

LAPPEENRANNAN TEKNILLINEN YLIOPISTO

Teknillinen tiedekunta

Ympäristötekniikan koulutusohjelma

BH10A0300 Ympäristötekniikan kandidaatintyö

**VESIHUOLLON ENERGIA TEHOKKUUDEN
KEHITTÄMISMAHDOLLISUUDET
TUOTANNON OHJAUSJÄRJESTELMÄÄ HYÖDYNTÄEN**

**The development possibilities for the energy efficiency of water
supply and sewerage using the manufacturing execution system**

Työn tarkastaja: Professori, TkT Risto Soukka

Työn ohjaaja: Nuorempi tutkija, DI Juha Viholainen

Tampereella 20.12.2012

Kirsi Rautio

SISÄLLYSLUETTELO

1 JOHDANTO	3
1.1 Työn taustaa	3
1.2 Työn tavoitteet ja rajaukset	4
2 VESIHUOLTO, VEDEN KÄSITTELYN TARVE JA MENETELMÄT	5
2.1 Raakaveden käsittelyn tarve ja menetelmät	5
2.1.1 Tautia-aiheuttavien organismien poistaminen	7
2.1.2 Vedessä olevan värin ja orgaanisen aineksen poistaminen	7
2.1.3 Hajun ja maun parantaminen	8
2.1.4 Raudan ja mangaanin poistaminen	8
2.2 Veden siirto ja pumppaus	8
2.2.1 Raakaveden otto vesistöistä	9
2.2.2 Paineenkorotusasemat	9
2.2.3 Vesisäiliöt	10
2.3 Vesilaitoksen energiankulutus	10
2.4 Jäteveden pumppaus tuloviemäreissä	12
2.5 Jäteveden käsittelyn tarve ja menetelmät	12
2.5.1 Fysikaaliset käsittelymenetelmät	14
2.5.2 Kemiaaliset käsittelymenetelmät	16
2.5.3 Biologiset käsittelymenetelmät	16
2.6 Lietteen käsittely	18
2.7 Jätevedenpuhdistamon energiankulutus	19
3 TOIMINNAN- JA TUOTANNONOHJAUSJÄRJESTELMÄT	21
3.1 Tuotanto	21
3.2 Tuotannon- ja toiminnanohjaus	22
3.3 Ohjausjärjestelmät	24
3.3.1 Toiminnanohjausjärjestelmät, ERP	24
3.3.2 Tuotannonohjausjärjestelmät, MES	26
4 TAMPEREEN VESIHUOLTOJÄRJESTELMÄ	30

4.1 Raakaveden pumppaus Roineesta Ruskon vedenpuhdistuslaitokselle	30
4.2 Talousveden valmistus.....	31
4.3 Talousveden jakelu	32
4.4 Talousveden valmistuksen ja jakelun energiankulutus.....	33
4.5 Jäteveden pumppaus Viinikanlahden jätevedenpuhdistamolle.....	34
4.6 Jätevedenpuhdistus	35
4.6.1 Mekaaninen puhdistus	35
4.6.2 Biologinen puhdistus	36
4.6.3 Lietteen käsittely.....	37
4.7 Jäteveden keräämisen ja puhdistuksen energiankulutus	37
5 TUOTANNONOHJAUSJÄRJESTELMÄN MAHDOLLISUUDET	
ENERGIATEHOKKUUDEN PARANTAMISEKSI TAMPEREEN VEDELLÄ	39
5.1 Ilmastuksen tehostaminen tuotannonohjausjärjestelmän avulla.....	43
5.2 Pumppauksen tehostaminen tuotannonohjausjärjestelmän avulla.....	47
5.3 Lietteen käsittelyn tehostaminen tuotannonohjausjärjestelmän avulla.....	49
6 JOHTOPÄÄTÖKSET	51
7 YHTEENVETO.....	54
LÄHTEET	56

1 JOHDANTO

1.1 Työn taustaa

Valtioneuvosto hyväksyi syksyllä 2009 uuden ilmasto- ja energiastrategian. Strategian esityksen mukaan useiden Suomen sektoreiden päästöjä on leikattava vuoteen 2020 mennessä keskimäärin 16 prosenttia vuoden 2005 tasosta. Lisäksi Euroopan unioni on ottanut tavoitteekseen tehostaa energiankäyttöään 20 prosenttia vuoteen 2020 mennessä. Näiden tavoitteiden saavuttaminen vaatii merkittäviä ilmasto- ja energiapoliittisia toimenpiteitä myös päästökaupan ulkopuolelle jäävillä sektoreilla. Vesihuoltolaitokset kuluttavat merkittäviä määriä energiaa, joten energia- ja päästövähennysvaatimukset on alettu huomioida myös vesihuollossa. Sähköenergian kustannusten jatkuva nousu asettaa myös paineita vesihuoltolaitosten merkittävimpien energiankulutuskohteiden tunnistamiselle, yksikköprosessien optimoinnille ja täten myös kustannussäästöjen tavoittamiselle. (Pöyry 2012, 3.)

Vesihuolto käsittää sekä puhtaan veden hankinnan, käsittelyn ja jakelun kuin myös jäteveden keräämisen, käsittelyn ja poisjohtamisen. Vesihuolto koostuu monesta eri yksikköprosessista, joista osa kuluttaa suuria määriä energiaa. Vaikka prosesseja on kehitetty vuosien saatossa, vesihuollosta löytyy yhä potentiaalia energiankäytön tehostamiselle. Yhä edelleen monesta prosessikohdasta puuttuu automaatio, ja toiminnanohjaus tapahtuu manuaalisesti. Manuaalisen ohjauksen taustalla on usein työntekijän kokemuksesta tuleva toiminta ja tämä on riski vesihuollon toiminnalle esimerkiksi työntekijöiden siirtyessä eläkkeellä vieden tiedon mukanaan.

Myös koventunut kilpailu yritysten toimintaympäristössä on pakottanut hyödyntämään käytettävissä olevista resursseista kaiken mahdollisen. Samalla kun tuotannon tulisi olla joustavaa ja tehokasta, kustannustehokkuuden pitäisi parantua ja asiakasta pitäisi palvella

entistä paremmin. Muun muassa nämä tekijät ovat syitä miksi vesihuollossa on alettu miettimään tuotannonohjausjärjestelmän mahdollisuuksia energiatehokkuuden parantamiseksi.

Toiminnan- ja tuotannonohjauksen tavoitteina on organisoida ja ohjata yrityksen toimintaa niin, että yrityksen tuotannon tavoitteet pystytään toteuttamaan parhaalla mahdollisella tavalla minimoiden kustannukset ja energiankäytön. Ohjauksien tueksi on monissa suuremmissa yrityksissä otettu avuksi erilaisia toiminnan- ja tuotannonohjausjärjestelmiä. Ohjausjärjestelmien avulla voidaan hallita yrityksen toiminnan suunnittelua ja toteutusta kustannus- ja energiatehokkaalla tavalla reaaliaikaisesti. Ohjausjärjestelmät mahdollistavat, että yrityksen toiminta perustuu yhä enemmän automaatioon ja työntekijöiden tehtävinä ovat etupäässä valvontatehtävät. Informaatioteknologia onkin yksi nopeimmin kehittyvistä alueista, joissa atk:n soveltamisen mahdollisuudet ovat lähes rajattomat.

1.2 Työn tavoitteet ja rajaukset

Tässä kandidaatintyössä tutkitaan tuotannonohjausjärjestelmän soveltuvuutta vesihuollossa. Työn alussa avataan mistä eri prosesseista vesihuolto koostuu sekä kerrotaan vedenkäsittelyn tarve ja menetelmät. Tässä vaiheessa nostetaan esille myös yleisesti vesihuollossa suuria määriä energiaa kuluttavat prosessit. Tämän avulla ymmärretään kokonaisuudessaan vesihuollon laajuus. Kappaleessa 3 avataan mitä tuotannolla, tuotannonohjauksella ja sen ohjausjärjestelmillä tarkoitetaan. Vesihuollossa tuotantoprosessina voidaan pitää talousveden valmistusta sekä jäteveden puhdistusta. Empiiriseen osuuteen on otettu Tampereen Veden vesihuolto. Työssä keskitytään Tampereen Vedelle kuuluviin Ruskon vedenpuhdistuslaitoksen ja Viinikanlahden jätevedenpuhdistamon prosesseihin ja kerrotaan laitosten toimintaperiaatteet. Työn tavoitteena on tunnistaa näiden kahden laitoksen merkittävimmät energiaa kuluttavat prosessit ja miettiä kuinka prosessien energiankulutukseen voitaisiin vaikuttaa tuotannonohjausjärjestelmän avulla. Kandidaatintyön tavoitteena on myös pohtia tuotannonohjausjärjestelmän soveltuvuutta Tampereen vesihuollossa ja ohjausjärjestelmästä saatavia mahdollisia hyötyjä energiatehokkuuden parantamiseksi.

Teoriaosuudessa keskitytään vesihuollon prosessivaihtoehtoista enemmän niihin, jotka ovat käytössä Tampereen Vedellä. Esimerkiksi raakaveden käsittelyssä puhutaan pelkästään pintavedestä ja sen puhdistuksen tarpeesta, koska Ruskon vedenpuhdistuslaitos käsittelee pintavettä. Vesihuollossa energiaa kuluu moneen muuhun tekijään, kuin itse veden ja jäteveden puhdistukseen ja siirtoon. Näitä ovat esimerkiksi vesilaitoksen, jätevedenpuhdistamon ja pumppaamoiden tilojen lämmitys, jäädytys, ilmastointi sekä valaistus. Energiankulutusta nostattavat usein myös väärät laitevalinnat tai laitteiden väärä mitoitus sekä saneerauksen tarpeessa olevat laitteet. Tässä työssä on tarkoitus keskittyä käytönaikaisella ohjauksen muutoksilla vaikuttamaan prosessien toimintaan ja energiankulutukseen, joten työssä ei keskitytä miettimään esimerkiksi laitteiden saneerauksesta saatavaa energiansäästöä. Työn ulkopuolelle rajataan myös muut kuin itse vesihuollon prosessien energiankulutukseen vaikuttavat tekijät, kuten laitosten valaistuksen energiankulutukset.

2 VESIHUOLTO, VEDEN KÄSITTELYN TARVE JA MENETELMÄT

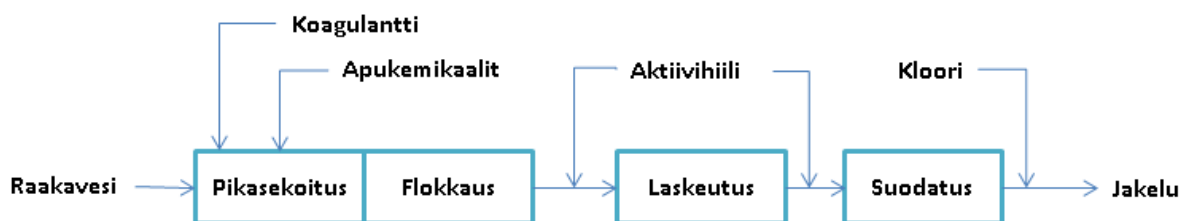
Vesilaitokseen luetaan kuuluviksi rakenteet ja laitteet, joita tarvitaan veden ottoon vesistöä, veden käsittelyyn, varastointiin ja jakeluun. Jätevedenpuhdistamoon luetaan kuuluviksi rakenteet ja laitteet, joita tarvitaan jätevesien keräämiseen, käsittelyyn ja poisjohtamiseen takaisin vesistöön. Näistä kahdesta laitoksesta muodostuu vesihuolto. Tässä kappaleessa kerrotaan raakaveden käsittelyn tarve ja menetelmät, talousveden jakelusta kuluttajille sekä suurimmat energiaa kuluttavat prosessit talousveden valmistuksessa ja jakelussa. Tämän jälkeen käsitellään jätevesien siirto jätevedenpuhdistamolle, jätevedenpuhdistuksen tarve ja menetelmät sekä niiden merkittävimmät energiankulutukseen vaikuttavat prosessit.

2.1 Raakaveden käsittelyn tarve ja menetelmät

Vesihuoltolain 1 §:n mukaan vesihuoltolain tavoitteena on turvata sellainen vesihuolto, että kohtuullisin kustannuksin on saatavissa riittävästi terveydellisesti ja muutoinkin moitteetonta

talousvettä. Yleiset veden laatuvaatimukset voidaan esittää kolmena vaatimuksena; hygieeniset, esteettiset sekä tekniset laatuvaatimukset. Hygieenisillä laatuvaatimuksilla taataan, että vedessä ei ole tauteja aiheuttavia mikrobeja eikä myrkyllisiä aineita. Veden vieraiden aineiden pitoisuuksien tulee olla riittävän pieniä, jotta veden desinfiointi onnistuisi. Esteettiset laatuvaatimukset tarkoittavat sitä, että veden tulee olla miellyttävää käyttää. Veden miellyttävyys tulee siitä, että siinä ei ole väriä, sameutta, makua tai hajuja, eikä sen lämpötila kesällä ole liian korkea ja vastaavasti talvella liian matala. Tekniset laatuvaatimukset tarkoittavat sitä, että vesi ei saa syövyttää, tukkia tai muulla tavalla vahingoittaa vedenkäyttäjien putkistoja ja laitteita. Näiden vaatimusten noudattaminen on vesilaitokselle tärkeää jakeluverkon keston ja kunnossa pysymisen ja sitä kautta kustannusten takia. Vedenkäsittelyllä varmistetaan veden jakelun hygieenisuus ja veden laadun muuttumattomuus jakelujärjestelmän putkissa. (Karttunen 2003, 42.)

Veden käsittelyn tarve riippuu raakavesilähteestä. Hyvälaatuinen pohjavesi tarvitsee yleensä vain desinfiointin, kun taas pintavesi joudutaan usein käsittelemään melko raskaalla menetelmällä. Pintaveden käsittelytarpeen aiheuttavat vedessä olevat humus ja hygieeniset epäpuhtaudet. Talousveden puhdistus tapahtuu joko fysikaalisilla tai kemiallisilla käsittelymenetelmillä tai niiden yhdistelmillä. (Karttunen 1999, 127-128.) Alla olevassa kuvassa 1 on esitetty pintaveden puhdistuksen yleinen prosessikaavio.



Kuva 1. Pintaveden puhdistuksen prosessikaavio. (Mukaiillen Karttunen 1999, 128.)

Pintavedet Suomessa ovat yleensä humuspitoisia, pehmeitä sekä aggressiivisia. Aggressiivisuudella tarkoitetaan, että vesi syövyttää metallisia putkia ja laitteita. Pintavedet vaativat yleisesti kemiallisen käsittelyn sekä orgaanisten aineiden vähentämiseksi että syövyttävien ominaisuuksien poistamiseksi. Tavallisimmat puhdistustavoitteet vedelle ovat

värin ja orgaanisten aineiden poisto, raudan ja mangaanin poisto, hajun ja maun parantaminen sekä veden kovuuden muuttaminen ja kokonaissuolan poisto. (Karttunen 1999, 133.)

2.1.1 Tautia-aiheuttavien organismien poistaminen

Desinfiointia pidetään tärkeimpänä veden käsittelyn tavoitteena. Desinfiointiin hapettavan aineen avulla hävitetään vedestä tautia-aiheuttavat organismit, joita yleisimpiä ovat bakteerit, virukset ja alkueläimet. Desinfiointin vaikutus perustuu hapettavan kemikaalin kykyyn tunkeutua tautia-aiheuttavan organismin solun sisälle ja tuhota se. Vesihuollossa eniten käytettyjä desinfiointimenetelmiä ovat klooraus, hypokloriitti, otsonointi sekä UV-säteily. (Karttunen 2004, 152, 344.)

2.1.2 Vedessä olevan värin ja orgaanisen aineksen poistaminen

Värin ja orgaanisten aineiden esiintyminen vedessä tulevat yleensä humuksesta. Kemialliseen koagulaatioon perustuva puhdistusmenetelmä on yksi keskeisimmistä vedenpuhdistuksen prosesseista, jonka avulla poistetaan humusta. Koagulaatioprosessi tarkoittaa sitä, että veden negatiivisesti varautuneet kolloidit, kuten humus, hylkivät toisiaan, eivätkä voi flokkautua eli kiinnittyä toisiinsa. Saostuskemikaalin avulla negatiivisesti varautuneet kolloidit neutraloidaan ja tätä kutsutaan koagulaatioprosessiksi. Tällöin kolloidit voivat kasvaa suuremmiksi hiukkasiksi (mikroflokit). Hämmennyksen eli flokkauksen avulla hiukkasia kasvatetaan vielä suuremmiksi laskeutumiskelpoisiksi hiukkasiksi (makroflokit). Lopullinen hiukkasten poistaminen tapahtuu joko flotaation tai laskeutuksen avulla sekä suodattamalla. Flotaatiossa veteen puhalletaan ilmakuplia, jotka nostattavat likahiukkaset pintaan. Veden pinnalta hiukkaset voidaan poistaa ylitteenä. (Karttunen 2004, 133, 344-345.)

2.1.3 Hajun ja maun parantaminen

Vedessä hajuja ja makuja voivat aiheuttaa esimerkiksi levät sekä teollisuudesta tai maataloudesta veteen joutuneet orgaaniset yhdisteet. Hajuja ja makuja voidaan poistaa erilaisilla puhdistusmenetelmillä kuten ilmastuksella, kemiallisella laskeutuksella ja hidassuodatuksella tai käyttämällä hapetuskemikaaleja tai adsorptioaineita. Klooraus on tunnettu hajujen ja makujen poistomenetelmä, mutta se saattaa itsessään aiheuttaa maku- ja hajuhäiriöitä. Klooridioksidi onkin kloorauksen yleinen lisätoimenpide poistamaan haju- ja makuhäiriöitä. Aktiivihiili on myös paljon käytetty hajujen ja makujen poistaja. Sitä voidaan käyttää joko jauhemaisena syöttämällä se raakaveteen ennen suodatusta, tai rakeisena pikasuodattimena suodatinhiekan tilalla tai erikseen lisäkäsittelymenetelmänä. (Karttunen 2004, 345-346.)

2.1.4 Raudan ja mangaanin poistaminen

Vedessä olevien rauta- ja mangaanipitoisuuksien poistaminen perustuu niiden aiheuttamaan esteettiseen ja käyttöhaittaan. Rauta- ja mangaanipitoisuudet aiheuttavat veden sameutta sekä värjäävät pyykkiä. Sameus voi myös heikentää desinfioidin tehokkuutta. Vesijohtoverkostossa pitoisuudet puolestaan saattavat edistää korroosiota. Rautapitoisuutta voidaan poistaa vedestä kemiallisen koagulaation ja sitä seuraavan suodatuksen avulla sekä eri kemikaalien, kuten kloorin avulla. Mangaanin poisto vaatii yleensä hapettavan aineen kuten kloorin tai otsonin. Raudan ja mangaanin poiston yhteydessä lisätään myös veden kovuutta hiilidioksidin, soodan tai kalkin avulla. (Karttunen 2004, 347.)

2.2 Veden siirto ja pumppaus

Vesihuoltotekniikka on suureksi osaksi veden johtamista luonnonympäristöstä yhdyskunnan käyttöön ja sieltä takaisin luonnonympäristöön. Käsittelyn yhteydessä vesi joudutaan johtamaan osaprosessista toiseen. Vesi johdetaan painovoimaisesti paikasta toiseen joko

avouomassa tai osittain täynnä olevassa putkessa. Vesi voidaan johtaa myös pumppaamalla se paineputkessa. (Karttunen 2004, 21.) Tällöin kyseessä on yleensä joko veden suoranainen tai välitön nosto korkeammalle tasolle tai veden paineenkorottaminen. Veden nosto voi tulla tarpeeseen esimerkiksi veden käsittelylaitoksissa ja jätevedenpumppaamoissa. Veden paineen korottamista voidaan käyttää, jotta vesi paineen avulla voisi myöhemmin nousta haluttuun tasoon. (Kajosaari 1974, 155.)

