäksi voidaan tehdä vertailua kirjallisuuslähteiden perusteella tai haastattelemalla eri vesihuoltolaitoksia, mutta ne eivät ole yhtä tarkkoja menetelmiä kuin ensimmäiset kaksi.

5.2 Vertailu ominaisenergian avulla

Ominaisenergian laskemisella pystytään arvioimaan yksittäisten pumppujen ja pumppaamoiden energiatehokkuutta. Pumppauksessa ominaisenergialla kuvataan energiamäärää, jonka yhden vesikuution siirtäminen vaatii. Ominaisenergia E_s lasketaan kaavan (6) avulla.

$$E_s = \frac{E}{V} = \frac{P_{in}t}{V} = \frac{P_{in}}{Q} \qquad (6)$$ (Viitala, 2015)

missä,

E = sähköenergia

t = aika

P_{in} = tehon tarve

V = tilavuus

Q = virtaama

Ominaisenergian avulla ei suoranaisesti pysty vertailemaan pumppaamoita keskenään, vaan ominaisenergiaa tulee verrata laskennalliseen minimiarvoon. Kyseessä on siis

energiamäärä, jonka pumppaus kuluttaa kuutiota kohden, jos pumppujen hyötysuhde on 100 %. Minimiarvo voidaan laskea kaavalla (7).

$$E_{min} = \frac{H \times g \times p}{3\,600\,000} \qquad (7)$$ (Kuronen, 2014)

missä,

E_{min} = ominaisenergian laskennallinen minimi

H = nostokorkeus

g = putoamiskiihtyvyys

p = tiheys

5.3 Vertailu ETpu-menetelmällä

ETpu-menetelmä on Martti Pullin patentoima energiatehokkuuden määritysmenetelmä sähköpumpuille. Menetelmä vertaa pumppaamon hyötysuhdetta ja nimellishyötysuhdetta. Tunnusluvun avulla siis verrataan tämänhetkistä hyötysuhdetta teoreettiseen parhaaseen mahdolliseen. Tulos on sitä parempi, mitä lähemmäs arvoa yksi päästään. (Viitala, 2015)

Kun menetelmällä lasketaan energiatehokkuutta, tulisi mittausjakso valita niin, että pumppaamon kaikki pumppuyhdistelmät aktivoituisivat useamman kerran. Mittausjakso voisi olla 24–48 tuntia, jonka sisällä tehdään useita mittauksia. Näin ollen saadaan tulokset erilaisista pumppuyhdistelmistä ja eri vuorokauden ajoilta. (Vartiainen, 2021) ETpu-menetelmän tunnusluku ja sen arvo sekä arvoa vastaava toimenpide on esitetty taulukossa 7.

ETpu-menetelmässä tarvittavia suureita:

- Mittausjakso Δt
- Sähköteho P_e
- Lähtevä virtaama Q

- Painepuolen painekorkeus H_p
- Imupuolen painekorkeus H_i
- Pumppujen hyötysuhde ja tehontarve nimellisarvolla

Kaikki arvot ovat riippuvaisia mittaushetkestä. Luotettavan tuloksen saamiseksi mittaus tehdään moneen otteeseen ja tulos voidaan esittää raja-arvojen tai keskiarvon avulla. Listattujen suureiden avulla pystytään määrittämään vesiteho P_v kaavan (8) avulla.

$$P_v = Q \times (H_p - H_i) \times 9.81 / 1000 \qquad (8)$$ (Vartiainen, 2021)

missä,

P_v = vesiteho

Q = virtaama

H_p = Painepuolen painekorkeus

H_i = Imupuolen painekorkeus

Seuraavaksi selvitetään pumppaamon hyötysuhde kaavan (9) avulla.

$$\eta_{pas} = \frac{P_v}{P_e} \qquad (9)$$ (Vartiainen, 2021)

missä,

η_{pas} = pumppaamon hyötysuhde

P_v = vesiteho

P_e = sähköteho

Painekorkeudet H_p ja H_i lasketaan molemmat kaavan (10) avulla.

$$H = \frac{p}{(\rho - g)} + Z + \frac{v^2}{(2g)} \quad (10) \qquad \text{(Viitala, 2015)}$$

missä,

H = painekorkeus

ρ = veden tiheys

g = putoamiskiihtyvyys

p = paine

Z = paineenmittauskohdan korko

v = virtausnopeus

Lopuksi verrataan pumppaamon hyötysuhdetta η_{pas} pumppujen nimellishyötysuhteeseen η_{pka}. Jos pumput ovat keskenään erilaisia, käytetään silloin painotettua keskiarvoa. (Pulli, 2015) ETpu-luku lasketaan kaavan (11) avulla.

