

Venla Aalto

**KÄYTÖSTÄ POISTUVAN JÄTEVEDEN-
PUHDISTAMON RAKENTEIDEN
HYÖDYNTÄMINEN VESILAITOKSEN
TOIMINNASSA**

Tapaustutkimus Lempäälän jätevedenpuhdistamo

Diplomityö
Tekniikan ja luonnontieteiden tiedekunta
Tarkastajat: Marja Palmroth, Jukka Rintala
Helmikuu 2024

TIIVISTELMÄ

Venla Aalto: Käytöstä poistuvan jätevedenpuhdistamon rakenteiden hyödyntäminen vesilaitoksen toiminnassa: Tapaustutkimus Lempäälän jätevedenpuhdistamo

Diplomityö

Tampereen yliopisto

Ympäristö- ja energiatekniikan DI-ohjelma

Helmikuu 2024

Jätevedenpuhdistamoiden lupaehtoja ollaan kiristämässä EU-tasolla puhtaampien vesistöjen puolesta. Lupaehtojen kiristyminen koskee jätevedessä olevia ravinteita, mutta uutena asiana puhdistamoille voidaan asettaa puhdistusvelvoitteita esimerkiksi mikromuoveille tai lääkeaineille. Vanhojen jätevedenpuhdistamoiden saneeraaminen uusien lupaehtojen täyttämiseksi on kallista, minkä takia usein päädytään monen pienemmän jätevedenpuhdistamon kehittämisen sijaan rakentamaan uusi yhteinen keskuspuhdistamo. Keskuspuhdistamon käyttöönoton jälkeen varsinaisen puhdistamotoiminta muilla puhdistamoilla loppuu ja samalla näiden puhdistamoiden infrastruktuuri jää pois käytöstä. Samalla tarve siirtyä lineaarisesta taloudesta kiertotalouteen kasvaa, ja kiertotalouden toimintamallit liittyvät myös vesilaitosten toimintaan.

Tämän työn tavoitteena oli selvittää, millä tavoilla vesilaitos voi hyödyntää käytöstä poistuvan jätevedenpuhdistamon rakenteita ja laitteita, ja millaisia etuja ja haittoja hyödyntämisellä voi olla. Työn tutkimusmenetelminä oli kirjallisuuskatsaus ja teemahaastattelu. Haastatteluaineisto analysoitiin teemoittamalla. Rakenteiden hyödyntämistä ja hyödyntämisen vaikutuksia tarkasteltiin tapaustutkimuksen avulla Lempäälän Vesi Oy:n jätevedenpuhdistamolla.

Tapaustutkimuksen puhdistamolla rakenteiden hyödyntämistä tutkittiin kolmen eri tutkimuskaskearion avulla. Ensimmäisessä skenaariossa puhdistamon ilmastusaltaaseen rakennetaan linjapumppaamo. Toisessa skenaariossa puhdistamon ilmastusaltaaseen rakennettavan linjapumppaamon lisäksi hyödynnetään altaita tasaus- ja varoaltaina. Kolmannessa skenaariossa jätevesi lisäksi esikäsitellään ennen pumppausta. Työssä vertailtiin eri skenaarioiden toteuttamisesta muodostuvia kustannuksia 5, 15 ja 30 vuoden kuluttua.

Käytöstä poistuvan jätevedenpuhdistamon rakenteiden hyödyntäminen on yksi keino edistää kiertotalouden toteutumista vesihuollossa. Mahdollisuuteen hyödyntää nykyisiä rakenteita ja laitteita vaikuttavat esimerkiksi niiden kunto ja jäljellä oleva käyttöikä. Lisäksi vesilaitoksen toimintaympäristö vaikuttaa oleellisesti siihen, onko rakenteiden hyödyntämiselle tarvetta, miten sitä voi toteuttaa ja onko se kannattavaa. Tällaisia tekijöitä ovat esimerkiksi viemäriverkoston koko, kunto ja toimintavarmuus, alueen maankäytön suunnitelmat ja uuden keskuspuhdistamon toiminta.