2.2.1 Raakaveden otto vesistöistä

Pintavedestä valmistettava talousvesi pumpataan yleensä järvestä tai joesta. Vedenottokohdan tarkoituksenmukaisella valinnalla pystytään vähentämään satunnaisia vaihteluita veden laadussa ja siten edistää hyvän tuloksen saavuttamista käsittelyprosessissa. Pumput sijaitsevat joko erillisessä tai rantakaivon yhteydessä olevassa pumppaamossa, josta ne pumppaavat veden vesistöistä vedenpuhdistuslaitokselle. Pumppujen määrä riippuu laitoksen koosta, mutta yleisenä periaatteena käyttövarmuus edellyttää, että yksi pumppu voi milloin tahansa olla korjattavana tai huollossa. (Karttunen 1999, 85; Karttunen 2004, 325.)

2.2.2 Paineenkorotusasemat

Vedenjakelujärjestelmällä tulee olla johtoverkon painetaso sekä rakenteet ja laitteet sen ylläpitämiseksi. Jakelualueen pitäminen yhdessä painepiirissä on ideaalista, mutta usein mahdotonta. Painetasovaatimuksia voi olla useita esimerkiksi jakelualueen laajuuden ja vaihtelevan topografian takia. Tällöin on edullisinta järjestää paineenkorotuksia määrättyillä alueilla ja jättää muu osa jakelualueesta alemman painetason varaan. Paineenkorotuspumppuja, joiden avulla vedenjakelu tapahtuu vesijohtoverkostossa sekä vesisäiliöt täytetään, on ohjattavissa tilanteesta riippuen useilla eri menetelmillä. Menetelmät voivat olla ylä- tai alasäiliön pinnankorkeuden perusteella tai verkoston paineen perusteella. (Karttunen 2004, 232, 331.)

2.2.3 Vesisäiliöt

Veden kulutus vaihtelee paljon vuorokausien tai jopa eri tuntien aikana. Veden kulutushuippuja vuorokauden aikana ovat aamut ennen töihin ja kouluun lähtöä, sekä illat kotitalouksien tehdessä ruokaa ja pestessä pyykkiä. Yhdyskunnan energian ja talousveden kulutuskäyrät vaihtelevat käyttäjien aktiivisuuden mukaan. Vedenkäsittelylaitoksen ja jakeluverkoston toimintoja pyritään ohjaamaan mahdollisimman säännöllisesti ja siitä johtuen vedenkulutushuippuihin ei aina voida varautua suoraan vedenjakelulaitokselta. Turvataksaan keskeytymättömän vedenjakelun kaikissa olosuhteissa, ovat vesilaitokset rakennuttaneet alaja ylävesisäiliöitä. Vedenkulutuksen ollessa suurta vesi virtaa käyttöön yhtä aikaa suoraan pumppujen kautta vedenkäsittelylaitokselta, verkoston osista sekä säiliöistä. Yöllä kulutuksen laskiessa virtaus suuntautuu säiliöihin, jotka täyttyvät. Vesisäiliöitä tarvitaan kulutushuippujen tasaamisen lisäksi myös jakeluverkoston kulutuspainoiden tasaamiseksi sekä jakeluhäiriöiden varalle, kuten sähköjakeluhäiriön sekä sammutusvesivarastoiksi. (Asola 2003, 16-20; Karttunen 2004, 331.)

Ylävesisäiliöksi kutsutaan järjestelmää, jossa käsitelty vesi johdetaan pumppaamolta ensin ympäristöönsä ylempään varastosäiliöön ja vasta sieltä painovoimaisesti verkostoon. Säiliön vedenpinta vaihtelee kulutuksen mukaan, jota säädellään automaation avulla. Virtaama-, paine- ja pinnankorkeustiedot voidaan sähköisen viestinnän kautta välittää pumppujen toimintaa valvovalle tietokoneelle, joka muuttaa pumpun sähkömoottorin syöttövirran taajuutta. Taajuuden muuttuessa pumpun tuotto, nostokorkeus sekä energiankulutus vaihtuvat uusiin arvoihin. (Asola 2003, 16-20.)

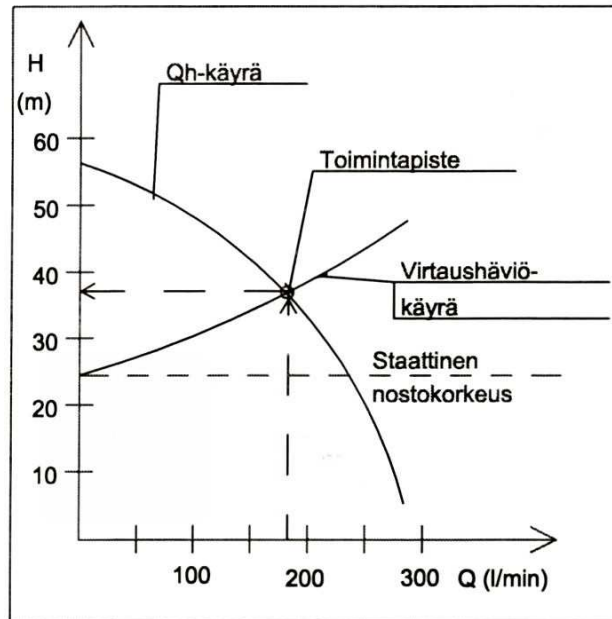
2.3 Vesilaitoksen energiankulutus

Kuten kappaleesta 2.2 saadaan kuva, vesilaitoksen energiankulutus muodostuu raakaveden pumppaamisesta vedenpuhdistuslaitokselle, vedenpuhdistuksen yksikköprosesseiden tarvitsemasta sähköstä, käsittely-yksiköiden välillä tapahtuvasta pumppauksesta sekä jakeluverkon tarvitsemasta pumppauksesta. Sähköä kuluu myös esimerkiksi kemikaalien

syöttöön, mutta niiden sähkönkulutus ei ole läheskään yhtä suurta, kuin pumppujen sähkönkulutus. Voidaankin todeta, että talousvedeksi puhdistuksen ja jakelun sähkönkulutukseen vaikuttavat selvästi eniten veden siirtoon tarvittavat pumput.

Pumput vastaavat noin 20 prosenttia maailman sähkönkulutuksesta ja ne kuluttavat monissa teollisuusprosesseissa valtaosan prosessiin tarvittavasta sähköenergiasta. Tästä johtuikin, että pumppausprosessin tehostaminen on merkittävimpiä keinoja vähentää sähkönkulutusta. Pumppausjärjestelmän teho riippuu pumpattavan nesteen liikekitkan aiheuttamista häviöistä, nesteen paineen nostamisesta sekä nesteen fyysisestä nostamisesta. Energiatehokkuuden kannalta pumppausjärjestelmään vaikuttavat pumppujen mitoitus, pumppauksen ohjaus, pumppujen moottorit, pumppujen huolto ja kunnossapito, pumppausprosessin toiminnan kartoittaminen ja kehittäminen sekä putkiston energiaterveys. (Federley 2009, 3.)

Vaikka merkittävimpiä tekijöitä pumppauksen energiaterveystien kannalta ovat pumpputyypin oikea valinta sekä pumppausjärjestelmän oikea mitoitus, ohjaustavalla pystytään myös vaikuttamaan pumppujen energiankulutukseen. Tutkimusten avulla on osoitettu, että jopa 30-50 prosenttia pumppujärjestelmien kuluttamasta energiasta on mahdollista säästää laitteiston tai säätötavan muutoksella (Europump and Hydraulic Institute 2001, 3). Optimaalinen säätötapa riippuu prosessin tarpeista, jotka ovat muun muassa pumpun käyttötunnit, virtauksen säätötarve sekä toimintaympäristö esimerkiksi vaadittava nostokorkeus. Tärkeintä pumppujen ohjaustavassa olisi löytää optimaalisin tapa ajaa pumppuja, eli missä pumpun tehokkuus on maksimissaan. Tätä kuvaa pumpun toimintapiste, joka on pumpun ja prosessin ominaiskäyrien leikkauspisteessä ja joka muuttuu olosuhteiden muuttuessa. Pumpun ominaiskäyrän ja toimintapisteen paikkaan vaikuttavat nostokorkeus, virtausmäärä, pumpun teho ja tehokkuus sekä putkiston häviöt (Federley 2009, 5.) Kuvassa 2 on esimerkki pumpun toimintapisteen määrittämisestä.



Kuva 2. Pumpun toimintapisteen määrittäminen. (Karttunen 1999, 38.)

2.4 Jäteveden pumppaus tuloviemäreissä

Jätevesi pyritään johtamaan jätevedenpuhdistuslaitokselle viettoviemäroinnin, eli painovoimaan perustuvan virtauksen avulla. Tämä ei aina ole mahdollista esimerkiksi maaston aiheuttamien korkeuserojen vuoksi, jolloin turvaututaan pumppaukseen. (Karttunen 1999, 166.) Viemäriveden pumppauksessa yleisimmät pumpputyypit ovat keskipakopumput, pneumaattiset nostolaitteet ja ruuvipumput. Pumput toimivat yleensä pinnankorkeuksien mukaan. Jäteveden pumppauksessa on sama käyttövarmuuden edellyttämä periaate kuin raakaveden; yksi pumppu voi milloin tahansa olla korjattavana tai huollossa. (Karttunen 2004, 487-488.)

2.5 Jäteveden käsittelyn tarve ja menetelmät

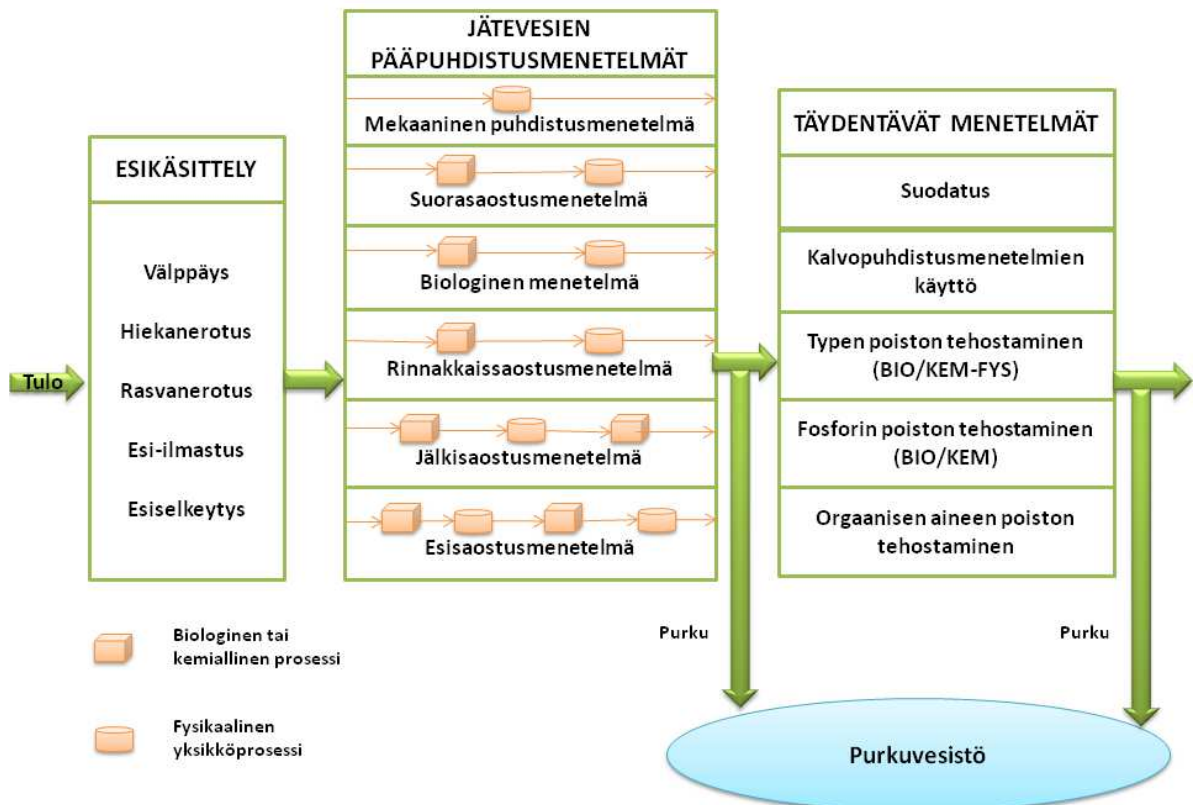
Jäteveden käsittelyn tarve tulee vesistöön joutuvien epäpuhtauksien määrän ja niiden haitallisten vaikutusten vähentämisestä purkuvesistössä. Jätevesien puhdistus on tärkeää

vesiensuojelun ja sitä kautta ympäristönsuojelun kannalta. Asumajätevesien viralliset velvoitteet asetetaan yleensä ympäristölupaviranomaisten antamissa lupapäätöksissä. Lupaehdoissa on määritelty puhdistuksen raja-arvot poistettavien aineiden pitoisuuksille ja jäteveden puhdistusteholle. Yhtenä tavoitteena jäteveden puhdistuslaadulle on laskea se purkuvesistöön yhtä puhtaana kuin se olisi luonnontilaisena. (Karttunen 2004, 492.)

Puhdistustavan valintaan vaikuttavat jäteveden epäpuhtauksien erilaiset olomuodot; kiinteät, nestemäiset ja kaasumaiset aineet. Ensisijaisesti puhdistuksella pyritään poistamaan seuraavat aineet:

- kiintoainees
- biologista hapenkulutusta aiheuttava orgaaninen aines (BOD)
- ravinteet (typpi, fosfori)
- rasvat ja öljyt
- patogeeniset organismit
- myrkyt (raskasmetallit ja kasvinsuojeluaineet)
- radioaktiiviset aineet
- pesu- ja puhdistusaineet (tensidit). (Karttunen 2004, 492.)

Jäteveden käsittelymenetelmät voidaan jakaa kolmeen ryhmään; esikäsittelymenetelmät, pääkäsittelymenetelmät sekä täydentävät käsittelymenetelmät. Pääprosessi on joko biologinen tai kemiallinen yksikköprosessi. Ennen pääprosessia jätevedestä on tarpeen poistaa monia viemäriin joutuneita aineita ja esineitä, kuten vaippoja, hammasharjoja ja vanupuikkoja. Esikäsittelyn tarkoitus on taata tukkeutumaton ja toimiva pääprosessi. Täydentävillä puhdistusmenetelmillä on tarkoitus nostaa puhdistusastetta tai käyttää ympäristöystävällisempiä käsittelymenetelmiä, joita voivat olla esimerkiksi typen ja fosforin biologinen poisto. (Karttunen 2004, 498.) Kuvassa 3 nähdään jäteveden puhdistusmenetelmien jakautuminen pääryhmiin. Käsittelymenetelmät voidaan jakaa myös puhdistusprosessin yksikköoperaattoreiden mukaan fysikaalisiin, kemiallisiin sekä biologisiin yksikköprosesseihin.



Kuva 3. Jäteveden puhdistusmenetelmien jakautuminen pääryhmiin. (Mukaiillen Karttunen 2004, 497.)

2.5.1 Fysikaaliset käsittelymenetelmät

Fysikaaliset käsittelymenetelmät ovat menetelmiä, joissa veden laadun muutos toteutetaan fysikaalisten ilmiöiden avulla. Tyypillisiä menetelmiä ovat välppäys, sekoitus, suodatus, ilmastus sekä selkeyty laskeutuksen ja flotaation avulla. Fysikaalisia menetelmiä käytetään yleensä veden kiintoaineksen erottamiseen. (Karttunen 2004, 17, 53.)

Jätevesien mukana tulee suurempia aineita ja esineitä, mutta myös hiekkaa, soraa ja rasvaa, jotka poistetaan esikäsittelyn avulla. Esikäsittelyn päätarkoituksena ovat seuraavat puhdistustavoitteet jätevedelle:

1. kiinteiden ja kelluvien aineiden poistaminen
2. hiekanerotus

3. esi-ilmastus
4. rasvanerotus
5. tulevan jäteveden virtaaman säätely
6. esiselkeytys (Karttunen 2004, 498.)

Lähes jokaisessa jätevedenpuhdistamossa ovat tarpeen edellisen listan kohdat 1 ja 2. Sen sijaan kohdat 3-6 eivät aina ole välttämättömiä tai edes tarpeellisia. Osaa menetelmistä on mahdollista yhdistää toimivan samoissa yksiköissä. (Karttunen 2004, 498.) Seuraavaksi kerrotaan lyhyesti jäteveden yleisimmät esikäsittelymenetelmät välppäys, hiekanerotus sekä esiselkeytys.

Jäteveden puhdistus alkaa välppäyksestä. Välppä on pystysuorista ahtaista säleistä muodostuva laite, jonka läpi jätevesi johdetaan. Säleiden rakoja suuremmat kappaleet jäävät välppään kiinni ja erotetaan välppäjätteeksi. (Kujala-Räty et al. 2008, 81.) Välppien avulla jätevedestä poistetaan karkeat, kuitumaiset ja muoviset epäpuhtaudet. Välppäjäte on käsiteltävä huolellisesti ja viipymättä ja kompostoitava tai vietävä kaatopaikalle. (Karttunen 2004, 499-501.)

Hiekanerotusta käytetään poistamaan jätevedestä hiekka, sora, kelluvat epäpuhtaudet kuten rasva sekä muu hienojakoinen epäorgaaninen aines, jota siihen on tullut esimerkiksi sadevesistä ja pyykinpesusta. Erottimessa veden nopeutta pienennetään, jolloin suuremmat hiekka- ja kivirakeet laskeutuvat pohjalle. Pohjalta hiekka poistetaan yleensä pumppujen avulla. Hiekanerotimessa voi olla myös ilmastus, jonka avulla hiekan mukana laskeutunut liete voidaan erottaa hiekasta vesi- tai ilmahuuhtelulla. (Karttunen 2004, 503-504.)

Yleisin viimeinen mekaaninen vaihe on esiselkeytys. Esiselkeytyksellä poistetaan jätevedessä olevaa kiintoainesta tai nestemäisiä partikkeleita painovoimaa tai keskipakovoimaa hyödyntäen. Poistettavien partikkelien koko vaihtelee lähellä kolloidishiukkasten koosta aina silmiin havaittavan kokoiisiin. Selkeytysmenetelmiä ovat laskeutus, suodatus ja flotaatio, joista tavallisin on laskeutus. Laskeutuksessa vettä raskaampi aines, eli liete, laskeutuu painovoiman

vaikutuksessa altaan pohjalle. Lieke poistetaan altaasta kaapimalla ja pumpataan tiivistyksen kautta jatkokäsittelyyn. (Karttunen 2004, 77.)

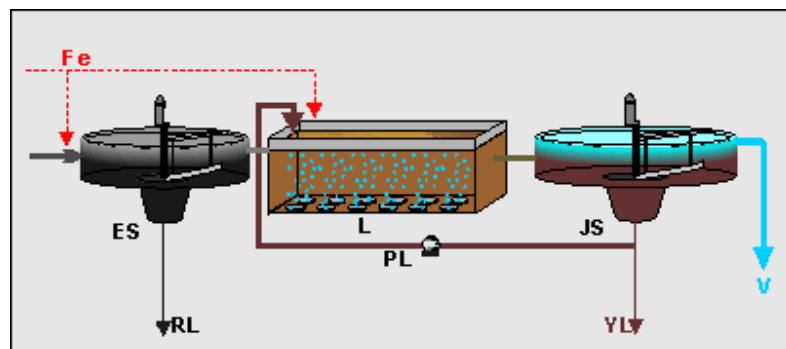
2.5.2 Kemialliset käsittelymenetelmät

Kemiallisissa käsittelymenetelmissä jätevedessä olevat epäpuhtaudet poistetaan lisäämällä veteen kemikaaleja tai käyttämällä hyväksi kemiallisia yksikköprosesseja. Kemiallisilla käsittelymenetelmillä pyritään aikaansaamaan muutoksia veden laadussa. Tärkeimpiä kemikaalien tehtäviä ovat kiintoaineksen, biokemiallisen hapenkulutuksen (BOD) ja ravinteiden (typpi ja fosfori) saostus, pH:n kontrollointi ja partikkelien koagulointi. Esimerkkeinä käsittelymenetelmistä ovat desinfiointi, veden sisältämän liuennan aineen saostuminen, kolloidisen aineen koagulaatio, hapetus sekä ioninvaihto. Kemikaaleja voidaan lisätä moniin eri jätevedenpuhdistuksen prosessivaiheisiin, kuten esiselkeytykseen ja ilmastukseen. (Karttunen 2004, 18, 133.)