$$ETpu = \frac{\eta_{pas}}{\eta_{pka}} \quad (11) \qquad \text{(Vartiainen, 2021)}$$

Taulukko 7. ETpu-menetelmä. (Pulli, 2015)

Tunnusluku	Arvo	Toimenpide
> 0,9	Erinomainen	Tunnusluvun oltava alle 1
0,8–0,9	Hyvä	-
0,7–0,8	Tyydyttävä	Korjaus harkintaan
0,6–0,7	Välttävä	Korjaus suositeltavaa
0,5–0,6	Heikko	Korjaus erittäin suositeltavaa
< 0,5	Erittäin Heikko	Korjaus välttämätöntä

ETpu-menetelmä on hyödyllinen apuväline pumppaamoiden energiatehokkuuden selvittämiseksi ja vertailuun. Menetelmän huono puoli on se, ettei se ota huomioon, jos pumppujen nimellishyötysuhde on normaalia heikompi. Tässä tapauksessa ETpu-tunnusluku voi olla virheellisesti korkea. (Viitala, 2015) Silloin tulisi käyttää laskennassa yleisesti hyvää nimellissuhdetta (η_{pas} >0,6). (Pulli, 2015)

Pulli on ehdottanut patenttihakemuksessaan myös muita sovelluksia tunnusluvun käytölle. Menetelmää voisi käyttää laskentaohjelman avulla mittaamaan reaaliaikaisesti pumppaamon energiatehokkuutta. Laajemmassa mittakaavassa menetelmä parantaisi koko järjestelmän energiatehokkuutta. Jokainen pumppaamo tarvitsisi silloin oman mittarinsa. Sen jälkeen verkostosta olisi helppo löytää parannusta vaativat pumppaamot ja samalla nähtäisiin saneerauksen jälkeen saavutetut hyödyt ja kustannussäästöt. (Pulli, 2015)

5.4 Vertailu kirjallisuuslähteistä

Kaupungin pumppaamoiden energiatehokkuuden vertailu suoritettiin kirjallisuuslähteiden perusteella. Kyseiseen menetelmään päädyttiin, koska työn edetessä huomattiin kaupungin aineistoissa puutteita, joiden takia muita menetelmiä ei voitu hyödyntää.

Vertailuun on valittu muita saman tehokkuuden pumppaamoita. Pitää kuitenkin huomata, että pumppaamon energiankulutus on suuresti riippuvainen virtaamista ja nostokorkeudesta. Sen vuoksi tämä vertailu on ainoastaan suuntaa antava.

5.4.1 Koskitie JVP

Koskitien pumppaamoa on verrattu Hangon vesi- ja viemärilaitoksen Lappohjan pumppaamon kanssa. Tässä tapauksessa verrattiin vuoden 2015 energiankulutuksia, jotka olivat Koskitiellä 475 kWh ja Lappohjassa 492 kWh. (Kurki, 2016) Energiankulutukset eivät merkittävästi eronneet näiden pumppaamoiden välillä. Koskitien energiankulutus oli 3,58 % pienempi kuin verrokilla. Koskitien pumppaamo on kokoluokaltaan pieni pumppaamo ja useimmat pumppaamoista tehdyt tutkimukset ovat keskittyneet suurempiin pumppaamoihin, ei vertailuun löytynyt toista pumppaamoa.