Tärkeimmiksi rakenteiden hyödyntämistavoiksi tunnistettiin jätevedenpuhdistamon altaiden hyödyntäminen sekä rakennusten ja yksittäisten laitteiden hyödyntäminen vesilaitoksen muussa toiminnassa. Tunnistetuista hyödyntämistavoista altaiden hyödyntämisellä oli selkeästi eniten vaikutuksia vesilaitoksen toimintaan. Altaita hyödyntämällä voidaan kasvattaa viemäriverkoston kapasiteettia ja tasata jäteveden virtaamaa siirtoviemäriässä, millä voidaan saavuttaa säästöä pump-pauksessa. Virtaaman tasaaminen hyödyttää myös keskuspuhdistamoa, sillä kuormitus pysyy tasaisena.

Käytöstä poistuvan jätevedenpuhdistamon rakenteiden hyödyntäminen vaatii aina tapauskoh-taisen arvion. Kun rakenteet ovat hyväkuntoisia, niiden hyödyntämiseksi tarvittavat toimenpiteet ovat vähäisiä. Tällöin vesilaitoksen on mahdollista saada säästöjä hyödyntämisen avulla. Säästöt voivat muodostua esimerkiksi pumppujen energiankulutuksesta ja siitä, että uutta rakennettavaa on vähemmän kuin tilanteessa, jossa vanhoja rakenteita ei hyödynnettäisi. Lempäälän jätevedenpuhdistamolle suositellaan altaiden hyödyntämistä linjapumppaamon yhteydessä. Tämän työn perusteella rakenteiden hyödyntämisen tarkastelua voidaan suositella myös tuleviin keskuspuh-distamohankkeisiin.

Avainsanat: Jätevedenpuhdistamo, keskuspuhdistamo, tasausallas, kiertotalous

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin OriginalityCheck –ohjelmalla.

ABSTRACT

Venla Aalto: Utilizing the structures of the decommissioned wastewater treatment plant in the operations of water utility: Case study Lempäälä's wastewater treatment plant

Master's Thesis

Tampere University

Master of Science (Technology) Degree Program in Environmental and Energy Engineering

February 2024

Wastewater treatment plant permit conditions are being tightened at the EU level in favor of cleaner water bodies. The stricter thresholds concern nutrients in wastewater, but as a new aspect, treatment obligations for microplastics or pharmaceuticals can also be set on the plants. Renovating old wastewater treatment plants to meet the new permit conditions is expensive, which often leads to the construction of a new centralized treatment plant instead of renovating multiple smaller treatment plants. After the introduction of the centralized plant, the actual treatment operations cease at other plants, and consequently, the infrastructure of these plants is left untapped. At the same time, there is a need to transfer from a linear economy to a circular one, and circular economy models are also related to the operations of water utilities.

This study aimed to investigate how a water utility can utilize the structures and equipment of a decommissioned wastewater treatment plant and what benefits and drawbacks such utilization may cause. The used research methods were a literature review and focused interview. The material obtained from the interviews was analyzed by thematizing. The utilization of structures and their effects were examined through a case study at the wastewater treatment plant of Lempäälän Vesi Oy.

In the case study, the utilization of the treatment plant's structures was examined through three different research scenarios. In the first scenario, a line pumping station is built into the treatment plant's aeration basin. In the second scenario, in addition to the line pumping station in the aeration tank, the other basins are utilized as equalization basins. In the third scenario, wastewater is pretreated before pumping. The costs of implementing different scenarios are compared after 5, 15 and 30 years.

Utilizing the structures of decommissioned wastewater treatment plants is one way to promote the realization of the circular economy in the water supply. The possibility of utilizing existing structures and equipment is influenced by various factors like their condition and remaining lifespan. Additionally, the operational context of the water utility plays a significant role in determining the need for, feasibility of, and profitability of utilizing these structures. For example, the size, condition, and reliability of the sewer network, land use plans in the area, and the operation of the new central treatment plant are crucial considerations in this manner.

The most important identified ways of utilizing structures were utilizing the treatment plant's basins as part of the sewer network and using both buildings and individual equipment in other operations of the water utility. Among these, using the basins had the most significant impact on the water utility's operations. By using the basins, the capacity of the sewer network can be increased and wastewater flow in the transfer sewer can be equalized, leading to savings in pumping costs. Equalized flow also benefits the centralized treatment plant by keeping the load steady.