2.5.3 Biologiset käsittelymenetelmät

Menetelmiä, joissa käytetään hyväksi biologisia prosesseja jäteveden puhdistamiseen, kutsutaan biologisiksi käsittelymenetelmiksi. Biologisen käsittelyn tarkoituksena on poistaa veteen liuenneita tai vedessä kolloidisina esiintyviä laskeutumattomia orgaanisia ja epäorgaanisia aineita. Mikro-organismit, pääasiassa bakteerit, muuttavat jätevedessä olevat kolloidit ja liuennossa muodossa olevat orgaaniset aineet solumassaksi, eli lietteen. Lietteen tiheys on hieman suurempi kuin veden, jolloin muodostunut massa voidaan poistaa mekaanisesti esimerkiksi laskeuttamalla. Biologisen prosessin päätarkoituksina ovat yleensä orgaanisen aineen poiston lisäksi ammoniakkin muuttaminen nitraatiksi (nitrifikaatio), nitraatin muuttaminen typeksi tai muuksi kaasumaiseksi tuotteeksi (denitrifikaatio), fosforin poisto sekä lietteen stabilointi. (Karttunen 2004, 18, 165, 181.)

Tyypillisin biologinen käsittelymenetelmä on aktiivilieteprosessi. Aktiivilietemenetelmässä mikrobit, jotka ovat kiinnittyneinä suspendoituneisiin hiukkasiin tai uivat vapaasti, tekevät puhdistustyön. Ilmastusallas on aktiivilieteprosessin keskeinen osa, jossa aktiivilietteen ja veden seosta sekoitetaan jatkuvasti, ettei liete laskeudu pohjaan. Samalla veteen lisätään ilmaa prosessin aerobisen tilan säilyttämiseksi. Ilmastuksella taataan mikrobeille riittävä happimäärä, varmistetaan mikrobien ja epäpuhtauksien muodostuminen flokeiksi sekä estetään flokkien enneaikainen laskeutuminen. Ilmastuksen tavoitteina ovat muun muassa mangaani-, rauta- ja rikkiyhdisteiden hapettaminen, desinfiointi, korroosion vähentäminen, hajua ja makua aiheuttavien aineiden poistaminen sekä haihtuvien orgaanisten aineiden (VOC) poistaminen. Ilmastusaltaan jälkeen vesi johdetaan jälkiselkeytykseen, jossa syntyneet flokit erotetaan vedestä samalla periaatteella kuin esiselkeytyksessä. (Karttunen 2004, 69, 183-184.) Alla olevassa kuvassa 4 on kuvattu aktiivilietelaitoksen tyypillinen prosessikaavio.



Kuva 4. Aktiivilieteprosessi. Fe= saostuskemikaali, ES=esiselkeytys, RL= raakaliete, L=ilmastus, JS=jälkiselkeytys, PL= palautusliete, YL= ylijäämäliete ja V= purku vesistöön. (Suomen ympäristökeskus 2011.)

Jälkiselkeytyksen jälkeen osa lietteestä (palautusliete) ohjataan takaisin ilmastusaltaaseen nopeuttamaan biologista puhdistusprosessia ja loppu liete (ylijäämäliete) ohjataan jatkokäsiteltäväksi. Vesi on jälkiselkeytyksen jälkeen riittävän puhdasta ja se voidaan johtaa takaisin vesistöön.

2.6 Lietteen käsittely

Jätevedenpuhdistusprosessin eri vaiheista syntyneen lietteen käsittelyn tarkoituksena on saada liete haitattomampaan muotoon. Lietteen käsittelyllä pyritään muuttamaan lietteen laatua stabiloimalla se siten, että orgaanisen aineksen hajoaminen ei enää jatku, sekä määrällisestä vähentämään lietettä poistamalla siitä vettä. Kokonaistavoitteena on lietteen jatkokäsittelyn ja kuljetuksen sekä hyötykäytön ja sijoituksen helpottaminen. Lietteen käsittelyyn voi kuulua muun muassa tiivistys (sakeutus), stabilointi, hygienisointi, kunnostus, kuivaus ja jatkokäsittely hyötykäyttöä varten. Vain harvoin lietettä ei jatkokäsitellä, vaan se poltetaan. Yleisimmät jatkokäsittelyvaihtoehdot ovat kompostointi ja jälkikalkitus. Jatkokäsiteltyä lietettä hyödynnetään viherrakentamisessa sekä kaatopaikkojen peitekerroksissa. (Karttunen 2004, 555, 560; Kujala-Räty et al. 2008, 13.)

Lietteen tiivistyksellä lietteestä poistetaan vettä painovoimaisesti joko laskeuttamalla, flotaation avulla tai mekaanisella tiivistyksellä. Tiivistys pienentää tilavuutta sekä käsittely- ja kuljetuskustannuksia. Lietteen kuivauksella pyritään myös pienentämään lietteen tilavuutta ja kiintoainepitoisuutta. Yleisiä lietteen kuivausmenetelmiä ovat lingot, suotopuristimet sekä imusuodattimet. Lietteen tiivistys- ja kuivausvaiheista syntyneet rejektivedet palautetaan jätevedenpuhdistusprosessin alkupäähän. Stabiloinnilla keskeytetään lietteessä tapahtuvan orgaanisten aineiden hajoamisprosessi, estetään hajuhaittojen syntyminen ja helpotetaan lietteen jatkokäsittelyä. Stabilointi voidaan tehdä pysyvästi mädätyksellä tai lahotuksella ja tilapäisesti kalkin avulla. Hygienisointi voi tapahtua muun muassa pastöroinnilla, lietteen pitkäaikaisella varastoinnilla tai muilla lietteen käsittelymenetelmillä kuten stabiloinnin yhteydessä. Hygienisoinnilla vähennetään lietteessä olevien orgaanisten yhdisteiden, bakteerien, virusten ja raskasmetallien määrää. Lietteen kunnostuksen tarkoituksena on parantaa veden poistamista lietteestä rikkomalla lietteen geelimäinen rakenne. Kunnostusvaihtoehtoja ovat esimerkiksi kuivaus sekä kemikaalien, kuten ferrikloridin, kalkin ja polymeerin käyttö. (Karttunen 2004, 560, 566, 569-570, 576-578.)

Lietteen stabilointi mädättämällä on melko yleistä Suomessa. Mädätyksessä syntyy biokaasua, joka koostuu metaanista (n. 60 %), hiilidioksidista (n. 30 %) ja vähäisistä määristä muita kaasuja. Biokaasua voidaan hyödyntää joko lämmityksessä, sähkön ja lämmön yhteistuotannossa, liikennepolttoaineena tai syöttämällä maakaasuverkkoon. Yleisin tapa biokaasulle on hyödyntää se lämmön ja sähkön yhteistuotannossa jätevedenpuhdistuslaitoksen omissa prosesseissa. Biokaasun hyödyntäminen liikennepolttoaineena kasvaa vähitellen, koska sen avulla on laskettu saatavan paras tuotto biokaasulle. (Pöyry Enviroment Oy 2007, 24.)

2.7 Jätevedenpuhdistamon energiankulutus

Jätevedenpuhdistusvaatimusten ja laitoksille tulevien virtaamien erot sekä jäteveden laatu vaikuttavat laitosten energiankulutukseen. Suuret jätevedenpuhdistamot pystyvät tavallisesti puhdistamaan jätevettä suhteessa vähemmällä energialla kuin pienet laitokset. Suomen jätevedenpuhdistamoista suurin osa on aktiivilietelaitoksia. Aktiivilietelaitoksilla sähkönkulutuksesta pääosa kuluu biologiseen käsittelyyn, josta ilmastusilman tuottaminen kompressoreiden avulla vie suuren osan. Ilmastuksen osuus biologisen käsittelyn energiankulutuksesta vaihtelee välillä 40-80 prosenttia ja sen osuus voi olla jopa puolet koko jätevedenpuhdistamon energiankulutuksesta. Suuret erot laitoksien välillä johtuvat virtaamamäärien lisäksi laitosten ratkaisuihin energiatehokkuuden kannalta sekä siitä mitä yksikköprosesseja laitokset sisältävät. Jos laitoksella ei ole omaa lietteen käsittelyä, ilmastuksen osuus kokonaisenergiankulutuksesta kasvaa merkittävästi. (Tukiainen 2009, 39, 42.)

Ilmastusta tarvitaan aktiivilieteprosessissa jäteveden riittävän happimäärän saamiseksi sekä sekoittamaan aktiivilietettä ilmastusaltaassa. Ilmastuksen energiantarpeeseen vaikuttavat muun muassa suunnittelu, laitevalinnat, prosessin ohjaus, laitteiden ylläpito ja huolto sekä puhdistettavan jäteveden ominaisuudet. Ilmastusilman määrään vaikuttavat jäteveden lämpötila ja koostumus. Veden orgaanisen aineksen kasvu ja viileämpi vesi vaikuttavat suoraan ilmastusilman suurempaan tarpeeseen. Ilmastustarpeen määrä riippuu vahvasti typenpoiston tarpeesta. Jos jätevedet sisältävät kaatopaikka- ja teollisuusvesiä, on typen määrä

yleensä suurempi. Tämä tarkoittaa suurempaa typenpoiston tarvetta, joka tapahtuu nitrifikaation avulla, joka taas on suoraan verrannollinen suurempaan hapentarpeeseen, eli ilmastusilman tarpeeseen. Typenpoiston vaatimukset jätevesistä kasvavat koko ajan, koska typpi aiheuttaa vesistöissä rehevöitymistä, happikatoa sekä se on myrkyllistä kaloille. Ilmastustehokkuuteen vaikuttavat muun muassa syötetty ilmamäärä, lieteikä, prosessiolosuhteet sekä sekoitustehokkuus. Ilmastuksen sähkönkulutusta voidaan alentaa vähentämällä ilmastukseen tulevaa kuormaa mahdollisimman tehokkaalla esiselkeytyksellä tai lyhentämällä lieteikää mahdollisimman lyhyeksi. Esiselkeytyksellä ja lieteiän lyhentämisellä biologisen osan hapenkulutus vähenee ja samalla mädätyskaasun määrä lisääntyy. (Tukiainen 2009, 39, 42, 44.)

Jäteveden tulopumppaus laitokselle on myös merkittävä prosessi sähkönkulutuksen kannalta. Pumppauksen sähkön tarve riippuu tarvittavasta nostokorkeudesta sekä jäteveden määrästä. Joidenkin laitosten tulopumppaukset sekä laitosten sisäiset pumppaukset voivat kuluttaa jopa 50 prosenttia laitosten kuluttamasta kokonaisenergiasta. Laitoksen sisäiset pumppaukset voivat olla esimerkiksi jäteveden pumppaaminen altaasta toiseen, lietteen kierrätys sekä mädättämön sekoittaminen pumppauksella. (Tukiainen 2009, 39.)

Viemäri-vesien pumppaukset voivat myös nostaa sähkönkulutusta huomattavasti. Jäteveden pumppauksen energiankulutukseen vaikuttavat suuresti myös sekaviemäröinti ja vuotovedet. Sekaviemäröinnistä pyritään pääsemään täysin pois rakentamalla erilliset sadevesiviemärit tai johtamalla hulevedet maastoon. Sekaviemäröintialueita löytyy yhä edelleen, joka nostattaa pumppujen tarvetta käydä sekä jätevesien määrää puhdistamalla. Myös vuotovedet nostattavat sateiden ja lumien sulamisen aikaan jätevesien määrää merkittävästi. Vuotovesien määrän vähentämiseksi vanhojen viemäreiden saneeraukset ovatkin erittäin tärkeitä.

Lietteen käsittely vie myös merkittävästi energiaa jätevedenpuhdistuksessa. Lietteen käsittelyssä huomattavasti energiaa kuluttavat lietteen pumppaaminen, tiivistäminen sekä kuivaaminen. Nämä prosessit yhdessä voivat olla toinen merkittävä sähkönkuluttaja laitoksilla ilmastuksen lisäksi. (Tukiainen 2009, 39.) Erään tutkimuksen mukaan lietteen käsittelykustannukset koko laitoksen energiakustannuksista voivat olla jopa 22 prosenttia

(Ukkonen 2012, 3). Lietteen kuivauksen ja mädätyksen on arvioitua Saksassa kuluttavan 10–20 prosenttia jätevedenpuhdistamon tarvitsemasta sähköstä ja 80–90 prosenttia puhdistamon tarvitsemasta lämmöstä. Laitoskohtaiset erot voivat vaihdella paljon riippuen lietteen määrästä ja laadusta sekä käsittelymenetelmistä ja –laitteista. (Tukiainen 2009, 46–47, 50.)

Lietteen tiivistäminen tapahtuu usein linkouksen avulla, joka on yksittäinen runsaasti energiaa kuluttava prosessi jätevedenpuhdistuksessa. Linkojen energiankulutus on riippuvainen lingoittavasta lietemäärästä. Linkoja ohjataan usein lingoille tulevan lietteen tilavuusvirran mukaan. Lingoille tulevassa lietteessä voi olla paljon laatuvaihteluita, joka vaikeuttaa lietteen kuivauskemikaalien annostelua ja prosessin optimaalista toimintaa. Lietteen linkousta on mahdollista vähentää sakeuttamalla liete paremmin. (Filippenkov 2012, 33.)

Suomessa yleisesti käytetty lietteen stabiloinnin tapa on mädätys. Mädätys on myös yksi jätevedenpuhdistuksessa energiaa vievä prosessi, joka vaatii lämpöä toimiakseen. Mädättämöön pumpattava liete täytyy lämmittää mädätyslämpötilaan ja prosessia tulee lämmittää jatkuvasti tietyllä teholla reaktorin häviöiden kompensoimiseksi. Sähköä prosessissa kuluu lietteen pumppaamiseen, mädättämön sekoittamiseen sekä pumppaukseen lämmönvaihtimien läpi. (Kangas et al. 2011, 15.) Mädätyksen energiankulutusta kompensoi se, että mädätyksen sivutuotteena syntyy biokaasua, jota voidaan hyödyntää energiana. (Tukiainen 2009, 68.)

3 TOIMINNAN- JA TUOTANNONOHJAUSJÄRJESTELMÄT

3.1 Tuotanto

Tuotannon määritelmällä ymmärretään yrityksen kaikkia toimintoja, joita tarvitaan tuotteen tai palvelun aikaansaamiseksi ja niiden hallitsemiseksi. Yrityksen toiminta koostuu monista päätoiminnoista. Tuotanto on yksi päätoiminnoista, joiden tarkoituksena on tukea yrityksen kokonaispäämäärää eli pyrkimystä parhaaseen taloudelliseen tulokseen. Muita päätoimintoja

ovat myynti ja markkinointi, tuotekehitys, suunnittelu, laskentatoimi sekä osto. (Miettinen 1993, 11; Haverila et al. 2005, 349, 351.)

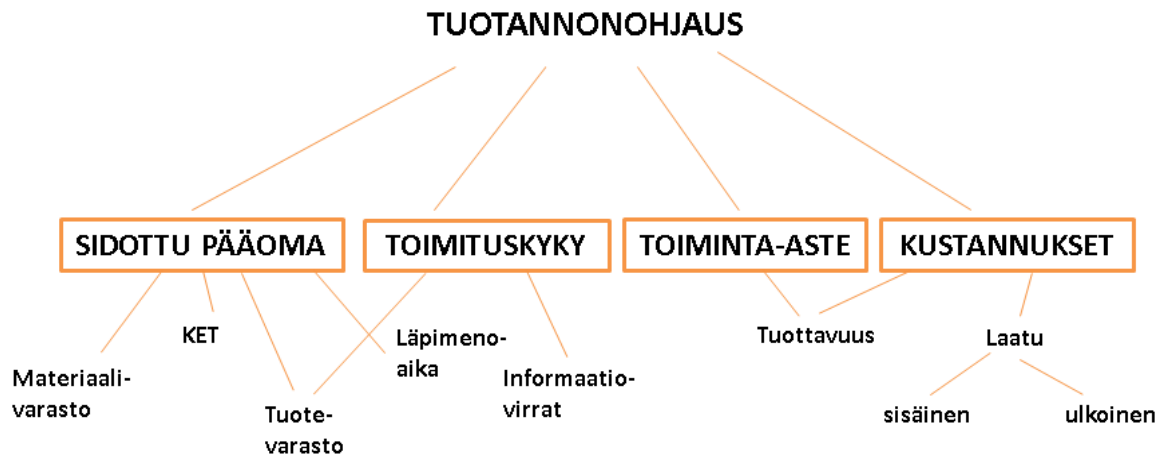
Tuotannon tavoitteet voidaan perinteisesti jakaa neljään tavoitteeseen:

- Kustannustehokkuus
- Laatu
- Aika
- Joustavuus

Tuotannolle ja sen johtamiselle asetettavat tavoitteet määrittävät yleensä yrityksen kilpailutekijöiden perusteella. Tuotannon tavoitteet voidaan määrittellä myös muilla perusteilla, kuten yhteiskunnan, julkis- ja työyhteisön määrittelemistä tavoitteista. Näitä voivat olla esimerkiksi ympäristönsuojelu tai tuoteturvallisuus. (Haverila et al. 2005, 356-359.)

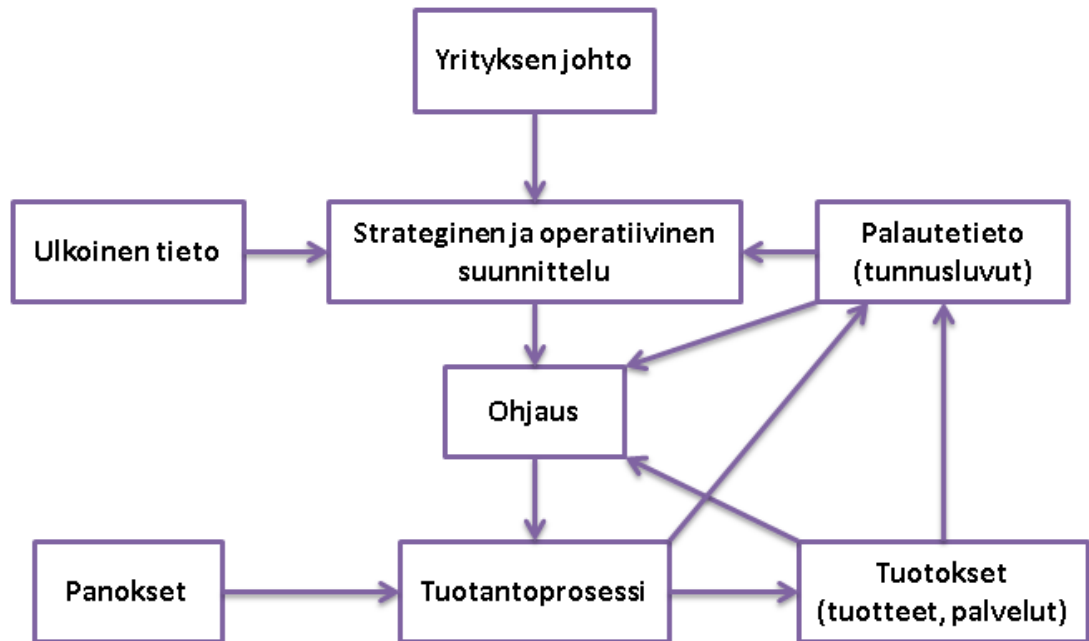
3.2 Tuotannon- ja toiminnanohjaus

Tuotannonohjauksella tarkoitetaan yrityksen tuotantojärjestelmän eri osien yhteensovittamista tuotantotavoitteiden saavuttamiseksi. Tuotannon ohjaaminen ja tuotantojärjestelmien kehittäminen vaatii eri toimintojen välisten riippuvuus- ja vuorovaikutussuhteiden ymmärtämistä. Yleisesti tuotannonohjauksen päätekijät jaetaan toimitusaikaan, toimitusvarmuuteen, valmistuskustannuksiin, kapasiteetin toiminta-asteeseen ja –suhteeseen sekä sidottuun pääomaan. (Miettinen 1993, 23-25; Ritvanen et al. 2011, 56.) Kuvassa 5 on kuvattu tuotannonohjauksen rakenne.