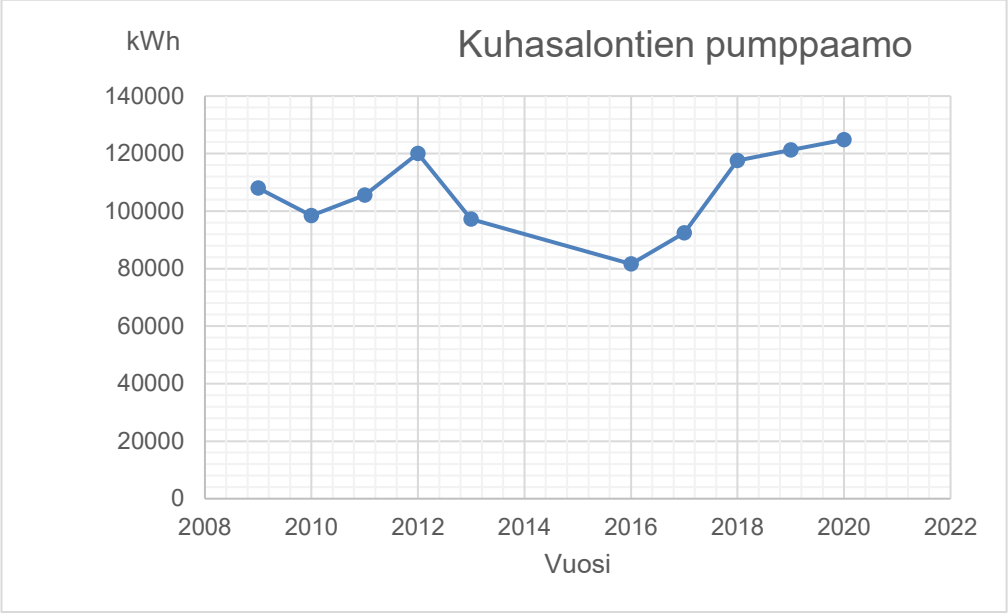
5.4.2 Rojola JVP

Rojolan pumppaamon energiankulutusta on verrattu Täktomin pumppaamoon, joka on Lappohjan pumppaamon lisäksi Hangon vesi- ja viemärilaitoksen pumppaamoita. Myös tässä on verrattu pumppaamoiden vuoden 2015 arvoja. Ne olivat Rojolassa 2937 kWh ja Täktomissa 2328 kWh. (Kurki, 2016) Näiden pumppaamoiden välinen energiankulu-

tuksen ero on hieman suurempi, sillä Rojolan energiankulutus oli 20,7 % suurempi kuin verrokilla.

Rojolan energiankulutusta verrattiin myös Joensuun Veden Kuhasalontien pumppaamoon. Sen energiankulutus on esitetty taulukossa 8.

Taulukko 8. Kuhasalontien pumppaamon energiankulutus.



Kokoluokaltaan Rojolan pumppaamon kokoinen Kuhasalontien pumppaamo kuluttaa hurjasti enemmän energiaa kuin Rojola. Huippukulutus Kuhasalontiellä on yli 120 000 kWh, kun taas Rojolassa se on noin 3000 kWh. Kuhansalontien pumppaamon energiankulutus on suorastaan valtavaa. Pumppaamolle kerätään jätevesiä laajalta alueelta, joten se osaltaan selittää hieman suurta energiankulutusta. Taulukon keskivaiheen pieni notkahdus johtuu pumppaamosaneerauksesta. (Niemeläinen, 2021)

Rojolan pumppaamoa voidaan verrata myös Helsingin seudun ympäristöpalveluiden pumppaamoihin. Rojolan kanssa vertailtiin kahta pumppaamoa ja niiden vuoden 2012 energiankulutusta. Rojolassa se oli 2937 kWh ja Helsingin pumppaamoissa se oli 10 220 kWh ja 21 038 kWh. (Xenos, 2014) Tässä vertailussa Rojolan energiankulutus oli huomattavasti pienempää kuin verrokkien. Tarkalleen ottaen se oli 248 % ja 616 % pienempää kuin verrokeilla.

5.4.3 Ylikylä JVP

Ylikylän pumppaamoa on verrattu Hämeenlinnan Seudun Veden PHAU10 pumppaamoon. Tällä kertaa verrattiin keskenään vuoden 2018 arvoja. Ylikylässä energiankulutus vuonna 2018 oli 15 511 kWh ja PHAU10 pumppaamolla se oli 32 750 kWh. (Kurki, 2016) Energiankulutus oli siis Ylikylän pumppaamossa 111 % pienempää kuin verrokilla.