Utilizing the structures of decommissioned wastewater treatment plants always requires a case-by-case assessment. When the structures are in good condition, the needed actions for their utilization are minimal. In such cases, the water utility can achieve savings through utilization. Savings may arise from reduced energy consumption of pumps and the requirement for less new construction compared to situations where old structures are not utilized. It is recommended that the Lempäälä wastewater treatment plant utilize the basins in connection with the line pump station. Based on this study, the examination of structure utilization can also be recommended for future central treatment plant projects.

Keywords: Wastewater treatment plant, central treatment plant, storage tank, circular economy

The originality of this thesis has been checked using the Turnitin OriginalityCheck service.

ALKUSANAT

Tämä diplomityö tehtiin yhteistyössä Lempäälän Vesi Oy:n kanssa aikavälillä huhtikuu 2023 – helmikuu 2024.

Haluan kiittää mielenkiintoisesta aiheesta ja saaduista neuvoista Lempäälän Veden toimitusjohtajaa Lasse Sampakoskea. Kiitokset Jukka Rintalalle ja Marja Palmrothille työni ohjaamisesta ja tarkistamisesta. Erityisesti haluan kiittää Marjaa konkreettisista vinkeistä työni parantamiseksi. Kiitokset myös jokaiselle haastatellulle omien kokemusten ja näkemysten jakamisesta, opin teiltä diplomityöprosessin aikana paljon.

Kiitokset kavereille, jotka teitte opiskeluajastani huisin hauskaa. Perheelle kiitos siitä, että olette aina kannustaneet minua opinnoissani. Suurin kiitos kuuluu kuitenkin Samille myötäelämisestä diplomityöprosessin aikana ja elämässä muutenkin.

Tampereella, 21.2.2024

Venla Aalto

SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO	1
2. TEOREETTINEN TAUSTA	3
2.1 Kiertotalous vesihuollossa.....	3
2.2 Viemäriverkoston toiminta ja kapasiteetti	5
2.3 Virtaaman tasaaminen ja viemäriverkoston viivytyrakenteet.....	7
2.4 Virtaaman vaihtelun vaikutukset jätevedenpuhdistamolla ja viemäriverkostossa.....	10
2.5 Jäteveden pumppaamolle soveltuvat esikäsittelyprosessit.....	11
2.5.1 Välppäys.....	12
2.5.2 Hiekkanerotus.....	13
2.6 Jätevesipumppaamot ja jäteveden pumppaaminen.....	16
2.7 Yhteenveto rakenteiden hyödyntämisestä.....	22
3. AINEISTO JA MENETELMÄT	23
3.1 Käytetyt aineistonkeruumenetelmät	23
3.2 Tulosten analysointimenetelmät.....	25
3.3 Tapaustutkimuksen kohde Lempäälän Vesi Oy.....	27
3.4 Skenaariot.....	29
3.4.1 Skenaario pumppaamo.....	30
3.4.2 Skenaario varoallas	30
3.4.3 Skenaario esikäsittely	31
3.5 Kustannusarvio	34
4. TEEMOITTELUN TULOKSET JA RAKENTEIDEN HYÖDYNTÄMISEN VAIKUTUSTEN ARVIOINTI.....	40
4.1 Tunnistetut hyödyntämisvaihtoehdot rakenteille	40
4.1.1 Haastatteluiden tuloksista muodostetut teemat.....	40
4.1.2 Lähtökohdat käytöstä poistuvan jätevedenpuhdistamon rakenteiden hyödyntämiselle	41
4.1.3 Jätevesiverkoston toimintavarmuuden lisääminen rakenteita hyödyntämällä	44
4.1.4 Altainen hyödyntäminen.....	47
4.1.5 Esikäsittely jätevedenpumppaamon yhteydessä	49
4.1.6 Prosessilaitteiden hyödyntäminen.....	50
4.1.7 Rakenteiden hyödyntämisen taloudelliset vaikutukset.....	52
4.2 Skenaarioihin sisällyttömät hyödyntämisvaihtoehdot.....	54
4.3 Eri skenaarioiden kustannusten vertailu	55
5. PARHAAT HYÖDYNTÄMISVAIHTOEHDOT	60
5.1 Yleistettävät tulokset	60
5.2 Soveltuvimmat hyödyntämisvaihtoehdot Lempäälän Vedellä	63
6. JOHTOPÄÄTÖKSET	66