Kuva 5. Tuotannonohjauksen rakenne. (Mukaillen Miettinen 1993, 25.)

Yrityksessä voi olla monia muitakin ohjausjärjestelmiä, kuten laadun- ja materiaalinohjaus. Nykyään eri ohjausjärjestelmiä ei pitäisi käsitellä erillisinä toimintoina, vaan koko yrityksen toimintaa tukevana systeeminä verkostoajattelun avulla. Tuotannonohjauksen käsitteen sijaan yleisesti käytetäänkin toiminnanohjausta, koska yrityksen toiminnan hallinta tuotannon lisäksi vaatii muiden toimintojen, kuten tuotesuunnittelun, hankintojen, jakelun ja myynnin ohjausta. Toiminnanohjaus on yrityksen toimintoihin liittyvää suunnittelua, päätöksentekoa, toteutusta sekä valvontaa. (Miettinen 1993, 23; Haverila et al. 2005, 397.) Kuvassa 6 on kuvattu toiminnanohjauksen johtaminen.



Kuva 6. Toiminnanohjauksen johtaminen. (Mukaillen Haverila et al. 2005, 397.)

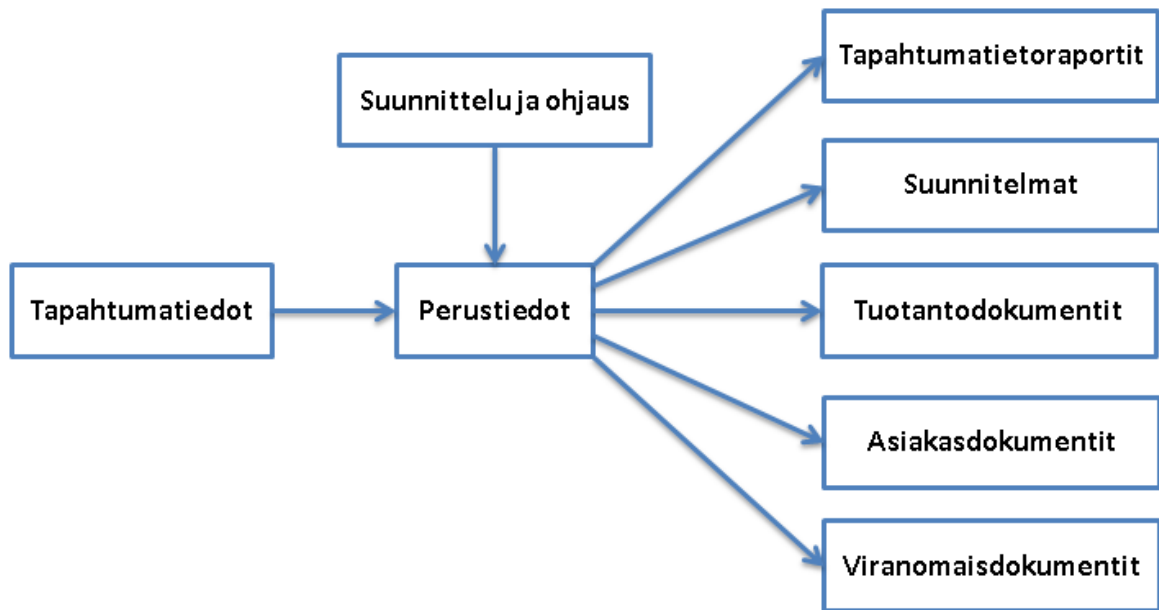
Keskeisimmät työvälineet kokonaisohjauksessa ovat budjetti sekä tavoitteenasettelussa käytetyt tunnusluvut ja mittarit. Tunnuslukujen avulla johdetaan ja analysoidaan usein tuotannon keskeisten tavoitteiden toteutumista. Tunnuslukuja voivat olla esimerkiksi tuotteiden laatu tai toimitusvarmuus. (Haverila et al. 2005, 397-398.)

3.3 Ohjausjärjestelmät

3.3.1 Toiminnanohjausjärjestelmät, ERP

Monella suurella ja keskikokoisella yrityksellä on nykyään yrityksen tietojen hallinnan, suunnittelun ja toiminnanohjauksen apuna toiminnanohjauksen tietojärjestelmiä (ERP, Enterprise Resource Planning). ERP-järjestelmät ovat standardoituja tietojärjestelmiä, jotka tukevat toiminnanohjausta ja joiden avulla ylläpidetään yrityksen perustietoja sekä tapahtumatietoja. Kuvassa 7 nähdään toiminnanohjauksen tietojärjestelmän toimintaperiaate. Monet toiminnanohjauksessa ja tietojenkäsittelyssä tarvittavat atk-ohjelmat sisältyvät ERP-

järjestelmään. (Haverila et al. 2005, 430; Ritvanen et al. 2011, 56.) Tunnettuja toiminnanohjausjärjestelmien toimittajia ovat muun muassa SAP, Visma, Scala, Logica sekä Microsoft.



Kuva 7. Toiminnanohjauksen tietojärjestelmän toimintaperiaate. (Mukaiillen Haverila et al. 2005, 431.)

ERP-järjestelmä koostuu eri osista, moduuleista, joista yrityksissä yleisesti käytetään hankintaa, myyntiä, tuotannosuunnittelua ja -ohjausta, jakelua, talous- ja laadunhallintaa sekä kustannuslaskentaa. Toiminnanohjausjärjestelmän keskeisenä ideana on toiminnanohjauksen ja tietojenkäsittelyn pitkälle viety integrointi. Tietojenkäsittelyssä tämä tarkoittaa, että järjestelmään kerran syötetty tieto on kaikkien käytössä eikä kyseistä tietoa tarvitse luoda uudestaan. Tietotekninen integrointi mahdollistaa toimintojen tarkemman seurannan ja johtamisen, kun tunnusluvut, raportit ja kustannustiedot ovat helposti saatavissa järjestelmästä. Toiminnanohjauksessa ERP-järjestelmän avulla voidaan tehokkaasti hallita yrityksen kaikkia resursseja ja tuotantolaitoksia ja samalla suunnitella keskitetysti liiketoiminnan ja tuotannon toteutusta. (Haverila et al. 2005, 430; Ritvanen et al. 2011, 56.)

Toiminnanohjausjärjestelmän keskeisimmät hyödyt on listattu alle:

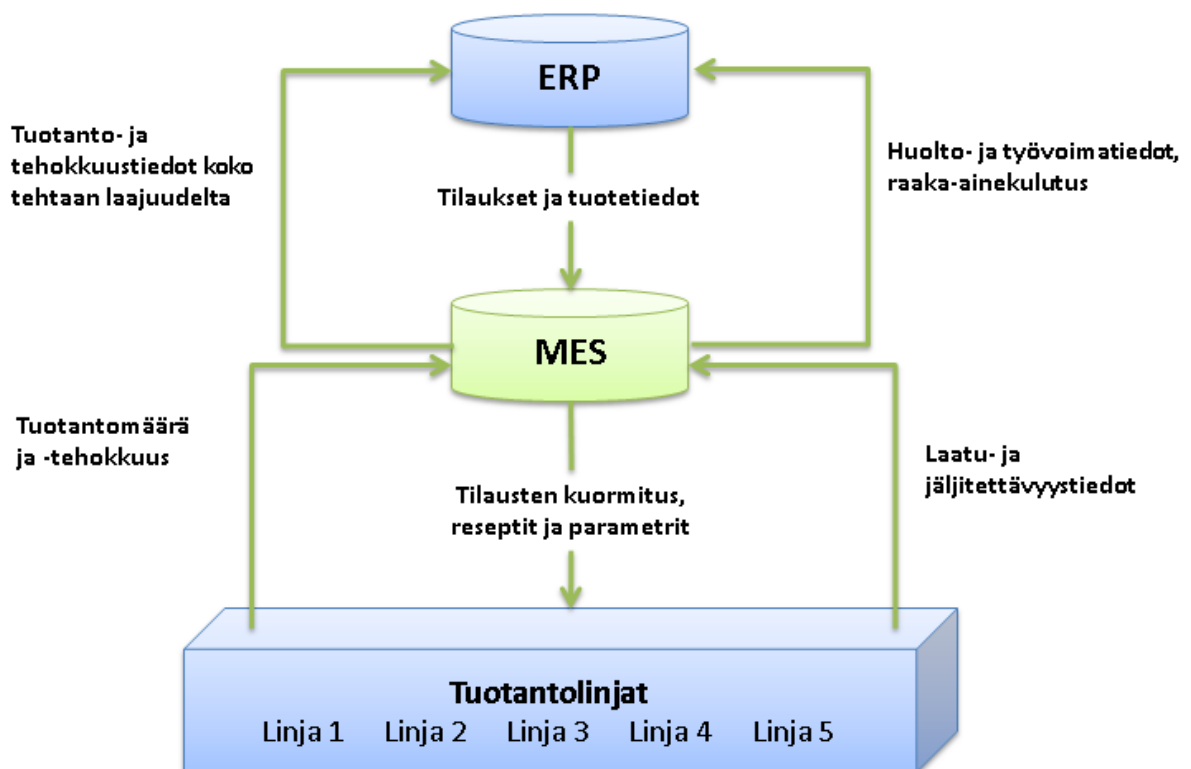
- tietojenkäsittelyn tehostaminen
- eri toimintojen parempi suunnittelu
- resurssien käytön tehostuminen
- nopeampi reagointi tapahtumiin
- tietojenkäsittelyn nopeutuminen
- tilausten ja toimitusten parempi hallinta
- raportoinnin ja tunnuslukujen käytön kehittyminen
- liiketoiminnan johtamisen tehostuminen
- asiakastietojen parempi hallinta
- hankintojen tehokkaampi ohjaus (Haverila et al. 2005, 431.)

3.3.2 Tuotannonohjausjärjestelmät, MES

Toiminnanohjausjärjestelmien avulla suunnitellaan ja optimoidaan tuotantoa, kun taas tuotantokoneiden ja laitteiden automatisoinnilla lisätään tuotannon kapasiteettia ja nopeutta. Näiden kahden yhdistämisellä on tarkoitus lisätä yrityksen tuottavuutta, mutta ongelmana yleensä on, että tuotannonohjaus ja tuotantokoneet eivät ole yhteyksissä toisiinsa. Tuottavuuden kasvattaminen on mahdollista hyvän ERP-järjestelmän tarjoaman optimoinnin kautta, mutta sen hyödyt katoavat äkkiä olemattomiin, jos tuotannonohjaus hoidetaan käsin. Tällöin työntekijät ovat yleensä informaation kuljettajia, jolloin ERP-järjestelmän suunnitelmien toteuttaminen jää monesti pelkäksi suunnitteluksi. (Production Software 2012a.)

Ongelmaan on kehitetty ratkaisuksi tuotannonohjaukseen keskittyneitä tietojärjestelmiä (MES, Manufacturing Execution System). Tuotannonohjausjärjestelmä on ohjelmisto, joka hoitaa automatisoidusti tiedonsiirrot tehtaan tuotantokoneiden ja laitteiden sekä toiminnanohjaus- ja tuotesuunnittelujärjestelmien välillä. MES-järjestelmä hoitaa tuotannonohjauksen, kun todellisuudessa ERP-järjestelmä on resurssikäytön suunnitteluohjelma.

Tuotannonohjausjärjestelmä asettuu toiminnanohjausjärjestelmän ja kenttätason väliin. MES-järjestelmän päätehtävä on siirtää yrityksen ERP-järjestelmältä, myyntijärjestelmältä ja tuotesuunnittelun järjestelmistä tuotantokoneille tieto siitä, mitä pitää tehdä. Tuotantokoneilta siirtyy MES-järjestelmän kautta tieto takaisin ERP-järjestelmälle valmistuneista tuotteista. (Production Software 2012a.) Alla olevassa kuvassa 8 on hahmotettu MES-järjestelmän sijoittuminen muihin järjestelmiin.



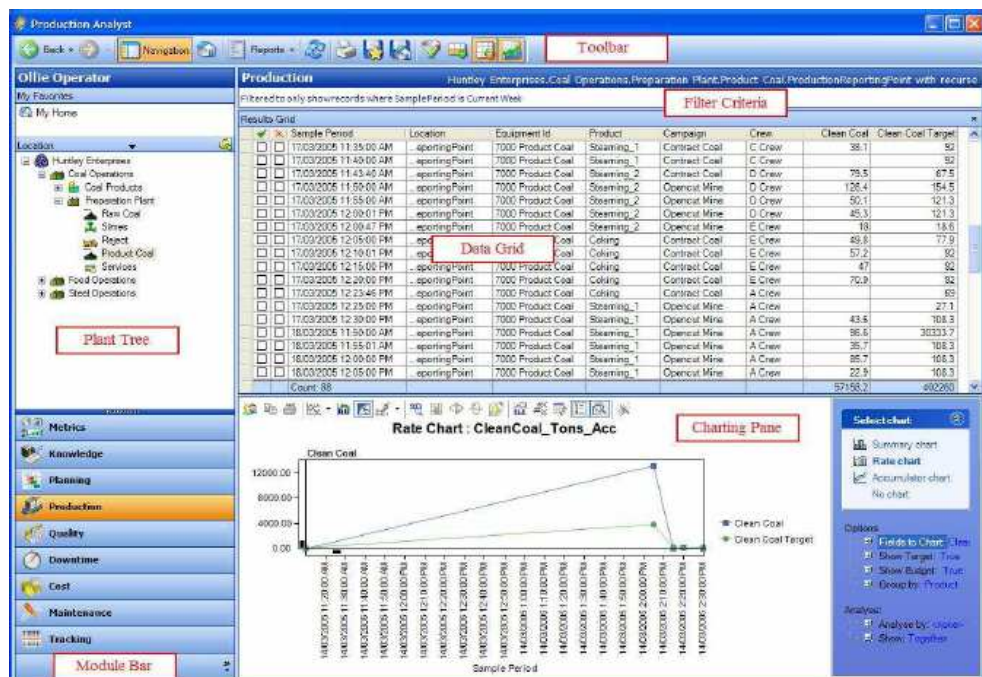
Kuva 8. MES-järjestelmän sijoittuminen muihin järjestelmiin. (Mukaiillen Delta Enterprise 2012a.)

MES-järjestelmään tallentuu tieto kaikesta mitä yrityksen tuotannossa tapahtuu. MES-järjestelmä mahdollistaa tuotannon pullonkaulojen havaitsemisen sekä tuotannon tehostamisen koko tuotantolaitoksen laajuudella. Integroimalla lattiataason ohjausjärjestelmien tuottama data yrityksen tietojärjestelmiin, saadaan mittaroinnista automaattista. (Delta Enterprise 2012b.) MES-järjestelmän merkittävimmät hyödyt ovat reaaliaikaisen tuotantodatan tallennus, laskenta ja integrointi. Tuotannon tietoja voidaan kerätä esimerkiksi minuutin tai 15 minuutin välein. Tiedon keräämistä voidaan ohjata erilaisin ohjelmoinnin käskyin, esimerkkinä:

JOS (arvo 1= totta) JA (arvo 2 > arvo 3) => Kerää dataa

Tunnusluvuista ja laskelmista voidaan luoda erilaisia raportteja, jotka kertovat esimerkiksi tuotannon johdolle viimeaikaisen toiminnan tehokkuudesta vertailukelpoisessa muodossa. Raportit helpottavat muun muassa häiriötilanteiden selvittämisessä sekä tuotannon toimintojen optimoinnissa. Tuotannonohjausjärjestelmän tärkeitä tehtäviä ovat laadun- ja varastojen valvonta sekä huollon automatisointi. (Delta Enterprise 2012b.)

Tuotantodatasta analysoitu informaatio vaatii havainnollisen ja helposti saatavilla olevan näkymän, jotta yrityksen eri tasot voivat sitä helposti hyödyntää. MES-järjestelmän avulla saadaan erilaisia raportointinäkymiä (Kuva 9), joista jokainen käyttäjä saa tietoa tarvitsemassaan muodossa. (Delta Enterprise 2012b.)



Kuva 9. Käyttöliittymän näkymä. (Schneider Electric 2012b.)

Kuvassa 9 on esimerkki Schneider Electricin suunnitteleman MES-järjestelmäsovelluksen Amplan käyttöliittymästä. Käyttöliittymä kerää tuotantodataa ja muuttaa sen helpommin

ymmärrettävään muotoon, jolloin tuotannon tilanne pystytään hahmottamaan hyvin yksinkertaisesti yhdeltä sivulta. Käyttöliittymään kerätyt ja analysoidut tiedot voidaan edelleen siirtää ERP-järjestelmään, jossa tuotantodatan avulla voidaan optimoida ja suunnitella tulevaa tuotantoa. Järjestelmä ei itsessään tee päätöksiä tai valvo toimintaa, vaan tukee päätöksentekotilannetta ja tuottaa tietoa, jonka avulla käyttäjien päätöksenteko helpottuu.

MES-järjestelmää hyödyntämällä tuotannonohjauksessa voidaan vaikuttaa muun muassa seuraaviin asioihin:

- ennustettavuus
- tehokkaan raaka-aineen käyttö
- parempi energiatehokkuus
- jakson ajan lyheneminen
- jäljitettävyys
- ketteryys
- päätöksenteon hajauttaminen (Production Software 2012b.)

MES-järjestelmä on reaaliaikainen työkalu jatkuvalla parantamiselle. Järjestelmän avulla saadaan standardoituja raportteja sekä parannetaan tuotannon suunnittelua ja toteutusta energiatehokkaalla tavalla. Oikein toimivalla MES-järjestelmällä voidaan muun muassa pienentää käyttökustannuksia, optimoida tuotantoa, parantaa tuotannon laatua, vähentää jätteiden ja hylkytavarain syntymä, tehostaa energiankäyttöä, saada reaaliaikaista dataa tuotantokentältä sekä tehdä päätöksiä perustuen reaaliaikaisiin tuotantotietoihin.

Tuotannonohjausjärjestelmä voidaan tehdä yritykselle täysin sopivaksi. Tämä ei kuitenkaan usein ole realistinen ratkaisu järjestelmän kalliin hinnan vuoksi. Ohjausjärjestelmiä on monia kaupallisia ohjelmia, joista useimmat pohjautuvat ISA-95 standardiin. ISA-95 standardi määrittelee MES-järjestelmän rakenteen ja tehtävät. Eri ohjelmistojen erot riippuvat yrityksen omista toimintaperiaatteista sekä siitä, mitä moduuleita järjestelmän ostava yritys haluaa järjestelmän sisältävän. Moduuleiden ansiosta kaikkia ominaisuuksia ei tarvitse ottaa kerralla käyttöön. Moduulit voivat keskittyä esimerkiksi laadun, kunnossapidon tai energian

tarkasteluun. Ohjausjärjestelmissä on myös muita haasteita kalliin hinnan lisäksi. Käyttöönottoprosessi voi viedä vuosia ja samalla toimintaympäristö muuttuu kaiken aikaa, johon uuden ohjelmiston tulee sopeutua. Käyttöönottoprojektin epäonnistumisen riski on olemassa ja siihen voivat vaikuttaa esimerkiksi järjestelmätoimittajan ja loppuasiakkaan väliset kommunikaatio-ongelmat, epärealistiset odotukset tai henkilöstön motivaation puute uudelle ohjelmistolle. Toiminnan- ja tuotannonohjausjärjestelmissä onkin tärkeää, että tulevat järjestelmän käyttäjät ovat mukana suunnittelu- ja käyttöönottovaiheissa. (Haverila et al. 2005, 341; Tukiainen 2010, 8-11; Schneider Electric 2012b.)