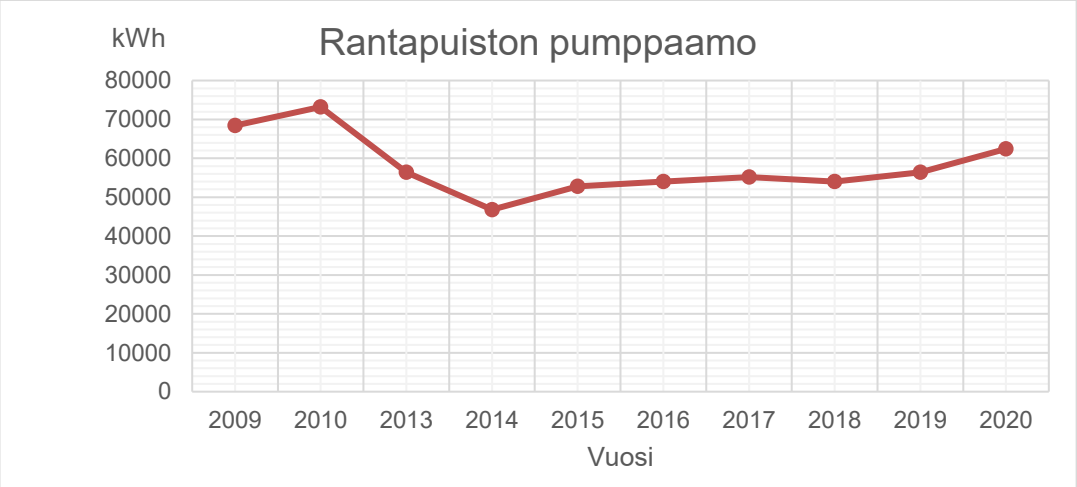
Ylikylän pumppaamoa voidaan verrata Rojolan tavoin myös Helsingin pumppaamoiden kanssa. Tässäkin verrattiin vuoden 2012 arvoja, jotka olivat Ylikylässä 14 065 kWh, kun taas verrokkipumppaamoissa vastaavat arvot olivat 30 926 kWh ja 40 847 kWh. Tämänkin vertailun perusteella Ylikylän energiankulutus oli selvästi pienempää kuin verrokkien. (Xenos, 2014) Ylikylän energiankulutus oli 120 % ja 190 % pienempää kuin verrokeilla.

5.4.4 Ladjakoski JVP

Ladjakosken pumppaamoa on niin ikään verrattu Hämeenlinnan Seudun Veden pumppaamoon. Tässä tapauksessa oli kyse PHAU1 pumppaamosta. Myös nyt on verrattu pumppaamoiden vuoden 2018 arvoja. Ladjakosken energiankulutus oli sinä vuonna 13 718 kWh, kun taas PHAU1 pumppaamolla se oli 24 500 kWh. (Sipponen, 2018) Ladjakosken pumppaamo pärjäsi siis vertailussa selkeästi verrokkia paremmin. Ladjakosken energiankulutus oli 78,6 % pienempi kuin verrokilla.

Pumppaamon energiankulutusta verrattiin myös Joensuun Veden Rantapuiston pumppaamoon, jonka energiankulutus on esitetty taulukossa 9.

Taulukko 9. Rantapuiston pumppaamon energiankulutus.



Taulukosta huomataan heti, että Ladjakosken huippukulutus 22 000 kWh on varsin pientä verrattuna Rantapuiston kulutukseen, joka on keskimäärin noin 50 000 kWh. Jyrkkä lasku vuoden 2010 jälkeen johtuu pumppaamosaneerauksesta. (Niemeläinen, 2021)

Ladjakoskea voidaan vertailla Rojolan ja Ylikylän tavoin Helsingin seudun ympäristöpalveluiden pumppaamoihin. Myös nyt vertailtiin vuoden 2012 arvoja. Verrokkeina oli samat pumppaamot kuin Ylikylän kanssa. Verrokkien kulutus oli siis 30 926 kWh ja 40 847 kWh, kun taas Ladjakosken kulutus vuonna 2012 oli 17 780 kWh. (Xenos, 2014) Ladjakosken energiankulutus oli 73,9 % ja 130 % pienempää kuin verrokeilla.

5.5 Sademäärät vertailukohteissa

Vertailussa oli mukana pumppaamoita Hangosta, Helsingistä, Joensuusta ja Hämeenlinnasta. Useiden paikkakuntien lisäksi energiankulutusta verrattiin monena eri vuonna. Sademäärä vuonna 2012 oli Helsingissä 920,9 mm ja Kaarinassa 796,6. Vuonna 2015 sademäärä Hangossa oli 710,6 mm ja Kaarinassa taas 666,2 mm. Hämeenlinnan sademäärä vuonna 2018 oli 419,9 mm ja Kaarinassa se taas oli 486,1 mm. Joensuun sademäärä on laskettu vuosien 2008–2020 keskiarvona, joka oli 670,5 mm ja vastaava keskiarvo Kaarinassa oli 668,2 mm. Huomioitavaa on, että vertailtavien kohteiden sa-

demäärissä on jonkin verran eroa, mutta ero ei ole yhdessäkään tapauksessa merkittävä.