LÄHTEET	69
LIITE A: HAASTATTELUISTA MUODOSTETTU KÄSITEKARTTA	74
LIITE B: ARVIOITU VIRTAAMAN KASVU JA SIIHEN PERUSTUVA SÄHKÖNKULUTUS	75
LIITE C: UUDEN PUMPPAAMORAKENNUKSEN LÄMMITYSENERGIAN TARPEEN LASKEMINEN	77
LIITE D: KUSTANNUSARVIOIDEN TULOKSET	80
LIITE E: OPINNÄYTETUTKIMUKSEN TIETOSUOJAILMOITUS	82

1. JOHDANTO

Suomessa suurin osa jätevedenpuhdistamoista on rakennettu 1960- ja 70-luvuilla (Juuti et al. 2017). Tämän takia osa jätevedenpuhdistamoista tai niiden teknisistä ratkaisuista ovat käyttökänsä päässä, ja uusille puhdistamoille tai mittaville saneerauksille on tarvetta. EU aikoo kiristää jätevedenpuhdistamoiden luparajoja asteittain vuoteen 2040, mikä osaltaan luo tarvetta parempaan puhdistustulokseen pystyville jätevedenpuhdistamoille (Euroopan komissio 2022). Tulevaisuudessa on myös mahdollista, että puhdistamoille tulee luparajoja esimerkiksi mikromuoveista tai tietyistä lääkeaineista (Pistocchi et al. 2022). Mikromuovien tai lääkeaineiden poistaminen jätevedestä edellyttää sellaista tekniikkaa, jota ei vanhoissa jätevedenpuhdistamoissa ole.

Uuden jätevedenpuhdistamon rakentaminen on suuri investointi erityisesti pienemmille kunnille, jolloin useamman kunnan tai kaupungin jätevedet käsittelevä keskuspuhdistamo voi olla taloudellisesti järkevämpi ratkaisu. Keskitetyn jäteveden käsittelyn on todettu vähentävän vesistöjen ravinne- ja kiintoainekuormitusta melko tehokkaasti verrattuna usean pienemmän jätevedenpuhdistamon toimintaan (SYKE 2021). Lisäksi vanhojen puhdistamoiden sulkeminen ja siirtyminen keskitettyyn jätevesien käsittelyyn parantaa pintavesistöjen hygieenistä tilaa ja vähentää vesistöjen roskaantumista (SYKE 2021).

Keskuspuhdistamon rakentaminen edellyttää usein muutoksia viemäriverkostoon, kuten uusien siirtoviemäreiden ja pumppaamoiden rakentamista. Käytöstä poistuvien jätevedenpuhdistamoiden rakenteet jäävät usein paikoilleen ja niiden hyödyntämisestä ei ole juurikaan tutkittua tietoa saatavilla. Suomen Vesilaitosyhdistys ry (myöhemmin VVY) on listannut strategiassaan yhdeksi tavoitteeksi olla kiertotalouden ja kestäväen kehityksen edelläkävijä (VVY 2024). Käytöstä poistuneiden jätevedenpuhdistamoiden rakenteiden hyödyntäminen voi olla yksi keino toteuttaa kiertotaloutta, sillä silloin olemassa olevien rakenteiden elinkaari pitenee tai rakenteille löydetään uusi käyttötarkoitus. Jätevedenpuhdistamoilla on yleensä useita rakennuksia, eri kokoisia altaita sekä lukuisia koneita ja laitteita, joita voi mahdollisesti hyödyntää jollain tapaa.

Tämän työn tavoitteena on selvittää varsinaisesta puhdistuskäytöstä poistuvien jätevedenpuhdistamoiden hyödyntämisen vaikutuksia 5, 15 ja 30 vuoden aikajänteellä. Hyö-

dyntämisen vaikutukset voivat olla joko positiivisia tai negatiivisia. Tarkasteltavat vaikutukset voivat liittyä prosessitekniikkaan, kunnossapitoon, operointiin, rakennus- ja ylläpitokustannuksiin sekä viemäriverkoston toimintaan. Toisin sanoen tarkoituksena on selvittää, onko rakenteiden tai laitteiston hyödyntäminen taloudellisesti tai prosessitekniisesti kannattavaa. Työn idea on peräisin Lempäälän Vesi Oy:ltä, sillä he haluavat selvittää nykyisen jätevedenpuhdistamonsa hyödyntämistä Tampereen Seudun Keskuspuhdistamon toiminnan aloittamisen jälkeen ja arvioida rakenteiden ja laitteiston hyödyntämisen kustannuksia varsinaisen puhdistustoiminnan loputtua.