4 TAMPEREEN VESIHUOLTOJÄRJESTELMÄ

Tampereen Vesi on Tampereen kaupungin liikelaitos, joka vastaa veden tuotannosta ja jakelusta sekä jätevesien käsittelystä Tampereella ja osittain sen lähialueilla; Pirkkalassa, Kangasalla, Lempäälässä, Nokiolla sekä Ylöjärvellä. Tampereen Vedelle kuuluu viisi pohjavedenottamoita sekä neljä pintavesilaitosta, joista Ruskon pintavedenottamolla käsitellään suurin osa raakavedestä. Jätevedenpuhdistamoita on neljä, joista suurin on Viinikanlahden jätevedenpuhdistamo. Vuonna 2011 raakavettä käsiteltiin 20,6 miljoonaa kuutiota, josta 19,3 miljoonaa pumpattiin edelleen vesijohtoverkostoon. Samana vuonna neljällä jätevedenpuhdistamolla puhdistettiin yhteensä 26,5 miljoonaa kuutiota jätevettä. (Vilenius 2012; Tampereen Vesi 2012a.)

4.1 Raakaveden pumppaus Roineesta Ruskon vedenpuhdistuslaitokselle

Tampereella käytettävästä talousvedestä kaksi kolmasosaa on valmistettu pintavedestä ja loppu kolmannes pohjavedestä. Pintavesi pumpataan Roineesta Ruskon vedenpuhdistuslaitokselle seitsemän kilometriä pitkää putkea pitkin. Roineen rannassa sijaitsevassa pumppaamossa on neljä pumppua, joista normaalitilanteessa kaksi on yhtä aikaa päällä. Yhdessä pumppuista on pehmokäynnistys ja loppuihin kolmeen on lisätty taajuusmuuttaja. Pehmokäynnistyksellä tarkoitetaan, että pumppu toimii on-off-ohjauksella,

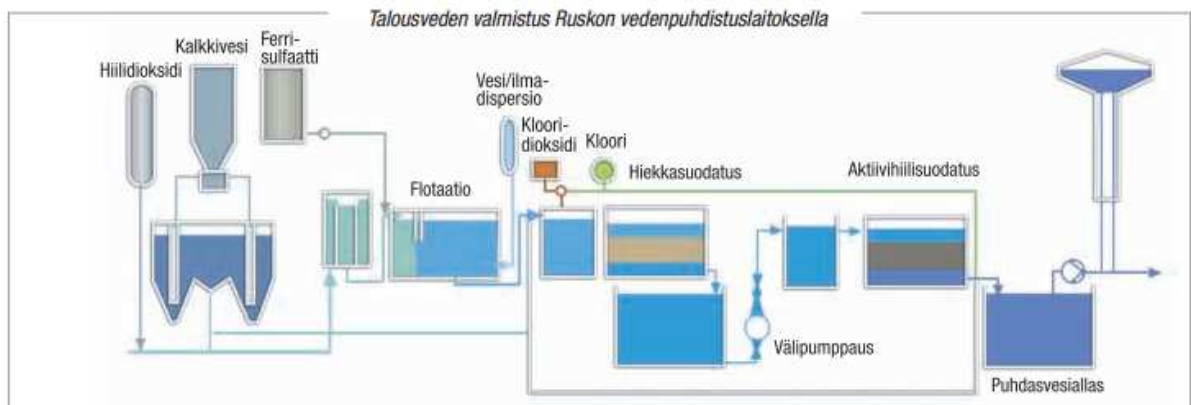
mutta moottoria ohjataan siten, että virtaavan nesteen liike vaimenee hallitusti. Taajuusmuuttajan tarkoituksena on, että pumppua ei pysäytetä virtaaman laskemiseksi, vaan sähkösyötön taajuutta voidaan muuttaa taajuusmuuttajan avulla, jolloin pumpun pyörimisnopeutta voidaan säätää halutuksi. Taajuusmuuttajan avulla on tutkitusti voitu vähentää pumppujen kuluttamaa energiamäärää. (Vuorinen 2012.)

4.2 Talousveden valmistus

Ruskon vedenpuhdistuslaitos on otettu käyttöön vuonna 1972 ja nykyään talousveden valmistus tapahtuu flotaatiota ja hiekkasuodatusta hyväksikäyttäen. Ensimmäisenä raakaveteen lisätään hiilidioksidia ja kalkkivettä. Näiden tarkoituksena on muun muassa nostaa veden alkaliteettia verkostoa uhkaavan korroosion estämiseksi. Tämän jälkeen veteen lisätään saostuskemikaaliksi ferrisulfaattia, joka tehostaa flotaatiossa flokkien syntymistä. Ferrisulfaatin määrä on melko vakio, joka säädellään raakaveden orgaanisen kokonaishiilen (TOC) mukaan. Flotaatio tapahtuu pyörreflotaatiolla, jossa altaiden pohjalle johdetaan pienten suuttimien kautta paineenalaista vesi-ilmaseosta, dispersiovetä. Paineesta vapautuneen dispersioveden ilmakuplat sitoutuvat pohjassa saostuneisiin flokkeihin ja nostavat likahiukkaset pintaan. Pinnan epäpuhtaudet huuhdellaan viemäriin ja puhdas vesi painuu reikälevyjen läpi välialtaaseen. Orgaanisista aineksista noin 50 prosenttia saadaan poistettua flotaation avulla. (Vuorinen 2012.)

Välialtaassa tasataan veden virtaamia, tuodaan pientä viipymää sekä lisätään kalkkia pH-arvon säätämiseksi. Välialtaassa lisätään myös klooridioksidia, jonka avulla poistetaan mangaania, hajuja ja makuja. Saostunut rauta, muut hienoaineet ja pienet flokit poistetaan hiekkasuodatuksella. Hiekkasuodatuksessa puhdas vesi painuu metrin paksuisen hiekan läpi säiliöön ja loppu humus ja kiintoaine jäävät hiekan pinnalle. Roineen pumppujen teho riittää hiekkasuodatukselle asti. Vesi jatkaa välipumppauksen avulla aktiivihiilisuodatukseseen, jossa se jakautuu kahdeksaan hiiltä sisältävään altaaseen. (Vuorinen 2012.)

Aktiivihiihisiuodatuksen jälkeen veteen lisätään kalkkia ja kloorivettä, joilla vesi desinfioidaan. Vesi johdetaan vielä puhasvesialtaaseen, josta se pumpataan UV-lampun kautta vesijohtoverkoston. Verkostoon veden pumpaavia pumppuja on kolme, joista yhden perässä on UV-lamppu. UV-lampullinen pumppu on niin suuri, että normaalitilanteessa ainoastaan sen avulla vesi pumpataan vesijohtoverkoston. Kaksi muuta pumppua ovat huolto- ja häiriötilanteiden varalle ja näiden yhteydessä ei ole UV-lamppua. UV-lampulla varmistetaan veden laatu. Sen käyttö ei ole välttämätöntä, koska vesi desinfioidaan kloorilla. (Vuorinen 2012.) Alla olevassa kuvassa 10 on esitetty Ruskon vedenpuhdistuslaitoksen talousveden valmistusprosessi.



Kuva 10. Talousoeden valmistus Ruskon vedenpuhdistuslaitoksella. (Tampereen Vesi 2011, 5.)

4.3 Talousoeden jakelu

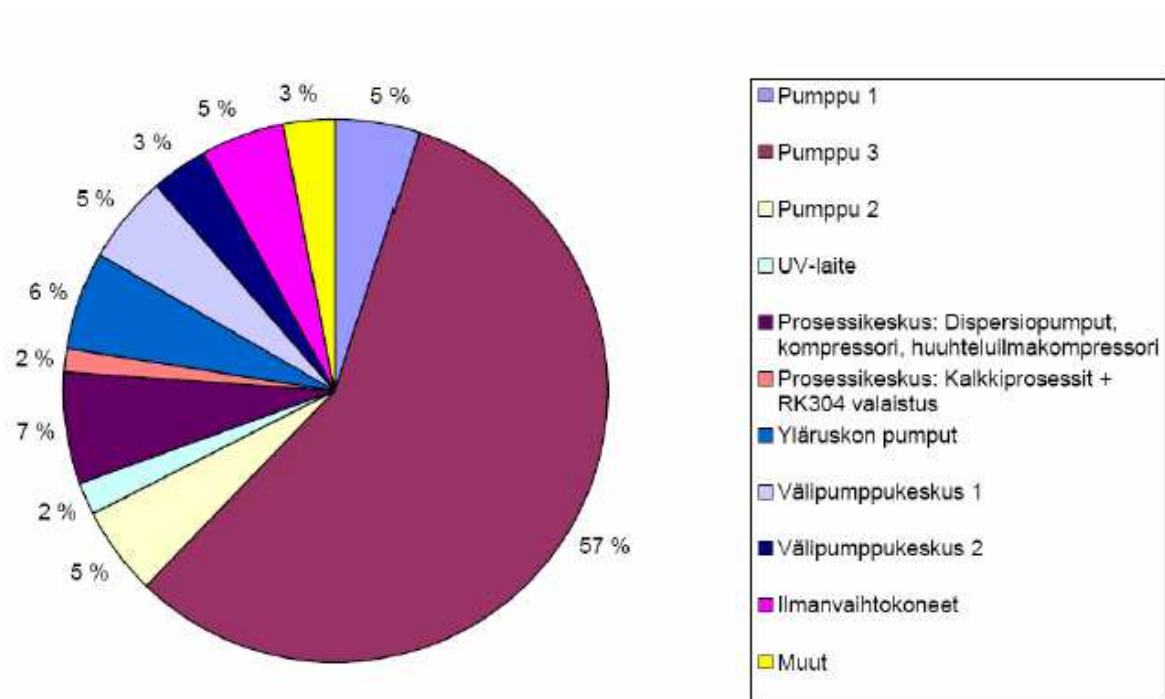
Talousoesi johdetaan kuluttajille vesijohtoverkoston pitkin, joka on yhteensä 738 kilometriä pitkä. Suurten korkeuserojen vuoksi verkostossa on kymmenen eri painepiiriä ja saman verran paineenkorotuspumppaamoita. Käytössä olevia ylävesisäiliöitä löytyy kuusi ja alavesisäiliöitä on vedenpuhdistamoiden yhteydessä. Ruskon vedenpuhdistuslaitokselta valvotaan ja ohjataan vedenhankinnan lisäksi paineenkorotuspumppaamoita sekä vesisäiliöitä. Pumppujen tuotontarvetta säädellään päivittäin vesitornien pinnankorkeuksien mukaan. Päivällä talousoetta pumpataan enemmän vesilaitokselta suoraan kuluttajille ja yöllä pumppaus ohjautuu vesitornien täyttämiseen.

4.4 Talousveden valmistuksen ja jakelun energiankulutus

Vuonna 2011 Ruskon vedenpuhdistuslaitoksen sähkönkulutus oli yhteensä 7 434 816 kWh. Tähän kuului raakaveden hankinta, käsittely ja pumppaus johtoverkkoon. Raakaveden pumppaus Roineesta Ruskoon oli sähköntarpeesta noin 42 prosenttia (3 131 690 kWh) ja loput sähkönkulutuksesta tulivat Ruskossa yksikköprosessien kuluttamasta sähköstä ja sekä johtoverkkoon pumppauksesta. Sähkönkulutus raakavesikuutiota kohden oli Roineen pumppauksessa 0,21 kWh/m³ ja Ruskossa 0,29 kWh/m³. (Tampereen Vesi 2012a, 5.)

Paineenkorotuspumput pumppasivat samana vuonna yhteensä 7 659 904 kuutiota vettä ja kokonaisenergiankulutus oli 960 080 kWh. Energiankulutuksen keskiarvo vesikuutiota kohti oli 0,13 kWh/m³ vaihteluvälillä 0,03-1,35 kWh/m³. (Tampereen Vesi 2012a, 8.) Suurta vaihteluväliä voidaan selittää muun muassa pumppujen koon, pumppausalueen sekä pumpattavan vesimäärän eroista.

Ruskon vedenpuhdistuslaitoksella sähkönkulutusta ei tiedetä tarkkaan eri prosessien kesken, koska osassa prosesseista ei ole sähkönkulutuksen tietoja saatavilla. Taajuusmuuttajan perässä olevien pumppujen sähkönkulutus tiedetään tarkemmin. Schneider Electricin tekemän kartoituksen perusteella voidaan kuitenkin jakaa vedenpuhdistuksen eri prosessien energiankulutukset. Kuvassa 11 on keväällä 2012 tehty kartoitus Ruskon energiajakaumasta.



Kuva 11. Energiajakauma Ruskon vedenpuhdistuslaitoksella. (Schneider Electric 2012a)

Kuten kuvasta 11 nähdään, ehdottomasti eniten energiaa kuluttavat Ruskon vedenpuhdistuslaitoksella pumppaukset. Pumput vievät yli 80 prosenttia koko laitoksen tarvitsemasta energiamäärästä. Pumppujen avulla vesi siirretään vesistöstä puhdistettavaksi laitokselle ja sieltä jakeluun aina kuluttajille asti. Pumppujen suuren energiankulutuksen vuoksi niiden oikeanlainen ajotapa on tärkeää löytää.

4.5 Jäteveden pumppaus Viinikanlahden jätevedenpuhdistamolle

Viinikanlahden jätevedenpuhdistamolle tulevat Tampereen ja Kangasalan kuntien jätevedet sekä osa Pirkkalan ja Lempäälän kuntien jätevesistä. Suurin osa (80 %) jätevesistä johdetaan Viinikanlahteen ja loput menevät Raholaan, Kämenniemeen sekä Polsoon. Viemäriverkoston kokonaispituus on 1311 kilometriä ja pisimmillään jätevesi kulkee Viinikanlahden puhdistamolle 40 kilometrin matkan. Keskustan alueella on edelleen käytössä sekaviemärointi, josta johtuen Viinikanlahteen johdetaan keskustan alueelta jätevesien lisäksi

myös hulevedet. Osassa viemäreistä jätevesi virtaa painovoimaisesti, mutta monessa kohtaa jätevesi tarvitsee pumpata eteenpäin paineviemärissä. Viemäriverkostoon kuuluvia jätevedenpumppaamoita on Tampereen alueella 78. Suurin osa pumpuista on keskipakoispumppuja, joita ohjataan pinnankorkeuksien mukaan. Jätevedenpuhdistusprosessia ja jätevedenpumppaamoita valvotaan Viinikanlahden keskusvalvomosta. Jätevedet tulevat jätevedenpuhdistamolle neljästä pääviemäristä, jossa tulopumput sekä ruuvipumppu pumppaavat jätevedet puhdistusprosessiin.

4.6 Jätevedenpuhdistus

Pispalanharjun itäpuolella syntyvät kantakaupungin jätevedet käsitellään Viinikanlahden jätevedenpuhdistamolla. Viinikanlahden jätevedenpuhdistamo on rakennettu vuonna 1972. Prosessia on tehostettu vuosien varrella ja nykyään se käsittää mekaanisen vaiheen sekä biologiskemiallisen puhdistuksen. Jäteveden viipymä puhdistamolla on noin vuorokausi. (Tampereen Vesi 2012b, 13.)

4.6.1 Mekaaninen puhdistus

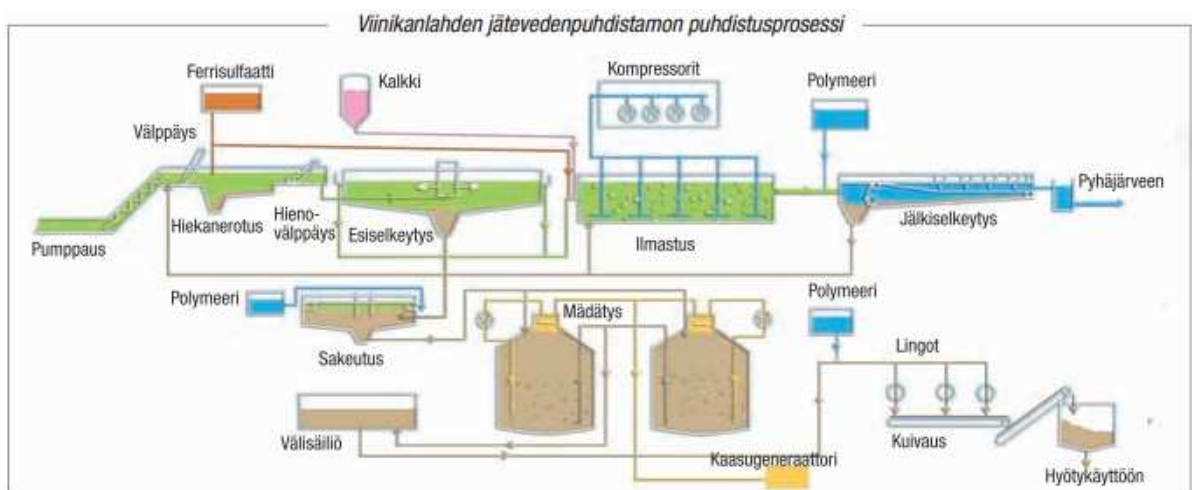
Jätevedet pumpataan tuloviemäreissä laitokselle, josta ne ensimmäisenä johdetaan karkeavälppäykseen. Väljän sälevälit ovat 15 mm, joten sitä suuremmat kiintoainepartikkelit poistetaan väljän avulla. Tämän jälkeen jäteveteen lisätään ferrosulfaattia ja se johdetaan hiekanerotukseen. Kertynyt välppäjäte ja hiekka sisältävät paljon raskasmetalleja ja muita haitta-aineita, jonka takia niitä ei voida hyötykäyttää, vaan ne pestään ja viedään kaatopaikalle. (Lindell & Oksanen 2012.)

Hiekanerotuksesta jätevesi jatkaa hienovälppäykseen, jonka sälevälit ovat 3 mm. Hienovälppäyksellä erotetaan jätevedestä lisää veteen kuulumattomia partikkeleita. Tämän jälkeen vesi johdetaan neljään esiselkeytysaltaaseen, jossa kiinteät likahiukkaset laskeutuvat

säiliöiden pohjalle kahdeksassa tunnissa ja tiivistyvät lietteeksi. Syntynyt liete pumpataan sakeutukseen ja siitä eteenpäin mädätykseen. (Lindell & Oksanen 2012.)

4.6.2 Biologinen puhdistus

Esiselkeytyksestä tullut jätevesi johdetaan biologiseen puhdistusprosessiin, aktiivilieteprosessiin. Ennen ilmastusta veteen lisätään ferrisulfaattia sekä kalkin sijasta käytettävää meesatuhkaa. Ilmastusaltaita on kahdeksan, joihin puhalletaan neljällä ilmastuskompressorilla ilmaa altaiden pohjalla sijaitsevien hienokuplailmastimien avulla. Ilmastuksen hapenmäärää on tavoitteena pitää 2 mg/l. Ilmastuksen viipymä on toisen kahdeksan tuntia. Tämän jälkeen muodostuneeseen biolietteeseen lisätään saostuskemikaaliksi polymeeriä ja se johdetaan jälkiselkeytykseen. Jälkiselkeytyksen viipymä on myös noin kahdeksan tuntia. Altaan pohjalle laskeutuneesta lietteestä osa palautetaan ilmastusaltaaseen ja loppu liete pumpataan lietteen käsittelyyn. Jälkiselkeytyksen pinnalla on puhdistunut vesi, joka on riittävän puhdasta johdettavaksi Pyhäjärveen. (Lindell & Oksanen 2012.) Kuvassa 12 on Viinikanlahden jätevedenpuhdistamon puhdistusprosessi.



Kuva 12. Viinikanlahden jätevedenpuhdistusprosessi. (Tampereen Vesi 2011, 7.)