5.6 Vertailun tulokset

Kirjallisuuslähteistä tehdyn vertailun perusteella huomattiin, että Kaarinan kaupungin pumppaamoiden energiankulutus oli useimmissa tapauksissa huomattavasti verrokkia pienempää. Kaupungin pumppaamoiden tilanne ei siis ole vertailun perusteella hälyttävä. Huolestuttavampaa olisikin ollut, jos Kaarinan pumppaamoiden energiankulutus olisi ollut moninkertaista verrattuna toisiin pumppaamoihin. Vertailu on kuitenkin vain suuntaa antava, sillä sitä ei ole tehty hyödyntämällä matemaattisia laskukaavoja. Sen vuoksi tuloksia voi vääristää useat eri tekijät, kuten esimerkiksi eri virtausmäärät tai nostokorkeudet.

6 ENERGIATEHOKKUUDEN PARANTAMINEN

6.1 Mallintamisen hyödyt

Mallintamisen suurimpana hyötynä on kokonaiskuvan muodostuminen monimutkaisista jätevesiverkostoista. Kun koko verkosto ja kaikki pumppaamot on mallinnettu, on mallista helppo nähdä ne osat verkostosta, jotka tarvitsevat ensimmäiseksi saneerauksen. Tämä mahdollistaa resurssien kohdistamisen ongelmallisimpiin kohtiin ja sitä kautta saavutetaan nopeimmin kustannushyötyjä, kun onnistutaan pienentämään näiden ongelmallisimpien kohtien energiankulututusta. Myös vuotovesien hallinta ja ennakointi paranevat verkoston mallintamisen myötä, koska nähdään helposti, missä sijaitsevat vanhimmat osat ja mitä kohtia on jo saneerattu. Siitä on hyötyä myös saneerauksien yhteydessä, sillä mallin avulla voidaan vertailla uusia putkia suhteessa verkostoon ja energiatehokkuuteen ja nähdä myös, miten verkosto muuttuu putkien asentamisen jälkeen. Verkoston mallintaminen mahdollistaa myös eri simulaatioiden ajamisen. Simulaatioissa voidaan tarkastella esimerkiksi putkikoon muuttamista tai kokonaan uusia viemärilinjoja sekä virtaamien muutoksia. Tämä auttaa näkemään nykyisen verkoston kyvyn selviytyä tulevaisuuden tarpeista ja millä toimenpiteillä muutoksiin voidaan vastata. (Motiva Oy, 2009; Motiva Oy, 2022)

6.2 Jatkuva seuranta

Energiatehokkuuden parantamiseksi ja luotettavan tiedon saamiseksi tulisi vesihuollon järjestelmissä olla jatkuva energiatehokkuuden seuranta. Valvontajärjestelmässä olisi hyvä olla sekä ominaisenergiaan että ETpu-menetelmään perustuva ohjelmisto. ETpu-menetelmän avulla nähdään kaikkien pumppaamoiden reaaliaikainen energiatehokkuus ja laajemmalla seurannalla saadaan selville mitkä pumppaamot olisi syytä siirtää saneerauslistan kärkeen. Ominaisenergiaan perustuva järjestelmä varmistaisi ETpu-menetelmällä saadut tulokset, koska ETpu-menetelmässä verrataan nykytilannetta asennetun laitteiston kykyyn. Menetelmä siis kertoo, kuinka energiatehokas pumppaamo on siihen asennetuilla laitteilla. (Hakala, 2019, Viitala, 2015, Pulli, 2015)

6.3 Säätöjen vaikutus

Pumppaamoiden toimintaa säädettäessä voidaan muuttaa joko yksittäisten pumppujen rakennetta, käynnistymiskertoja tai toimintaa. Pumpun rakenteellisilla säädöillä on suuri merkitys, mutta pumpun ohjaus taajuusmuuttajan avulla vaikuttaa silti kokonaisuuteen enemmän. Pumppujen säätäminen toimimaan mahdollisimman lähellä hyötysuhdekäyrää on suurin yksittäinen toimenpide pumppaamon energiatehokkuuden parantamiseksi. Tämä on mahdollista taajuusmuuttajan avulla. Myös pumppujen käynnistyskertojen lukumäärän säätely on tärkeää, koska käynnistyessään pumput kuluttavat suurimman määrän energiaa. Hyvä käynnistyskertojen määrä olisi 4–6 kertaa tunnissa. (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, 2004; Xenos, 2014)