Työn tutkimuskysymykset ovat:

- Millä tavoilla vesilaitos voi hyödyntää käytöstä poistuvan jätevedenpuhdistamon infrastruktuuria?
- Mitä etuja vesilaitokselle olisi vanhan jätevedenpuhdistamon rakenteiden hyödyntämisestä? Onko mahdollisia haittoja?
- Millaisia rakenteiden hyödyntämisen vaikutukset ovat 5, 15 ja 30 vuoden kuluttua?

Hyödyntämisenä nähdään tässä työssä esimerkiksi vanhan puhdistamon rakenteiden käyttö tasausaltaina tai pumppaamon imualtaana sekä yksittäisten prosessilaitteiden käyttö puhdistamotoiminnan lakattua. Prosessilaitteista tarkastellaan erityisesti vanhan puhdistamon esikäsittelylaitteiston hyödyntämismahdollisuuksia. Taloudellinen tarkastelu on keskeisessä osassa arvioitaessa hyödyntämisen vaikutuksia, sillä vesilaitoksilla on paljon taloudellista pääomaa kiinni jätevedenpuhdistamon infrastruktuurissa. VVY:n strategiassakin yksi tavoitteista on sisällyttää omaisuudenhallinta keskeiseksi osaksi vesilaitoksen johtamista (VVY 2024).

Työn toisessa luvussa on avattu teoreettista taustaa jätevedenpuhdistamon toimintaan vaikuttavista asioista, viemäriverkoston toimintaperiaatteista sekä jätevesipumppaamolle mahdollisesti soveltuvista esikäsittelymenetelmistä. Teoriaa on tarkasteltu erityisesti siitä näkökulmasta, mitä käytöstä poistuvan jätevedenpuhdistamon rakenteiden hyödyntäminen edellyttää. Kolmannessa luvussa kuvataan tutkimuksessa käytetyt aineistonkeruu- ja tutkimusmenetelmät sekä esitellään tapaustutkimuksessa käsitelty puhdistamo. Kolmannessa luvussa esitellään myös vertailua varten kehitetyt tutkimusskenaariot. Neljännessä luvussa käsitellään haastatteluiden tulokset sekä tarkastellaan teoriaosassa ja haastatteluissa esiin nousseiden tekijöiden pohjalta eri hyödyntämiskenaarioiden vaikutuksia. Viidennessä luvussa käsitellään parhaaksi tunnistetut hyödyntämisvaihtoehdot yleistettävällä tasolla ja lisäksi esitetään toimenpide-ehdotuksia kohdepuhdistamolle. Viimeisessä luvussa esitetään työn johtopäätökset.

2. TEOREETTINEN TAUSTA

Ensimmäisessä alaluvussa käsitellään kiertotaloutta vesihuollossa. Seuraavassa alaluvussa käsitellään viemäriverkoston toimintaan vaikuttavia tekijöitä. Jätevedenpuhdistamon rakenteiden hyödyntämisen näkökulmasta on keskeistä tarkastella viemäriverkoston toimintaa kokonaisuutena, jotta voidaan tunnistaa vaikuttavimmat keinot hyödyntää vanhan puhdistamon rakenteita viemäriverkoston kannalta. Kolmannessa alaluvussa käsitellään jätevesiverkostoissa käytettyjä virtaaman tasausrakenteita. Neljännessä alaluvussa tarkastellaan virtaaman vaihtelun aiheuttamia vaikutuksia jäteveden puhdistusprosesseille sekä niiden seurauksia. Viidennessä alaluvussa käsitellään sellaisia jäteveden käsittelyprosesseja, jotka voivat soveltua esikäsittelyprosesseiksi puhdistamon lisäksi myös jäteveden pumppaamoille. Tässä alaluvussa käsitellään myös esikäsittelyprosesseiksi soveltuvien prosessien mitoitusta ja suunnittelua, sillä on tärkeä ymmärtää prosessien toimiminen olosuhteiden muuttuessa. Kuudennessa alaluvussa käsitellään jätevesipumppaamojen suunnittelukriteereitä ja jäteveden pumppaamista. Viimeisessä alaluvussa on lyhyt yhteenveto tunnistetuista hyödynnettävistä rakenteista ja niiden hyödyntämistavoista.