4.6.3 Lietteiden käsittely

Esiselkeytyksestä ja muualta puhdistuksesta syntyneet lietteet pumputaan sakeutukseen. Ennen sakeutusta lietteeseen lisätään polymeeria tehostamaan flokkien syntymistä. Liete stabiloidaan ja hygienisoidaan mädättämöissä, joissa sen viipymä on 16-17 vuorokautta. Mädätys tapahtuu kahdessa 3500 m³ säiliössä, joissa lämpötilaa pyritään pitämään 35 °C ja lietettä sekoitetaan mekaanisilla potkurisekoittimilla. Mädätyksen jälkeen lietteeseen lisätään polymeeria ja se kuivataan lingoilla. Lingotun lietteen kuiva-ainepitoisuus on noin 30 prosenttia. Vuonna 2011 liete kompostoitui, josta 61 prosenttia hyötykäytettiin maanviljelyssä ja 39 prosenttia maisemoinnissa. (Lindell & Oksanen 2012; Tampereen Vesi 2012b, 13.)

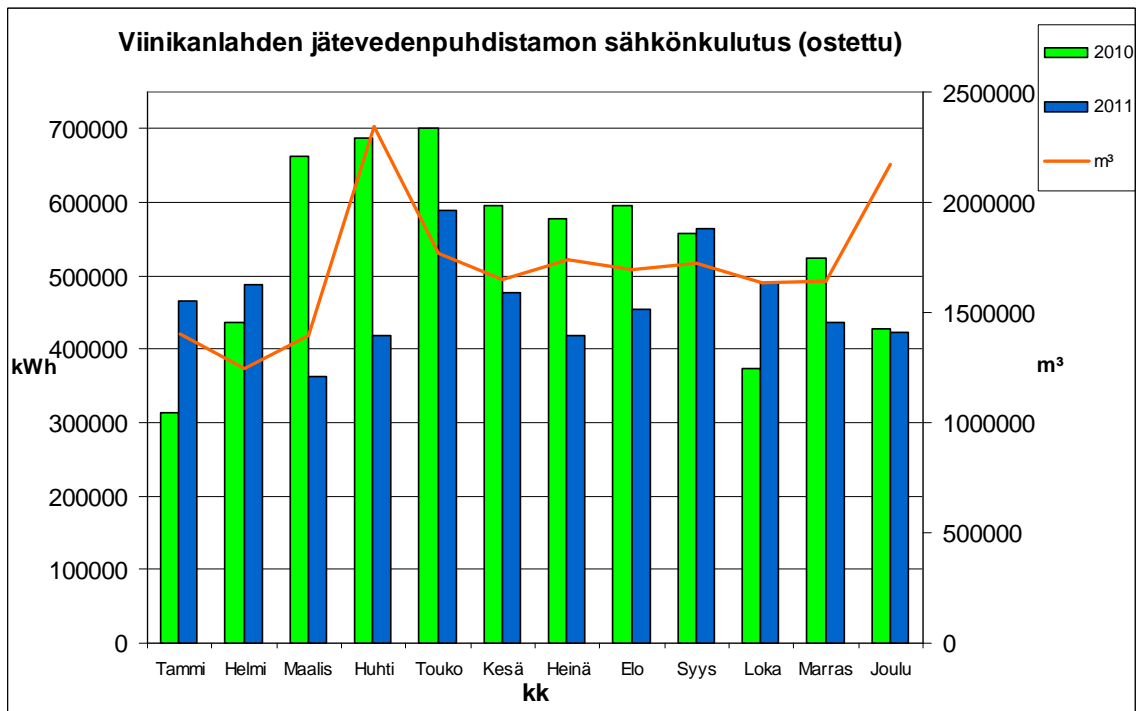
Mädätyksestä hajoamistuotteena syntyvästä biokaasusta tuotetaan sähköä ja lämpöä kaasumootorigeneraattorilla. Vuonna 2011 kaasun hyödyntämisaste oli 66 prosenttia. Kaasumootorigeneraattori tuotti tällöin 3 786 MWh sähköenergiaa ja lämpöenergiaa 3 620 MWh. Omavaraisuusaste oli sähköenergialla 40,3 prosenttia ja lämpöenergialla 63,1 prosenttia. (Tampereen Vesi 2012b, 13.)

4.7 Jäteveden keräämisen ja puhdistuksen energiankulutus

Vuonna 2011 Viinikanlahden jätevedenpuhdistamon sähköenergiankulutus oli yhteensä 9 403 110 kWh, joka sisälsi ostetun ja laitoksen itse tuottaman sähkön. Aiemmin jo mainittiin, että samana vuonna kaasumootorigeneraattori tuotti 3 786 000 kWh sähköä, joten ostetun sähkön määrä samana vuonna oli 5 617 110 kWh. Kyseisenä vuonna jätevedenpuhdistamolla puhdistettiin yhteensä 20 412 581 m³ jätevettä, jolloin sähköenergiaa kulutettiin puhdistettua kuutiota kohden 0,46 kWh/m³. Viemäriverkostoon kuuluvien jätevedenpumppaamoiden yhteenlaskettu sähköenergiankulutus vuonna 2011 oli 1 052,2 MWh välillä 0,1-111,5 MWh. (Tampereen Vesi 2012a, 24-25, 28.)

Kuvassa 13 on esitetty pylväinä Viinikanlahden jätevedenpuhdistamon kuukausittainen ostetun sähkön määrä vuosina 2010 ja 2011. Vuonna 2010 toinen mädättämö saneerattiin ja

kaasumoottoriin tehtiin muutostöitä, jonka vuoksi sähköä ostettiin huomattavasti enemmän. Kuvassa oranssina viivana on vuodelta 2011 kuukausittain puhdistetut jätevesimäärät kuutioina. Huhtikuun ja joulukuun huiput jätevedenpuhdistuksessa voidaan selittää lumien sulamisella sekä sateilla. Tiedot on kerätty Tampereen Veden vuoden 2011 tilastotiedoista.



Kuva 13. Viinikanlahden jätevedenpuhdistamon ostetun sähkön määrä kuukausittain vuosina 2010-2011 sekä puhdistetut jätevesimäärät kuukausittain vuonna 2011.

Viinikanlahden jätevedenpuhdistamolta ei myöskään ole tarkkaan tiedossa yksittäisten prosessien kuluttamia energiamääriä. Kuitenkin tiedetään, että jätevedenpuhdistamolla paljon energiaa kuluttavia prosesseja ovat tulopumppaus, ilmastus, lietteen käsittelystä lietteen ja mädättämöiden lämmitykset sekä lietteen linkous. Laitoksen tulopumppauksessa on kuusi pumppua, joista yleensä 2-3 pumppua on yhtä aikaa päällä. Pumppuja ohjataan pinnankorkeuksien mukaan. Vain yhdessä pumpuista on taajuusmuuttaja, josta johtuen taajuusmuuttajalla varustettua pumppua ajetaan maksimimaalinen aika. Tämä automaattisesti kuluttaa pumppua enemmän, eikä taajuusmuuttajan käytöstä saada parasta hyötyä. Lisäksi sähkönkulutusta nostattavat viemäriverkoston jätevesipumput.

Ilmastuksessa paljon sähköä kuluttavat kompressorit, jotka tekevät ilmaa aktiivilieteprosessiin. Ilmastusaltaat ovat ulkoaltaita. Kovimmilla pakkasilla prosessi toimii, mutta lieteikää tarvitsee nostaa, jolloin ilmastuksen tarve on suurempi. Ilmastuksen sähkönkulutukseen vaikuttavat myös jäteveden laatu ja lämpötila. Kuvasta 13 voidaan päätellä, että veden lämpötilan ollessa matalampi lumien sulamisen aikaan, sähkönkulutus on korkeampi. Veden alhaisempi lämpötila vaikuttaa suurempaan ilmastuksen tarpeeseen sekä mädättämöissä lietteen suurempaan lämmitystarpeeseen. Lumien sulamisen aikaan laitokselle tulee huomattavasti enemmän vettä, joka nostattaa puhdistettavan jäteveden määrää ja sitä kautta sähkönkulutusta.

Mädättämöiden kaasuntuotanto on nykyisin tehokkaampaa, kun mädättämöiden kaasusekoittimet vaihdettiin mekaanisiksi potkurisekoittimiksi vuosina 2010–2011. Sekoittimien saneeraukset mahdollistivat syöttösakeuden noston, joka on tarkoitus toteuttaa tämän vuoden loppuun mennessä.

5 TUOTANNONOHJAUSJÄRJESTELMÄN MAHDOLLISUUDET ENERGIATEHOKKUUDEN PARANTAMISEKSI TAMPEREEN VEDELLÄ

Tampereen Vedellä on suunnitteilla uusi jätevedenpuhdistamo, joka olisi tarkoitus ottaa käyttöön vuonna 2020. Laitoksen rakentamisesta ei ole tehty vielä päätöstä, mutta rakentaminen tarkoittaisi Viinikanlahden jätevedenpuhdistamon sulkemista. Tästä johtuen Viinikanlahteen ei suunnitella suuria laitemuutoksia ja -investointeja, vaan on mietittävä väliaikaista ratkaisua prosessien energiankulutuksen vähentämiseksi nykytasosta. Myös Ruskon vedenpuhdistuslaitoksen suurempia saneeraustöitä ja prosessitekniikoiden vaihtamisia ei ole mahdollista toteuttaa tällä hetkellä. Edellä mainitut seikat ovat syitä, miksi tuotannonohjausjärjestelmän hyödyntämistä on pidettävä yhtenä varteen otettavista vaihtoehdoista vesihuollon energiatehokkuuden parantamiseksi.

Tampereen Vesi on Tampereen kaupungin liikelaitos ja velvollinen raportoimaan ja tilastoimaan vuosittain toiminnastaan valvovalle viranomaiselle. Tilastotiedoista käy ilmi muun muassa toimitettu talousvesimäärä, puhdistettu jätevesimäärä ja näiden puhdistustulokset sekä käytetyt kemikaalit, paineenkorotuspumppaamoiden sähkönkulutukset ja vuotovesien määrät. Nämä tilastotiedot kerätään monesti eri lähteitä, kuten Exceliin kootuista tiedoista. MES-järjestelmä luo automaattisia raportteja ja järjestelmään voidaan luoda uusia toistuvia raportteja. Järjestelmän ominaisuus on, että järjestelmään kerran syötetty tieto on kaikkien järjestelmää käyttävien hyödynnettävissä, eikä kyseistä tietoa tarvitse luoda toistamiseen. Tämän avulla vuosittaiset raportit pystyttäisiin keräämään vaivatta järjestelmästä tai raporttien teko voitaisiin jopa automatisoida. Järjestelmä helpottaisi työntekijöiden työmäärää sekä vähentäisi tietojen syötöstä syntyvien virheiden määrää. MES-järjestelmä mahdollistaisi esimerkiksi kustannuseurannan viikoittaisen näkymän. Järjestelmästä olisi helposti saatavissa tunnuslukuja, raportteja ja kustannustietoja, jotka mahdollistaisivat toimintojen tarkemman seurannan ja johtamisen. Samalla voitaisiin suunnitella keskitetysti tuotannon toteutusta.

MES-järjestelmän avulla voitaisiin palvella paremmin myös asiakkaita. Kuluttajille voitaisiin antaa reaaliajassa enemmän tietoa esimerkiksi talousveden laadusta; sen pehmeystä ja lämpötilasta. Järjestelmä voisi kerätä kuluttajia kiinnostavia tietoja yhteen ja kuluttajat voisivat nähdä tiedot esimerkiksi Tampereen Veden Internet-sivuilta.

Tampereen Vedellä ei tähän mennessä ole ollut kunnollista toiminnanohjausjärjestelmää muualla kuin taloushallinnon tehtävissä. Osassa vesihuolto prosessien koneista ja laitteista löytyy automaatio, jonka avulla ne toimivat. Monen laitteen, kuten pumppujen ajotavan ja vesitornien pinnankorkeuksien säätely perustuu työntekijöiden kokemuksesta tulevaan päätöksentekoon. Yleisesti pumppuja käytetään huonon hyötysuhteen alueella, koska oikeaa ajotapaa ei tiedetä.

Tuotannonohjausjärjestelmän suurimpia hyötyjä olisi, että vesihuollon prosesseja pystyttäisiin ohjaamaan tehokkaammin. MES-järjestelmä on kehitetty avuksi tuotetun datan analysointiin, laskelmien luomiseen sekä niiden muokkaamiseen. Järjestelmä mahdollistaa pullonkaulojen

havaitsemisen sekä koko tuotantolaitoksen tehostamisen. Mittaroinnista saadaan automaattista integroimalla lattiataason ohjausjärjestelmien tuottama data yrityksen tietojärjestelmiin. Näiden avulla vesihuollon prosesseja voitaisiin mitata, seurata ja ohjata keskitetysti. Järjestelmään voitaisiin syöttää tietyt parametrit, joiden avulla prosessia voitaisiin ohjata keskitetympin ja reaaliajassa. Esimerkiksi, kun mittauksien avulla tiedettäisiin tarkkaan raakaveden laatu ja lämpötila, voitaisiin optimoida kemikaalien syötöntarve. Jätevedessä taas lisättäisiin saostuskemikaaleja sen mukaan, millainen veden laatu olisi milläkin hetkellä. Prosessien ohjaukset voisivat tapahtua tarkkaan esimerkiksi virtaaman tai vuorokauden ajan perusteella. Osa näistä toiminnoista toteutetaan jo automaatiolla, mutta MES-järjestelmä mahdollistaisi vielä tarkemman ja reaaliaikaiseen tietoon perustuvan ohjauksen.

Tuotannonohjausjärjestelmä olisi apuna vesihuollon prosessilaitteiden kunnossapidossa ja häiriötilanteiden havaitsemisessa. MES-järjestelmän avulla voitaisiin seurata eri laitteiden toimivuutta ja tehokkuutta kunnossapidon ennakoivalla työkalulla. Järjestelmästä olisi mahdollista nähdä ajaako yksittäinen pumppu hyvällä hyötysuhteella. Jos näin ei olisi, pumpun toimintaa voitaisiin seurata tarkemmin ja tehdä jatkopäätöksiä esimerkiksi huoltamalla pumppu tai investoimalla uuteen. MES-järjestelmän ominaisuus on myös sen jäljitettävyyys, jonka avulla häiriötilanteen sattuessa häiriöön johtaneet syyt voidaan löytää helpommin historiadatan avulla. MES-järjestelmään olisi mahdollista ohjelmoida niin, että häiriötilanteen sattuessa järjestelmä tallentaisi häiriötä edeltävää prosessia automaattisesti esimerkiksi kaksi tuntia. Hälytyshistorian avulla olisi helpompi löytää häiriöön johtaneet syyt ja jatkossa ennaltaehkäistä paremmin mahdollisia häiriötilanteita.

Tuotannonohjausjärjestelmä mahdollistaa havainnollisia näkymiä käyttöliittymään, joiden avulla ymmärretään nopeasti prosessin tai laitteen toimivuus ja tuotantotehokkuus. Tämän avulla pystytään reagoimaan nopeammin muuttuviin tilanteisiin. Havainnollisia näkymiä voisi hyödyntää esimerkiksi jätevedenpuhdistuksen ilmastuksessa. Ilmastimen perustoimivuuden voisi asettaa tavoitetasoon ja järjestelmä kertoisi yksinkertaisesti esimerkiksi viisarin avulla ilmastimen toimivuudesta. Laitteen toimiessa tavoitetasolla viisari olisi neutraalina ja laitteen toimiessa erittäin tehokkaasti viisari menisi kohti vihreää, ja taas huonosti toimiessaan kohti

punaista. Kuvassa 14 on esimerkki järjestelmän antamista näkymistä, joiden avulla on helppo hahmottaa laitteiden toimivuuksia.



Kuva 14. Toiminnan tehokkuuden näkymät. (Schneider Electric 2012b.)

Tuotannonohjausjärjestelmää voitaisiin hyödyntää niin talousveden valmistuksen kuin jätevedenpuhdistuksen veden laadun tarkkailussa. Ruskon vedenpuhdistuslaitoksen laboratoriossa tutkitaan sekä talousveden, että jäteveden laatua. Viinikanlahden jätevedenpuhdistamolla automaattiset näytteenottimet ottavat kahdesti viikossa näytteet tulevasta ja lähtevästä jätevedestä sekä eri puhdistusvaiheista. Näytteet viedään Ruskon laboratorioon, jossa tutkitaan puhdistusprosessin onnistumista. Laboratorion työntekijät syöttävät analyysit tietokoneelle, josta niitä hyödynnetään jätevedenpuhdistamon käyttötarkkailussa sekä viranomaisraportoinnissa. Jos näytteiden tulokset ylittävät puhdistustulosten raja-arvot, jätevedenpuhdistamolla aletaan tutkia prosessia ja miettimään korjaavia toimenpiteitä. MES-järjestelmän avulla laboratorion tiedot voitaisiin syöttää keskitetysti samaan järjestelmään muiden tuotantoprosessitietojen kanssa, automatisoida veden laadusta raportointi sekä viranomaisille, että jätevedenpuhdistamolle sekä analysoida ja hyödyntää paremmin saatuja tuloksia esimerkiksi kemikaalien syötössä. Myös näytteiden analysoinnissa hyödynnettäisiin MES-järjestelmän reaaliaikaisuutta.

Aiemmissa kappaleissa kävi ilmi, että vesihuollossa paljon energiaa kuluttavia prosesseja ovat ilmastus, pumppaukset sekä lietteen käsittely. Kappaleissa 5.1–5.3 käsitellään tarkemmin

tuotannonohjausjärjestelmän mahdollisuuksia ilmastuksessa, pumppauksessa sekä lietteen käsittelyssä ja saatavia hyötyjä energiatehokkuuden kannalta.

5.1 Ilmastuksen tehostaminen tuotannonohjausjärjestelmän avulla

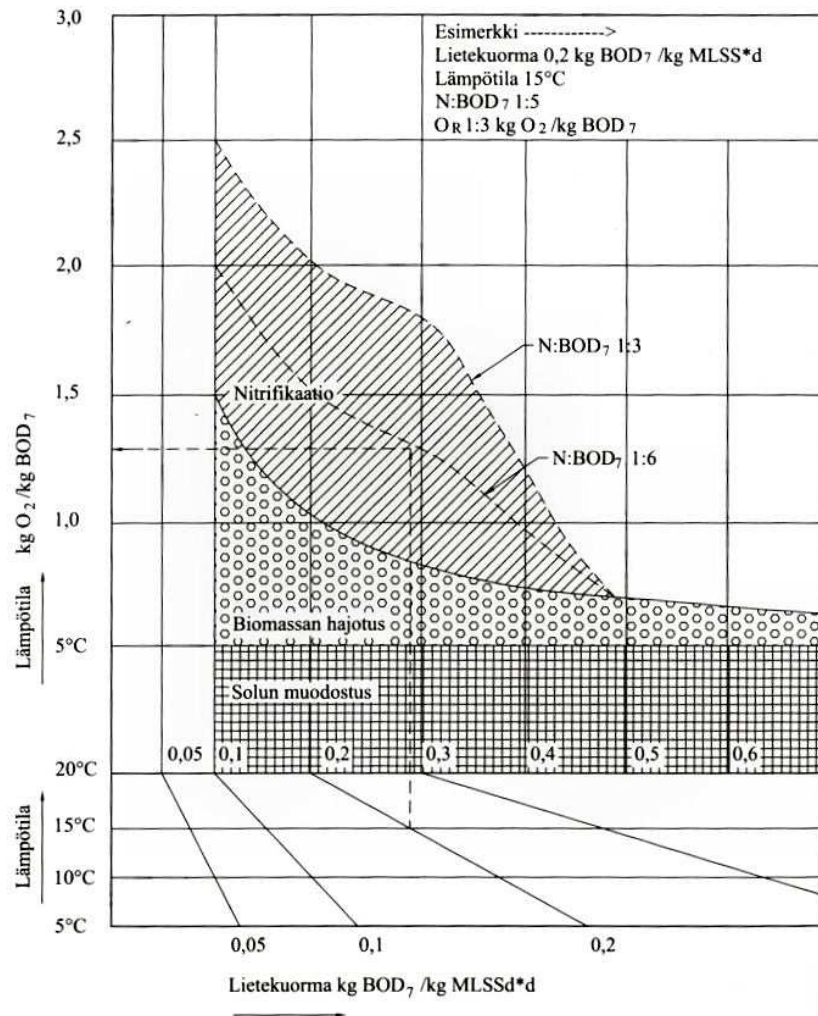
Tähän mennessä ilmastus ja kompressoreiden syöttämä ilmamäärä ovat Viinikanlahden jätevedenpuhdistuksessa tapahtuneet kokemukseen ja veden laatuun perustuvan ohjauksen kautta. Puhdistusprosessi ei perustu täysin reaaliaikaisen veden laadun ja koostumuksen kautta ohjaamiseen. Tästä johtuen prosessiin syötetyt kemikaalit ja ilmastuksen määrä eivät aina ole optimoituja. Vaihtelevissa olosuhteissa veden ominaisuudet muuttuvat, johon ei pystytä vastaamaan reaaliaikaisella ohjauksenmuutoksella, jolloin ilmastuksessa saatetaan kuluttaa turhaa energiaa esimerkiksi yli-ilmastamalla prosessi. Myös liiallinen kemikaalin käyttö voi tällöin olla mahdollista.