6.3.1 Pumpun säädöt

Pumpun rakenteelliset säädöt, erityisesti juoksupyörä ja sen säädöt, vaikuttavat suuresti energiatehokkuuteen. Optimaalisen säädön tulisi olla toimiva kompromissi energiatehokkuuden ja toimintavarmuuden välillä. Pumppaamosaneerauksissa tulisi pumput saneerata 15–20 vuoden välein. Tällöin pitäisi aina harkita pumppujen vaihtamista uudempiin ja energiatehokkaampiin pumppuihin. Vaikka vanhat pumput olisi kohteessa toimineet hyvin jo 20 vuotta, olisi tarpeen silti selvittää ero vanhojen ja uusien pumppujen energiatehokkuudessa. Pelkästään toimintavarmuudella ei tulisi perustella vanhojen pumppujen käytön jatkamista. (Vartiainen, 2021)

6.3.2 Taajuusmuuttajan käyttö

Pumppujen ohjaustavoista taajuusmuuttajalla ohjattu pumppu on selvästi energiatehokkain. Taajuusmuuttajan rajoitukset huomioiden voitaisiin jokaiseen soveltuvaan pumppaamoon asentaa taajuusmuuttaja seuraavan saneerauksen yhteydessä, jolloin energiankulutusta voidaan vähentää asteittain. Taajuusmuuttajasta saa parhaan hyödyn, jos pumppaamossa käytetään sekä isoa että pientä pumppua. Tällöin suuremmalla pumpulla hoidettaisiin isompia virtauksia ja pienempi pumppu toimisi varalla sekä hoitaisi pienten virtaamien pumppauksen.

Taajuusmuuttajan lisääminen on helpoin toimenpide parantaa pumppaamon energiatehokkuutta. Sen käytöllä on lähes aina saavutettavissa kustannushyötyä. Sillä on kuitenkin omat rajoituksensa, eikä se sovellu jokaiseen pumppaamoon. Se ei myöskään ole mikään ihmekeino, koska energiatehokkuuden parantamisen ydin on kokonaisuuksien hallinta ja parantaminen. Taajuusmuuttajan lisääminen on kuitenkin hyvä vaihtoehto aloittaa koko järjestelmän muutos energiatehokkaampaan suuntaan. (Motiva Oy, 2009; Motiva Oy, 2011; Viitala, 2015)

6.4 Verkoston kunto

Jätevesiverkoston kunnolla on suuri merkitys pumppaamoiden ja koko järjestelmän energiatehokkuudelle. Tärkeintä olisi vähentää verkostoon pääsevää vuotovettä, koska erityisesti keväällä ja syksyllä se lisää verkoston vesimäärää ja nostaa pumppauksen kustannuksia. Verkoston hyvästä kunnosta hyödytään pumppauksen energiansäästön lisäksi putkirikkojen ja vuotojen muuttuessa harvinaisemmiksi. Myös painehäviöt pysyvät hyvin hallinnassa ehjässä ja toimivassa verkostossa. Onkin hyvä muistaa, että verkoston putkien saneeraus ja niiden pitkä elinkaari ovat pelkästään etua energiatehokkuuden kannalta ajateltuna. (Motiva Oy, 2009; Kuronen, 2014; Kurki, 2016)

7 JOHTOPÄÄTÖKSET

7.1 Energiatehokkuus

Energiatehokkuus muodostuu monesta yksittäisestä osakokonaisuudesta, jotka pitää erikseen optimoida, jotta saavutetaan hyvä koko systeemin energiatehokkuus. Yksittäisen kohdan parantaminen ei välttämättä tuo juuri mitään eroa nykytilanteeseen, jos järjestelmän muut osat mitätöivät saavutetun hyödyn. Tärkein toimenpide on määritellä pumppaamon säädöt juuri siihen kohteeseen sopivaksi sekä valita pumput samoin kriteerein. Suurimpaan osaan pumppaamoista soveltuu parhaiten kaksi tai useampi pumppu ja tätä tulisi suosia energiatehokkuuden ja pumppaamon toimintavarmuuden takia.

Suurin osa jätevedenpumppaamoista on ylimitoitettuja. Ylimitoituksen taustalla on usein looginen ajatus siitä, että tehdään varmuuden vuoksi ylisuuri pumppaamo, jotta selvitään virtaushuipuista tai pumppaamon alueen kasvusta tulevina vuosina. Väärin mitoitettu pumppaamo kuluttaa turhaan energiaa, kun pumput eivät ole optimoituja kohteen tilanteeseen. Pumpun systeemin hyötysuhdekäyrä on tärkeä osa pumppujen mitoitusta ja valintaa. Sen avulla nähdään toimintapiste, jossa pumpun nimellishyötysuhde on paras mahdollinen. Hyötysuhteen lisäksi vertailuun tarvitaan pumppujen ominaiskäyrät.