2.1 Kiertotalous vesihuollossa

Kiertotalouden idean voi tiivistää kolmeen peruseriaatteeseen: jätteiden ja saasteiden syntymisen poistamiseen suunnitteluratkaisuilla, resurssien kierrossa pitämiseen ja luonnon systeemien uudistamiseen (Ellen MacArthur Foundation 2024). Kiertotaloutta noudattava liiketoiminta voidaan jakaa viiteen eri liiketoimintamalliin, joita ovat uusiutuvuus, jakamisalustat, tuotteet palveluna, elinkaaren pidentäminen ja resurssitehokkuus ja kierrätys (Sitra 2019). Kiertotalouteen liittyy oleellisesti myös etusijajärjestys, jonka mukaan on ensisijaisesti pyrittävä välttämään jätteen muodostumista. Jos se ei ole mahdollista, tuote pitäisi käyttää uudelleen sellaisenaan. Mikäli uudelleenkäyttö ei ole mahdollista, tulee jäte kierrättää ensisijaisesti materiaalina ja toissijaisesti energiana. Vain sellainen jäte voidaan sijoittaa kaatopaikalle, jonka hyödyntäminen ei ole teknisesti mahdollista. (Ympäristöministeriö 2024)

Vesihuollon osalta kaikki kiertotalouden peruseriaatteet ja liiketoimintamallit ovat sovellettavissa käytännön toimintaan. Vesihuollossa kiertotaloutta on tarkasteltu paljon veden kierron ja riittävyden kautta, ja jäteveden käsittelyssä kiertotalouden tutkiminen on keskittynyt jätevedessä olevien ravinteiden ja energiantuotantopotentiaalin hyödyntämiseen

(EEA 2022). Vesihuoltoon liittyvän infrastruktuurin kiertotalouden tarkastelu on ollut vähäisempää. Kun rakennetaan uusi keskuspuhdistamo, yleensä useampi jätevedenpuhdistamo poistuu käytöstä. Käytöstä poistuvilla jätevedenpuhdistamoilla on paljon materiaalia, minkä hyödyntämistä tulisi tarkastella nykyistä enemmän käytettyjen resurssien kierrossa pitämiseksi. Etusijajärjestyksestä erityisesti jätteen määrän vähentäminen, uudelleenkäyttö ja uusiokäyttö liittyvät käytöstä poistuvan jätevedenpuhdistamon tapaukseen.

Esimerkiksi urban mining -ajattelutapaa voisi soveltaa vanhoille jätevedenpuhdistamoille. Urban mining tarkoittaa käytetyistä tavaroista, laitteista tai rakennuksista saatavien materiaalien käyttämistä uudelleen (Xavier et al. 2023). Ajatusta on jalostettu erityisesti harvinaisten metallien keräämiseen esimerkiksi elektroniikasta, mutta urban mining-toimintamallia on tutkittu myös rakennuksille ja sen on todettu olevan keino vähentää rakentamisen päästöjä ja toisaalta myös neitseellisten materiaalien käyttöä (Koutamanis et al. 2018, Arora et al. 2021). Esimerkiksi metalliset putket todettiin arvokkaiksi uudelleenkäytettäviksi tai kierrätettäviksi rakennusosiksi (Koutamanis et al. 2018). Keskimäärin teollisuusrakennuksissa on enemmän metalleja kuin asuinrakennuksissa (Koutamansi et al. 2018). Jätevedenpuhdistamon purkujätteistä betonin ja metallien kierrätyksellä on todettu olevan ympäristöhyötyjä: purkujätteen kierrättäminen vähensi ympäristövaikutuksia 18,8 %, vähensi mineraalipulaa 3,9 % ja vähensi kasvihuonekaasupäästöjä 1,4-kertaisesti verrattuna tilanteeseen, jossa purkujätettä ei kierrätetty (Nguyen et al. 2021). Nguyen ja muiden (2021) tutkimuksessa tarkasteltiin materiaalien kierrätystä purettavalla jätevedenpuhdistamolla, joten kyse ei ollut suoraan rakenteiden hyödyntämisestä. Voi kuitenkin olettaa, että jos esimerkiksi altaiden ja nykyisten prosessirakennusten hyödyntämisellä voidaan vähentää uusiorakentamista, myös vaikutus kasvihuonekaasupäästöihin on samansuuntainen.