MES-järjestelmä mahdollistaisi ilmastuksen reaaliaikaisen ohjauksen riippumatta muuttuvista olosuhteista saaden silti hyvän käsittelytuloksen ja pienentyneen ilmastusmäärän. Koko prosessi olisi optimoitu sen hetkisen puhdistustarpeen mukaan. Puhdistusprosessissa suurimmat muutokset voivat tulla pitkien sateiden tai lumien sulamisen jäljiltä. Varsinkin tänä vuonna olleet jatkuvat sateet ovat nostattaneet jätevesissä hulevesien määrää ja samalla laimentaneet jäteveden pitoisuuksia sekä laskeneet veden lämpötilaa. Nämä muutokset vaikuttavat eniten puhdistamon biologiseen typenpoistoon heikentämällä nitrifikaatiota ja jälkiselkeytysaltaan toimintaan. Selkeytysaltaat sekä ilmastusaltaat ovat taivasalla, joka lisää lämmönhukkaa. Varsinkin talvella kattamattomien ilmastuslinjojen käyttö aiheuttaa lämmönhukkaa, mikä puolestaan vaikeuttaa nitrifikaatiota ja lisää ilmastustarvetta. MES-järjestelmän avulla pystyttäisiin ennustamaan muuttuvia olosuhteita ja reagoimaan niihin sen mukaan. Järjestelmä vaatisi puhdistusprosessista tietoja, mitä mitattaisiin ja joiden perusteella esimerkiksi ilmamäärä ja kemikaalien määrät syötettäisiin. Mitattava data voisi tulla nitrifikaation toimintaan vaikuttavista parametreista, joita ovat muun muassa jäteveden hapen määrä, lämpötila, pH, BOD sekä myrkylliset yhdisteet. Kun puhdistamolle tulisi runsaasti hulevesiä, jolloin jätevesi on kylmempää ja sisältää vähemmän myrkyllisiä yhdisteitä,

prosessin toimintaa muutettaisiin sen mukaan esimerkiksi pidentämällä lieteikää. Kesähelteiden aikaan taas, jäteveden ollessa lämpimämpää ja orgaanisen aineksen ollessa suurempaa, prosessia voitaisiin ohjata lyhyemmällä lieteiällä.

Ilmastuksen kannalta mitattavia kohteita voisivat olla jäteveden lämpötila, pH, ammonium- ja nitraattitypen määrä sekä happimäärä. Typenpoiston kannalta hyödyllisiä mittauksia olisivat ammonium- ja nitraattitypen mittaukset. Ilmastuksen tarvetta voitaisiin ohjata esimerkiksi jäännöshappipitoisuuden, lieteiän tai nitraatti- ja ammoniumpitoisuuksien perusteella. Palautuslietteen määrää voitaisiin säädellä tulovirtaaman sekä ilmastusaltaiden mikrobien mukaan ja kierrätyslietteen määrän voisi suhteuttaa denitrifikaatioaltaasta mitattuun nitraatin määrään.

Kuvassa 15 nähdään ilmastuksen hapentarve lietekuormituksen ja lämpötilan funktiona. Tuotannonohjausjärjestelmään tulisi syöttää tämän tapaisia laskelmia, joiden mukaan ilmastusprosessia ohjattaisiin.



Kuva 15. Hapentarve lietekuormituksen ja lämpötilan funktiona. (Karttunen 2004, 524.)

Optimaalinen liukoisen hapen määrä nitrifikaatiolle on 2-3 mg/l. Liian alhainen happimäärä estää nitrifikaatiota ja 4 mg/l suuremmilla happimäärillä ei ole merkitystä prosessin kannalta. Monet biologiset prosessit ovat yli-ilmastettuja, jolloin prosessi ei hyödy ylimääräisellä happimäärällä ja energiaa kuluu turhaan. Tuotannonohjausjärjestelmän avulla happimäärää voitaisiin säädellä prosessin tarpeiden mukaan ja yli-ilmastukselta ja sitä kautta ylimääräisiltä kustannuksilta voitaisiin välttyä. Happimäärä tulisi optimoida myös sen takia, että mitä enemmän puhdistetussa jätevedessä on happea kuluttavaa orgaanista ainesta, sitä enemmän se kuluttaa happea vesistössä.

Nitrifikaatioon vaikuttavat myös muut tekijät, kuten puhdistamon henkilökunnan tavat ajaa ilmastusprosessia sekä prosessin mitoitus. MES-järjestelmän avulla minimoitaisiin työntekijöiden päätöksistä mahdollisesti johtuvat huonommat ajotavat sekä virheet ajotavoissa. MES-järjestelmään tarvitsisi vain kerran syöttää prosessin ohjaustavat, jonka jälkeen järjestelmä ehdottaisi ajotapaa, jonka työntekijä hyväksyisi. MES-järjestelmän hyöty olisi myös siinä, että se antaisi reaaliaikaista palautetta prosessin toiminnasta takaisin toiminnanohjauksen tasolle.

Jos järjestelmään yhdistettäisiin ennakointi säiden suhteen, muuttuvaan prosessiin voitaisiin varautua yhä paremmin, kun ennustettaisiin esimerkiksi rankkasateiden tulo. MES-järjestelmän yksi ominaisuus onkin ennakoitavuus. Sadedatujen avulla pystyttäisiin ennustamaan puhdistamolle tulevan virtaaman nousu ja varautua prosessissa siihen jo etukäteen. Tässä hyödynnettäisiin myös tuotannonohjausjärjestelmän reaaliaikaisuutta siirtämällä se jätevesien reaaliaikaiseen hallintaan. Samaa ennakoitavuutta voitaisiin hyödyntää myös viemäriveriesien pumppauksissa. Kun tiedettäisiin pian tuleva suurempi pumppauksen tarve, voitaisiin pumppujen ohjausta muuttaa sen mukaisesti toimimaan optimaalisesti.

Tuotannonohjausjärjestelmää voitaisiin hyödyntää myös ilmastimien huollon ennakoinnissa. Ilmastimien likaantuminen vaikuttaa heikentävästi hapensiirtotehokkuuteen ja ilmantuoton painehäviöön, joista johtuen sähkönkulutus kasvaa merkittävästi (Tukiainen 2009, 42-43). MES-järjestelmä kertoisi ilmastimien kasvaneen sähkönkulutuksen, jolloin huollon tarve olisi helpommin nähtävissä. Ilmastimien oikeanaikaisella huollolla vaikutettaisiin myös energiatehokkuuteen.

Ilmastuksen ohjauksen muutoksilla voitaisiin säästää vähintään 10 prosenttia ilmastuksen energiankulutuksesta. Ilmastuksen osuus koko Viinikanlahden jätevedenpuhdistusprosessin sähkönkulutuksesta on niin suuri, että pienikin säästö ilmastuksessa on yllättävän suuri säästö koko prosessin kannalta.

5.2 Pumppauksen tehostaminen tuotannonohjausjärjestelmän avulla

Tampereen Vedellä suurimpia energiankuluttajia koko vesihuolto-prosessissa ovat pumput eri puolilla prosessia. Pumppuja on monen kokoisia, ikäisiä ja ne toimivat eri tavoin, esimerkiksi osassa on taajuusmuuttaja ja osassa pehmökäynnistys. Roineen raakaveden ottamiseen käytettävistä pumpuista ei tällä hetkellä tiedetä mitkä ovat pumppujen optimaalisimmat ohjaustavat; pitäisikö käyttää yksittäistä pumppua vai rinnan kahta, mikä on pääpumppu ja käytetäänkö mahdollisesti taajuusmuuttajaa. Pumppujen ajotavat ovat tapahtuneet vanhasta tottumuksista ja niitä on ohjattu muun muassa yläsäiliöiden pinnankorkeuksia seuraamalla. Tällöin pumppausprosessin ajotavan päätös ei tapahdu täysin reaaliajassa, vaan esimerkiksi pumpun käyttöönottaessa tai huollon yhteydessä päätetyllä ajotavalla. Myös paineenkorotuspumppujen, jätevesipumppujen sekä jäteveden tulopumppujen optimaalisinta ohjaustapaa ei tiedetä tarkkaan.

Tuotannonohjausjärjestelmän avulla pumppujen tuottoon vaikuttavat tekijät voitaisiin kerätä yhteen ja MES-järjestelmä määrittäisi parametrien perusteella optimaalisimmat ajotavat. MES-järjestelmään laitettaisiin pumppujen toimintapisteet, joiden perusteella pumppuja ajettaisiin. Järjestelmään ei riittäisi pelkän prosessidatan mittausta, vaan parametrien perusteella järjestelmään tulisi laskea mikä on optimaalisin ohjaustapa tilanteesta riippuen. Ajotapa voisi olla vähäisen virtauksen aikaan pelkän yhden pumpun käyttö ja toisen pysäyttäminen tai kahden pumpun käyttö pyörimisnopeuksia säädellen. MES-järjestelmän avulla päätettäisiin miten pumput kävisivät, mutta se antaisi myös reaaliaikaista palautetta toiminnanohjauksen suuntaan miten pumput todella toimivat. Pumppujen optimaalisten ohjaustapojen löytäminen olisi merkittävä säästö pumppujen energiankulutuksessa. Seuraavana on esimerkki pumppujen optimaalisesta säädöstä:

Pumppuja ohjattava taajuusmuuttajilla, jolloin on/off-säädön sijaan:

- 1. pumppua ei ajeta täysille, vaan optimaalisimpaan pyörimisnopeuteen

- Toisen pumpun käynnistyessä 1. pumppu pysyy optimaalisimmassa nopeudessaan ja toinen pumppu jää säätäväksi
- Pumppaustarpeen edelleen kasvaessa, kun 3. pumppu otetaan käyttöön, 1. ja 2. pumppu ohjautuvat optimaalisimpaan nopeuteen lähelle nimellispistettä, jolloin 3. pumppu jää säätäväksi (Aranto 2010, 25.)

Monesti taajuusmuuttajan käyttö energian säästämisen kannalta on kannattavaa, mutta toisinaan se voi olla myös epäedullista. Tämä voi johtua esimerkiksi suuresta geodeettisesta nostokorkeudesta tai taajuusmuuttajan käyttöönoton myötä pumpun toimintapisteen siirtymisestä huonolle hyötysuhteelle. Myös näihin ongelmiin voitaisiin tuotannonohjausjärjestelmään kerätyn datan avulla laskea hyvän hyötysuhteen alueet ja sitä kautta pumppujen oikeanlaiset ohjaustavat.

Viemäri-vesien määrissä on suuria eroja Tampereen kantakaupungin alueesta johtuen, jossa on edelleen sekaviemäriä. Lumien sulamisen ja sateiden aikaan viemäri-vesien määrä nousee huomattavasti ja samalla myös pumppauksen tarve. MES-järjestelmän avulla voitaisiin optimoida jätevesipumppujen käyminen suurten hulevesivirtaamien aikaan, kun pumpuista olisi tiedossa, miten niitä kannattaa ajaa suurten virtaamien aikaan.

Talousveden jakelussa voitaisiin myös hyödyntää tuotannonohjausjärjestelmää. Toimintapisteen avulla pumppujen ohjaustapa voisi päivällä olla eri kuin yöllä, jolloin veden virtaus ohjautuu ylävesisäiliöiden täyttämiseen. MES-järjestelmän avulla voitaisiin optimoida vesitornien pinnankorkeudet ja vähentää ”kaiken varalta” olevan veden määrää torneissa. Ennustettavuutta voitaisiin hyödyntää juhla- ja pyhäpäivien kohdalla, kun vanhasta kokemuksesta jo tiedetään mikä päivä aiheuttaa suurempaa vedenkulutusta. Esimerkiksi viikonloppuisin raakaveden pumppausta hieman pienennetään, koska vedenkulutus on arkipäiviin nähden hieman alhaisempaa. Talousveden kulutuksen ennustaminen ei kuitenkaan ole helppoa. Talousveden kulutushuiput voivat johtua esimerkiksi suosituksen televisio-ohjelman mainoskatkolla syntyvästä talousveden kulutuksesta. Tämän tyyppisiä oletuksia on hyvin vaikea arvioida.

Kuten ilmastuksen, myös pumppujen kunnossapidon ja huollon tarvetta voitaisiin parantaa tuotannonohjausjärjestelmän avulla. Järjestelmän avulla olisi mahdollista huomata pumpun toiminnassa häiriöt, esimerkiksi pumpun suurempi sähkönkulutus tai hyötysuhteen laskeminen. Yksittäisen huonosti toimivan pumpun toimintaa voitaisiin tarkastella paremmin ja ennakoida mahdollinen huollon tarve. Ruskon vedenpuhdistusprosessin välipumput ovat hyvin vanhoja ja niissä on usein vikoja sähkömoottorissa. Viat lisäävät huoltojen määrää huomattavasti, johon voitaisiin kiinnittää entistä tarkempaa huomiota tuotannonohjausjärjestelmää hyödyntämällä. MES-järjestelmän avulla pumppujen huollon tarve olisi mahdollista huomata nopeammin myös jäteveden ja etenkin lietteen pumppauksessa, joissa pumput likaantuvat helpommin ja tarvitsevat tiheämpää huoltoa.

5.3 Lietteen käsittelyn tehostaminen tuotannonohjausjärjestelmän avulla

Lietteen käsittely on yksi keskeisimmistä jätevedenpuhdistuksen energiaa kuluttavista prosesseista. Lietteen käsittelyssä energiaa kuluu muun muassa lietteen pumppaukseen, linkoukseen sekä mädättämöiden lämmittämiseen ja lämmön ylläpitämiseen. Viinikanlahden jätevedenpuhdistamon mädätystä on tähän asti pidetty mesofiilisenä, lämpötilassa 35-37 °C. Viimeaikaisten tutkimusten perusteella mädättämön lämpötilaa voitaisiin nostaa mesofiiliselta tasolta termofiiliselle tasolle (50-55 °C). Termofiilinen mädätys tehostaisi lietteen hygienisointia, viipymäaika olisi nopeampi sekä biokaasun tuotanto olisi entistä suurempaa. Termofiilisen mädätyksen haitat ovat suurempi lämmöntarve, rejektivesien huomattavasti huonompi laatu sekä sen käyttöönottoa ovat hidastaneet vähäinen käyttökokemus ja tehokkaampien ohjausjärjestelmien puute häiriötilanteiden varalle. (Kangas et al. 2011, 17-19.)

Suurempi lämmöntarve voitaisiin kompensoida sillä, että termofiilisessä mädätyksessä biokaasua syntyisi enemmän. Ohjauksen tehostamiseen ratkaisu voisi löytyä tuotannonohjausjärjestelmästä. Termofiilisen prosessin nopeat reaktiot reagoivat herkemmin olosuhteiden muutoksiin ja siksi niiden hallinta prosessihäiriöiden estämiseksi tarvitsee

suurempaa tarkkaavaisuutta ja ohjausta. Juuri tähän on mahdollista löytää ratkaisu tuotannonohjausjärjestelmän ja siitä saatavan reaaliaikaisen informaation avulla. MES-järjestelmän avulla voitaisiin ennaltaehkäistä häiriötilanteiden syntymistä paremmin. Järjestelmä vaatisi myös lietteen käsittelyssä prosessitietoja. Mitattavia tietoja voisivat olla esimerkiksi kaasun metaani- ja hiilidioksidipitoisuudet, lietteen pH-arvo, mädätysprosessin lämpötila ja viipymä sekä syötetyn ja poistuvan lietteen määrä. Erillisiä laskelmia voitaisiin tehdä esimerkiksi vertaamalla lämpötilaa ja viipymää lietteen hygienisointiin. Prosessin toimivuuden kannalta käsiteltävän lietteen ominaisuuksista oleellisinta on tietää kuiva-ainepitoisuus ja sen sisältämä orgaaninen aines, olosuhteista taas lämpötila ja pH-arvo.

Termofiilisen mädätyksen hyötynä on suurempi kaasuntuotto, joka tarkoittaa myös suurempaa orgaanisen aineksen hajoamista. Tämä taas tarkoittaa pienempiä lietemääriä sekä apukemikaalien määriä mädätetyn lietteen kuivauksessa, vähäisempää linkouksen tarvetta sekä pienempiä kuljetusmääriä loppusijoitukseen. Termofiilisesti mädätettyä ja mekaanisesti kuivattua lietettä voidaan käyttää sellaisenaan maaparannusaineena, joka vähentää selvästi loppusijoituksesta aiheutuvia kustannuksia. Termofiilisen mädätyksen hyötynä on myös, että vaahtoaminen mädättämöissä vähenee tai loppuu. (Kangas et al. 2011, 17-19.)

Termofiiliseen mädätykseen vaihtaminen toisi mahdollisuuden kiintoaineen suuremmalle pitoisuudelle mädättämöissä, joka voitaisiin tehdä lietteen esisaostuksella. Kemikaalien avulla lietettä esisaostettaisiin enemmän esiselkeytyksessä, jolloin tuloksena olisi suurempi määrä raakalietettä. Raakalietteen energiantuottopotentiaali on suurempi kuin ilmastuksesta syntyneen lietteen, joka mädättämöissä tarkoittaa suurempaa määrää tuotettua biokaasua. Esisaostus auttaisi biologisessa prosessissa ilmastusilman vähäisemmälle tarpeelle, joka tarkoittaisi ilmastuksen pienempää energiankulutusta. Esisaostus vaatii oman energiantarpeen noston, kuin myös termofiilisen mädätyksen suurempi lämmöntarve. Nämä tulee ottaa huomioon harkittaessa esisaostusta ja termofiilistä mädätystä, jotta esisaostuksen ja mädättämöiden lämmittämiseen käytetty energia ei kumoa täysin biokaasun suurempaa tuottoa.

Viinikanlahden mädättämöiden optimaalisesta lämpötilasta ei ole tarkkaa tietoa. Tällä hetkellä mädättämöiden lämpötilat on pyritty pitämään 35 °C. Vaikka mädätystä ei vaihdettaisi termofiiliseksi, MES-järjestelmä auttaisi löytämään paremmin optimaalisen lämpötilan mädätykselle ja maksimoimaan biokaasuntuoton. Kaasuntuotanto ei ole yksinkertainen prosessi, koska mädätys on biologinen prosessi. Mädättämöissä prosessiolosuhteita ei voida vaihtaa liian nopeasti, koska se vaikuttaa heti koko mädätysprosessiin ja kaasuntuotantoon. Mädätykselle tulisi löytää varmuus toimia hyvin tuottaen riittävästi biokaasua, joka MES-järjestelmän avulla pystyttäisiin mahdollistamaan.