Pumppujen ja koko pumppaamon toimintavarmuus ohjaa merkittävästi pumppaamon hankintaa. Vaikka pyritään hyvään energiatehokkuuteen, ei se voi vaikuttaa liikaa pumppaamon toimintavarmuuteen. Niinpä parempaa energiatehokkuutta tavoiteltaessa pitää muistaa myös toimintavarmuuden asettamat vaatimukset. Toimintavarmuus ei kuitenkaan ole pelkästään rajoittava tekijä, sillä panostettaessa laadukkaaseen ja toimintavarmaan pumppaamoon, mahdollistaa se säästön korjauskustannuksissa ja energian säästön pumppaamon toimiessa normaalisti ja ilman tukkeutumia.

Pumppujen säätötavoista paras on ehdottomasti juoksupyörän pyörimisnopeussäätö taajuusmuuttajan avulla. Taajuusmuuttaja ei kuitenkaan sovellu käytettäväksi pumpuissa, joissa nostokorkeus on pääosin staattista nostokorkeutta. Taajuusmuuttajan käytössä on omat haasteensa, mutta huolellisella suunnittelulla ne voidaan minimoida, jolloin taajuusmuuttajan avulla pystytään saavuttamaan merkittäviä säästöjä energian-

kulutuksessa. Taajuusmuuttajan jälkeen seuraavaksi paras vaihtoehto olisi käyttää on/off säätöä.

Energiatehokkuutta voidaan vertailla ETpu-menetelmällä tai laskemalla ominaisenergioita. Vertailu on myös mahdollista tehdä kirjallisuuslähteiden avulla tai haastattelemalla vesihuoltolaitoksia, mutta ne eivät ole niin tarkkoja kuin kaksi ensimmäistä vaihtoehtoa. Tässä työssä pumppaamoiden vertailu on kuitenkin tehty kirjallisuuslähteiden mukaan. Paras tapa vertailuun olisi ETpu-menetelmän käyttö. Tämä menetelmä olisi myös hyvä laajentaa osaksi jokaisen pumppaamon seurantajärjestelmää.

7.2 Parannustoimenpiteet

Verkoston parantaminen on kokonaisuuksien hallinnasta kiinni, koska vain yhden puutteellisen kohdan muuttaminen ei juurikaan paranna kokonaisuutta. Parantaminen täytyy kuitenkin tehdä askel kerrallaan. Alla esitetään listaus tärkeimmistä toimista energiatehokkuuden parantamiseksi ja niiden järjestys.

1) Ensimmäisten toimenpiteiden joukossa olisi hyvä olla taajuusmuuttajien lisääminen kaikkiin soveltuviin pumppaamoihin sekä pumppujen mitoituksen tarkistaminen.
2) Pumppaamosaneerauksen yhteydessä tehtäviä toimenpiteitä on juoksupyörän säätöjen optimointi ja pumppujen uusiminen energiatehokkaampiin. Huomiota voisi myös kiinnittää pumppujen sähkömoottoreiden nykyaikaisuuteen, tehokkuuteen ja kokoon.
3) Jatkuva energiatehokkuuden seuranta vaatii esimerkiksi ETpu-menetelmää hyödyntävän järjestelmän lisäämisen pumppaamoihin. Seurannan hyötynä on korjaustoimenpiteiden suunnittelu ja jaottelu kiireellisyyden mukaan. Tärkeä osa seurantaa on tulosten kirjaaminen niin, että ne ovat helposti hyödynnettävissä.
4) Verkoston kuntoon voisi tässä vaiheessa kiinnittää enemmän huomiota, sillä sen hyvä kunto ja vuotovesien pääsyn estäminen putkistoon parantaa entisestään muilla toimenpiteillä saavutettua hyötyä.
5) Verkoston mallintaminen on tärkeä osa parantamista, koska se auttaa hallitsemaan ja ymmärtämään kokonaisuuksia. Sitä ei kuitenkaan kannata tehdä kovin varhaisessa vaiheessa, sillä hyvän mallin rakentamiseksi tarvitaan paljon lähtöaineistoa esimerkiksi pumppaamoista.

7.3 Energiatehokkuuden mittaamisen kehittäminen

Ominaisenergiaan perustava mittaus on yksinkertaisempi tapa mitata energiatehokkuutta kuin ETpu-menetelmä. Ominaisenergiaa voidaan laskea muutaman eri kaavan perusteella, mutta yksinkertaisimmin se saadaan selville jakamalla pumppaamolla päivän aikana käytetyllä sähköllä aikaansaatu pumpattu vesimäärä. Ominaisenergiaa tulee kuitenkin vertailla teoreettiseen minimiarvoon, jota varten täytyy tietää pumppaamoiden väliset nostokorkeudet.

ETpu-menetelmä on tällä hetkellä paras tapa mitata pumppaamon energiatehokkuutta. Menetelmässä tehdään mittaukset esimerkiksi 24–48 tunnin aikana ja useita kertoja tunnissa. Mittaushetkellä tarvitaan tiedot pumppaamon käyttämästä sähköstä, lähtevästä virtaamasta ja painekorkeudesta imu- ja painepuolella. Lisäksi tarvitaan tiedot pumppujen hyötysuhteesta ja nimellishyötysuhteesta.

LÄHTEET

Anon., 2009. *Energiatehokas pumppausjärjestelmä.* Motiva Oy.

Hakala, L., 2019. *Jätevesipumppaamoiden vikojen hallinta ja ennakointi.* Helsinki: Metropolia Ammattikorkeakoulu.

Kangas, A., 2019. *Häiriötilanteet, poikkeukselliset tilanteet, ylivuodot ja lupamääräysten täyttäminen.* Kalajoki: Ympäristöministeriö.

Kurki, K., 2016. *Paineviemärin energia- ja kustannustehokkuuden kehittäminen.* Tampere: TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO.

Kuronen, M., 2014. *Energiatehokkuuden parantaminen talousveden jakelussa.* Espoo: Aalto-yliopisto.

Motiva Oy, 2009. *Energiatehokas pumppausjärjestelmä.* [Online] Saatavilla https://www.motiva.fi/files/2419/Energiatehokas_pumppausj_rjestelm_.pdf [Haettu 18 5 2022].

Motiva Oy, 2011. *Energiatehokkaat pumput.* [Online] Saatavilla: http://www.motiva.fi/files/5343/Energiatehokkaat_pumput.pdf [Haettu 5 Maaliskuu 2022].

Motiva Oy, 2022. *Energiatehokas jäteveden pumppaus.*

Motiva Oy, 2022. *Vedenjakelu- ja viemäriverkoston energiatehokkuuden mallintaminen.* [Online]
Saatavilla:
https://www.motiva.fi/julkinen_sektori/vesihuoltolaitos/veden_tuotanto_ja_jakelu/verkostojen_energiatehokkuuden_mallintaminen
[Haettu 22 Huhtikuu 2022].

Myllylä, H., 2012. *Vesihuollon suunnitteluohje : Suunnittelukäytännöt pääkaupunkiseudulla.* Helsinki: Metropolia Ammattikorkeakoulu.

Niemeläinen, T., 2021. *SANEERATTUJEN JÄTEVEDENPUMPPAAMOJEN PUMPPUJEN KUSTANNUS- JA ENERGIASÄÄSTÖT JOENSUUN ALUEELLA.* Joensuu: Karelia ammattikorkeakoulu.

Pulli, M., 2015. *Pumppaamon energiatehokkuuden tunnusluvun määritysmenetelmä sekä tietokoneohjelma tunnusluvun määrittämiseksi.* Suomi, Patenttinro 124877.

Sipponen, J., 2018. *Siirtoviemärin energiatehokkuuden parantaminen.* Tampere: Tampereen ammattikorkeakoulu.

Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, 1994. *RIL 102-1994 Viemärivedenpumppaamoiden suunnittelu- ja hankintaohje.* Helsinki.

Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, 2003. *RIL 124-1 Vesihuolto 1.* Helsinki: Vammalan Kirjapaino Oy.

Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, 2004. *RIL 124-2 Vesihuolto 2.* Helsinki: Vammalan Kirjapaino Oy.

Vartiainen, A., 2021. *Pumppaamon energiatehokkuuden määritys : ETpu-menetelmä.* Kuopio: Savonia ammattikorkeakoulu.

Viitala, A., 2015. *JÄTEVESIPUMPPAAMOJEN ENERGIATEHOKKUUS.* Lappeenranta: Lappeenrannan Teknillinen Yliopisto.

Xenos, R., 2014. *Taajuusmuuttajien säätöjen optimointi jätevesipumppaamoissa.* Helsinki: Metropolia Ammattikorkeakoulu.