Lietteen linkous voitaisiin myös optimoida tuotannonohjausjärjestelmän avulla. Lingoille tulevassa lietteessä on laatuvaihteluja, joka vaikuttaa linkojen ohjattavuuteen. Linkoja ohjataan usein lingoille tulevan lietteen tilavuusvirran mukaan. Lietteen laadun vaihtelut vaikuttavat muun muassa lietteen kuivauskemikaalien annosteluun. MES-järjestelmän avulla lietteen määrää ja laatua voitaisiin mitata, ja saada reaaliaikaista tietoa, jolloin kemikaaleja voitaisiin tarkkaan lisätä tietojen mukaisesti. Järjestelmän avulla optimoitaisiin linkouksen kaikki ohjausparametrit.

MES-järjestelmää olisi mahdollista hyödyntää lietteen käsittelyssä myös kunnossapitoon. Lämmönvaihtimen likaantuminen pystyttäisiin järjestelmän avulla näkemään lämmönvaihtimen huonontuneena hyötysuhteena. Myös linkouksen kasvanut sähkönkulutus huomattaisiin helpommin, jolloin huollontarpeeseen reagoitaisiin nopeammin.

6 JOHTOPÄÄTÖKSET

Tuotannonohjausjärjestelmän hyödyntäminen Tampereen Vedellä tehostaisi monia vesihuollon prosesseja. Järjestelmään voitaisiin mitata eri prosessivaiheita, energiankäyttöä ja se voisi ilmoittaa esimerkiksi käytettyjen kemikaalien määrät ja kustannukset. Tiedot menisivät ylemmälle tasolle toiminnanohjaukseen, jossa tietojen avulla voitaisiin suunnitella ja tehdä päätös tulevan tuotannon ohjaustavoista. Käsky ohjauksesta menisi takaisin MES-järjestelmään, joka ohjaisi tuotantolinjojen ajotapoja. MES-järjestelmästä voitaisiin hyödyntää

eri moduuleita, kuten talousnäkyä-, kunnossapito- ja energiamoduuleita. Moduuleita olisi mahdollista aluksi ottaa vähemmän käyttöön ja lisätä myöhemmin tarvittaessa. Analysoituja tietoja ja järjestelmää hyödyntämällä raportointivelvoitteet helpottuisivat, työntekijöiden työmäärä ja virheiden määrä vähenisi, prosessien energiankulutukset voitaisiin optimoida sekä minimoitaisiin syntyvät kustannukset.

Aikaisemmin vienyt kuukausien työ yksittäisen prosessin ymmärtämiseksi vaatii MES-järjestelmän käyttöliittymästä mahdollisesti vain yhden näkymän tarkastelun. Tähän pisteeseen pääsy vaatii käyttööntovaiheessa mitattavien prosessikohtien huolellisen määrittelyn. Mittauspaikoiksi tulee valita niitä prosessikohtia, joiden mittauksesta prosessin toimivuuden kannalta saadaan hyödyllistä tietoa ja tietoja analysoimalla prosessivaiheita voidaan kehittää. Käyttööntovaiheen huolellisen työn merkitys on suuri, jotta järjestelmästä saadaan toimiva ja hyödyllinen. Tuotannonohjausjärjestelmän tulevat käyttäjät on kannattavaa ottaa mukaan järjestelmän suunnittelu- ja käyttööntovaiheisiin, jotta heistä saadaan motivoituneita käyttämään uutta järjestelmää.

Vesihuollossa tärkeä tuotannon tavoite veden jakeluvarmuuden lisäksi on sen laatu. Sekä talousveden valmistuksessa, että jätevedenpuhdistuksessa pyritään tiettyyn veden laatuun, johon on aina päästävä. Puhdistusprosesseissa paras laadun tavoittelu saavutetaan mahdollisimman tasaisilla ajotavoilla, jolloin prosessit pysyvät tasaisina. Nykyinen jäteveden tulopumppauksen ajotapa voi olla puhdistusprosessin kannalta hyvä, mutta ei energiatehokkain. Aktiivilieteprosessi on biologinen prosessi, jossa puhdistustulos on hyvä, kun prosessi pysyy mahdollisimman tasaisena. Tuotannonohjausjärjestelmän yksi keskeisin ajatus on reaaliaikaisen tiedon hyödyntäminen tuotannonohjauksessa. Prosessien tasaisena pitämiseen MES-järjestelmän reaaliaikaisuutta ei voida välttämättä hyödyntää, vaan se ennemminkin heikentää prosesseja liian nopeilla ajotavan muutoksilla, joka myöhemmin näkyy veden laadun heikentymisellä. Tärkeintä on tehdä energiatehokkaita prosessiratkaisuja, jotka ovat veden laadun kuin myös koko puhdistusprosessien kannalta kannattavia.

Talousveden valmistuksen energiatehostaminen MES-järjestelmän avulla saataisiin parhaiten löytämällä raakavesipumppujen, prosessipumppujen sekä paineenkorotuspumppujen

optimoidut ohjaustavat. Pumppujen ohjaustapoihin voitaisiin vaikuttaa määrittelemällä järjestelmään pumppujen toimintapisteet sekä prosessien tarpeet, kuten nostokorkeudet. Järjestelmän avulla voitaisiin ennustaa pumppauksen tarvetta, sekä päättää mikä pumppaamossa on pääpumppu ja mikä pumppu esimerkiksi sarjassa varalta. Tuotannonohjausjärjestelmän avulla pumppujen häiriötilanteiden huomaaminen helpottuisi sekä se olisi kunnossapidon apuna. Pumppauksen ohjaustavan muutoksilla olisi mahdollista säästää jopa 40 prosenttia pumppujen kokonaissähkönkulutuksesta. Tämä tarkoittaisi merkittävää sähkönkulutuksen laskua kummallakin laitoksella. Ruskon vedenpuhdistuslaitoksella pumppujen energiankulutus vuonna 2011 oli noin 80 prosenttia koko laitoksen kuluttamasta energiamäärästä. Jos tuotannonohjausjärjestelmää hyödyntämällä pumppujen ohjaustapoja voitaisiin muuttaa niin, että energiankulutus tehostuisi 40 prosenttia, tämä tarkoittaisi vedenpuhdistuslaitoksen kokonaisenergiankulutuksessa noin 30 prosentin pienenemistä. 30 prosentin lasku energiankulutuksessa on jo merkittävä vähennys.

Jätevedenpuhdistuksessa tuotannonohjausjärjestelmää voitaisiin hyödyntää viemäri-vesien pumppauksissa, laitoksen tulopumppauksessa sekä lietteen pumppauksissa. MES-järjestelmän avulla olisi mahdollista optimoida ilmastuksen ja käytettyjen kemikaalien tarve muuttamalla ilmastuksen ohjaustapa esimerkiksi ammoniumtyypen online-mittaukseen perustuvaksi. Ohjaustavan muutoksella maksimoitaisiin typenpoiston teho, minimoitaisiin ilmastuksen tarve, jolloin minimisyötöllä saataisiin maksimipuhdistus. Ilmastuksen ohjaustapaa voitaisiin vaihdella mitattujen tunnuslukujen, kuten lämpötilan ja jäteveden laadun mukaan. Sääennusteiden hyödyntäminen ohjausjärjestelmässä voisi myös tehostaa kokonaisprosessia. Ilmastuksen ohjaustavan muutoksilla voitaisiin helposti säästää 10 prosenttia koko ilmastuksen energiantarpeesta.

Tuotannonohjausjärjestelmän ja lietteen käsittelyn prosessimuutoksien avulla lietteen käsittelyn energiankulutusta voitaisiin tehostaa huomattavissa määrin. Ajatellen, että mädätys vaihdettaisiin mesofiilisesta termofiiliseen ja lietettä esisaostettaisiin enemmän, energiankulutuksen säästöt voisivat olla hyvin suuret. Tällöin liete hygienisoituisi paremmin, viipymäaika mädättämöissä olisi nopeampi sekä biokaasun tuotanto olisi suurempaa. Esisaostuksella myös ilmastuksen sekä lietteen kuivauksen tarve pienenisivät. Termofiilisen

mädätyksen sekä suuremman esisaostuksen mahdollistaisi MES-järjestelmä, jonka avulla lietteen käsittelyn eri vaiheita voitaisiin seurata ja hallita tarkkaan, tehokkaasti ja optimoiden prosessien energiankulutukset.

MES-järjestelmän hyödyt ovat sitä suuremmat mitä enemmän se räätälöidään Tampereen Vedelle sopivaksi. Tuotannonohjausjärjestelmän investointikustannukset ovat korkeat ja myös siitä johtuen käyttöönotto on tehtävä erittäin tarkkaan, jotta jatkossa ohjausjärjestelmästä saatavat hyödyt maksavat järjestelmän investointikustannukset takaisin. Takaisinmaksuaikaa järjestelmälle voidaan pitää alle kymmenen vuotta, johtuen mahdollisesti rakennettavasta uudesta jätevedenpuhdistamosta. Hyvin suunniteltu ja oikein toimiva MES-järjestelmä mahdollistaisi Tampereen Vedellä reaaliaikaisen ja keskitetyn tuotannon seurannan, yksittäisten prosessien tarkemman ohjauksen sekä ymmärrettäisiin puhdistusprosesseja paremmin, kun tiedettäisiin yhden prosessin muutoksen vaikutukset koko prosessin toimivuuteen.

7 YHTEENVETO

Tässä kandidaatintyössä tarkasteltiin vesihuoltoa talousveden valmistuksen ja jakelun sekä jäteveden keräämisen ja käsittelyn osalta. Kandidaatintyön tavoitteena oli löytää merkittävimmät energiaa kuluttavat prosessit vesihuollossa. Työssä kävi ilmi, että vesilaitoksen puolella energiaa paljon kuluttavat pumput eri puolilla prosessia. Jätevedenpuhdistuksessa merkittävimmät energiankuluttajat ovat ilmastusprosessi, lietteen käsittely, viemäri-vesien pumppaukset sekä laitoksen tulopumppaus. Nämä prosessit ovat myös Tampereen Veden vesihuollossa eniten energiaa kuluttavia prosesseja.

Työn toisena tavoitteena oli tutkia tuotannonohjausjärjestelmän mahdollisuuksia vesihuollon energiatehokkuuden parantamiseksi. Vesihuollossa tuotantona voidaan pitää talousveden valmistusta sekä jäteveden puhdistusta. Työssä tultiin tulokseen, että tuotannonohjausjärjestelmää hyödyntämällä Tampereen Veden on mahdollista tehostaa monia eri vesihuollon prosessejaan. Tuotannonohjausjärjestelmän avulla pystyttäisiin tuottamaan

viikoittaisia raportteja prosessien toiminnoista ja kustannuksista eri tarpeisiin. Järjestelmästä saataisiin helposti kerättyä viranomaisten velvoittamat vuosittaiset raportit. Tuotannonohjausjärjestelmän avulla vesihuollon prosessilaitteiden kunnossapito olisi tarkempaa ja häiriötilanteet voitaisiin huomata paremmin. MES-järjestelmä mahdollistaisi pumppujen reaaliaikaisen ja optimoidun ohjauksen. Ilmastuksen hapentarve olisi mahdollista optimoida ja aktiivilieteprosessia voitaisiin ajaa esimerkiksi jäteveden ammoniumtyypen perusteella. Lietteiden käsittelyn tehostaminen ja erityisesti mädättämöiden lämpötilojen optimointi olisi mahdollista tuotannonohjausjärjestelmän avulla. MES-järjestelmää hyödyntämällä Tampereen Veden on mahdollista saada Ruskon vedenpuhdistuslaitoksesta sekä Viinikanlahden jätevedenpuhdistamosta hyvin organisoituja ja energiatehokkaampia puhdistuslaitoksia.

LÄHTEET

Aranto Niina. 2010. Pumppausten energiansäästömahdollisuudet. Alueellinen vesihuoltopäivä 2010, Lappeenranta, 9.3.2010. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. [Viitattu 15.11.2012].

Saatavissa: http://www.vvy.fi/files/865/06_a_Aranto_Niina.pdf

Asola Ismo. 2003. Vesitorni – yhdyskunnan maamerkki. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien liitto RIL r.y. 174 s. ISBN 951-758-434-2.

Delta Enterprise. 2012a. Tuotannonohjaus. [Delta Enterprise www-sivut]. [Viitattu 3.11.2012].

Saatavissa: <http://www.d-e.fi/ratkaisut/tuotannonohjausjarjestelmat/>

Delta Enterprise. 2012b. Tuotannonohjaus.info, Kuinka tehostaa tuotantoa älykkäästi tietojärjestelmien avulla. [Delta Enterprise www-sivut]. [Viitattu 3.11.2012].

Saatavissa: <http://tuotannonohjaus.info/>

Europump and Hydraulic Institute. 2001. Pump life cycle cost: a guide to LCC analysis for pumping systems. Executive Summary. [Verkkodokumentti]. 16 s. [Viitattu 11.10.2012].

Saatavissa: http://www1.eere.energy.gov/manufacturing/tech_deployment/pdfs/pumplcc_1001.pdf

Federley Jaana. 2009. Energiatehokas pumppausjärjestelmä. Koulutusmateriaali. Teknillinen korkeakoulu. Motiva Oy. [Verkkodokumentti]. 15 s. [Viitattu 12.10.2012].

Saatavissa: http://www.motiva.fi/files/2419/Energiatehokas_pumppausj_rjestelm_.pdf

Filippenkov Igor. 2012. Yhdyskuntalietteen linkouksen ja polymeroinnin optimointi Viikinmäen jätevedenpuhdistamolla. Insinööriyö. Metropolia Ammattikorkeakoulu, kemianteekniikan koulutusohjelma. 75 s.

Saatavissa: https://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/38389/Filippenkov_Igor.pdf?sequence=1

- Haverila Matti et al. 2005. Teollisuustalous. 5. painos. Infacs Oy. 509 s. ISBN 951-96765-5-4.
- Kajosaari Eero. 1973. Vesihuolto. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien liitto r.y. 374 s. ISBN 951-758-002-9.
- Kangas Ari et al. 2011. Energiatehokas lietteenkäsittely. Suomen ympäristö. [Verkkodokumentti]. 97 s. [Viitattu 7.11.2012].
Saatavissa: <http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=128291&lan=fi>
- Karttunen Erkki. 2004. RIL 124-2 Vesihuolto 2. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL R.Y. 684 s. ISBN 951-758-438-5.
- Karttunen Erkki. 2003. RIL 124-1 Vesihuolto 1. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL R.Y. 314 s. ISBN 951-758-431-8.
- Karttunen Erkki. 1999. Vesihuoltotekniikan perusteet. Helsinki: Opetushallitus ja RIL. 207 s. ISBN 952-13-0407-3
- Kujala-Räty Katriina, Mattila Harri, Santala Erkki. 2008. Haja-asutusalueiden vesihuolto. Hämeenlinna: Hämeen ammattikorkeakoulu ja kirjoittajat. 200 s. ISBN 978-951-784-472-7.
- Lindell Veijo, Oksanen Ari. 2012. Viinikanlahden jätevedenpuhdistamon käyttömestari ja konekunnossapitoinsinööri, Tampereen Vesi. Tampere. Haastattelu 16.10.2012.
- Miettinen Pauli. 1993. Tuotannonohjaus ja logistiikka. Helsinki: ATK-Instituutti. 102 s. ISBN 951-37-1193-5.
- Production Software. 2012a. ”Mihin MESiä tarvitaan, kun meillä on jo ERP?”. [Production Software www-sivuilla]. [Viitattu 3.11.2012].
Saatavissa: <http://proso-web.sharepoint.com/Pages/ERPvsMES.aspx>

Production Software. 2012b. Valmistuksenohjausjärjestelmät. [Production Software www-sivuilla]. [Viitattu 3.11.2012].

Saatavissa: <http://proso-web.sharepoint.com/Pages/Valmistuksenohjaus.aspx>

Pöyry. 2012. Työkalut ja mittarointi vesilaitosten ilmastomyönteiseen toiminnan kehittämiseen. [Verkkodokumentti]. 73 s. [Viitattu 15.10.2012].

Saatavissa: http://www.vvy.fi/files/774/poyry_ilmastonmuutos.pdf

Pöyry Enviroment Oy. 2007. Lietteenkäsittelyn nykytila Suomessa ja käsittelymenetelmien kilpailukyky - selvitys. [Verkkodokumentti]. 52 s. [Viitattu 5.11.2012]. ISBN 978-951-563-597-6 .

Saatavissa: <http://www.sitra.fi/julkaisut/muut/Lietteenk%C3%A4sittely.pdf>

Ritvanen Virpi et al. 2011. Logistiikan ja toimitusketjun hallinnan perusteet. Saarijärvi. Reijo Rautauoman säätiö. 252 s. ISBN 978-952-67347-1-2.

Schneider Electric. 2012a. Energiatohokkuuden toteutus – Tampereen Vesi. Luentomoniste 14.4.2012. Julkaisematon. [Viitattu 3.11.2012].

Schneider Electric. 2012b. MES 101. Luentomoniste 30.10.2012. Julkaisematon. [Viitattu 3.11.2012].

Suomen ympäristökeskus. 2011. Jätevesien puhdistus. [Suomen ympäristökeskuksen www-sivuilla]. [Päivitetty 13.6.2011]. [Viitattu 15.10.2012].

Saatavissa: <http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=48746>

Tampereen Vesi. 2012a. Tilastotiedot 2011. [Verkkodokumentti]. 40 s. [Viitattu 1.10.2012].

Saatavissa: http://www.tampere.fi/material/attachments/t/66qMrxny8/TampereenVesi_tilastotiedot.pdf

Tampereen Vesi. 2012b. Vuosikertomus ja ympäristöraportti 2011.[Verkkodokumentti]. 27 s. [Viitattu 1.10.2012].

Saatavissa:http://www.tampere.fi/material/attachments/v/66qHy0iY0/Tampereen_Vesi_toim_kert_2011.pdf

Tampereen Vesi. 2011. Puhtaan veden puolesta. [Verkkodokumentti]. 8 s. [Viitattu 1.10.2012].

Saatavissa:http://www.tampere.fi/material/attachments/t/5vg0ErvO1/Tampereen_Veden_yleis_esite.pdf

Tukiainen Jouni. 2010. Toiminnanohjausjärjestelmän laajentaminen tuotannonohjaukseen. Diplomityö. Lappeenrannan teknillinen yliopisto, Konetekniikan koulutusohjelma. Lahti. 63 s.

Tukiainen Tuija. 2009. Vesihuoltolaitosten kasvihuonekaasupäästöt Suomessa. Diplomityö. Teknillinen korkeakoulu, Insinööritieteiden ja arkkitehtuurin tiedekunta, Rakennus- ja ympäristötekniikan koulutusohjelma. Espoo. 139 s.

Saatavissa:http://www.google.fi/url?sa=t&rct=j&q=Tukiainen+Tuija&source=web&cd=10&cad=rja&ved=0CEoQFjAJ&url=http%3A%2F%2Fcivil.aalto.fi%2Ffi%2Ftutkimus%2Fvesi%2Fopinnaytteet%2Ftukiainen2009.pdf&ei=TcOkULLGO6T44Qs7oDgBg&usq=AFQjCNGJFqYli7pBJ-_GNdOOHL7tVFX-rw

Ukkonen Petri. 2012. Energiatohokkuuden parantaminen jäteveden ilmastuksessa. Sulzer Pumps Wastewater Finland Oy. [Esiteelmä 19.3.2012]. [Viitattu 9.11.2012].

Saatavissa:http://www.lut.fi/fi/energiatohokkuuspaivat/program/Documents/P_Ukkonen_Energiatohokkuuden%20parantaminen%20j%C3%A4teveden%20ilmastuksessa.pdf

Vilenius, Sinikka. 2012. Ruskon vedenpuhdistuslaitoksen laboratorioanalyttikko, Tampereen Vesi. Tampere. Ruskon vesilaitoksen esittely. 3.10.2012.

Vuorinen, Sini. 2012. Ruskon vedenpuhdistuslaitoksen käyttöinsinööri, Tampereen Vesi. Tampere. Haastattelu. 9.10.2012.