Jätevedenpuhdistamon olosuhteet luovat omat haasteensa materiaalien ja prosessitilojen uudelleenkäytölle ja uusiokäytölle. Esimerkiksi rautaa sisältävissä metalliosissa voi ilmetä rikkihapon aiheuttamaa korroosiota, kuten betonisissa altaissakin (Hewlett 2003, s. 327). Rikkihappoa muodostuu, kun anaerobisissa oloissa elävien bakteerien jätevedestä muodostamaa rikkivetyä vapautuu ilmaan (Hewlett 2003 s. 327, RIL 2010b s.112). Lisäksi rakennusosat kuten putket voivat olla pinttynettä, jolloin uudelleenkäyttö samassa käyttötarkoituksessa ei välttämättä ole mahdollista heikentyneen toimivuuden takia. Toisaalta ruostuneetkin teräsrakenteet voidaan kierrättää materiaalina sulattamalla ne uudelleen (Di Maria et al. 2018). Koska jätevedenpuhdistamon olosuhteet tiedetään, ne osataan huomioida jätevedenpuhdistamon rakenteita suunnitellessa, ja valittujen ma-

teriaalien voi olettaa kestävän jätevedenpuhdistamolla vallitsevia olosuhteita. Jätevedenpuhdistamon allasrakenteiden suunniteltu elinkaari on hyvin pitkä, jopa 50 vuotta (Raghuvanshi et al. 2017). Tällöin voi olettaa, että erityisesti alle 50 vuotiailla jätevedenpuhdistamoilla on potentiaalisia rakenteita hyödynnettäväksi.

Ruotsissa vanhan jätevedenpuhdistamon altaita käyttämällä on voitu vähentää uusien tasausaltaiden rakentamisen tarvetta (Valkonen et al. 2021). Suomessa joissain kaupungeissa vanhoja puhdistamorakenteita on hyödynnetty tai niiden hyödyntämistä on mietitty (Ahdelma 2023, Porvoon kaupunki 2023). Toisaalta useammassa suomalaisessa kaupungissa vanha jätevedenpuhdistamo on päädytty purkamaan esimerkiksi asutuksen tieltä (Ahdelma 2023, Airamaa 2023, Porvoon kaupunki 2023, Tampereen kaupunki 2024).

2.2 Viemäriverkoston toiminta ja kapasiteetti

Jätevedenpuhdistamon voidaan ajatella toimivan yhtenä viemäriverkoston osana. Tämä näkökulma on keskeinen lähtökohta, kun mietitään vanhojen jätevedenpuhdistamoiden rakenteiden hyödyntämistä ja hyödyntämisen vaikutuksia. Kun mietitään käytöstä poistuvan jätevedenpuhdistamon tarjoamia mahdollisuuksia viemäriverkoston toiminnan kannalta, esiin nousee verkoston hydraulinen kapasiteetti. Perinteisesti viemäriverkoston kapasiteetti koostuu putkiverkoston, tarkastuskaivojen ja pumppaamoiden tilavuudesta (RIL 2010a s.122). Jätevedenpuhdistamon kapasiteetti koostuu puolestaan pääasiassa altaiden tilavuudesta. Jätevedenpuhdistamot mitoitetaan niin, että käsiteltävä jätevesi viipyy puhdistamolla tietyn ajan käytettävien yksikköprosessien mukaan. Esimerkiksi esiselkeytysaltaissa jäteveden viipymä on tavallisesti 1–2,5 tuntia (Davis 2020 luku 21–4). Aktiivilieteprosessissa jäteveden viipymä vaihtelee välillä 5–24 tuntia prosessiolosuhteiden, kuten lämpötilan sekä jätevedessä olevien orgaanisen aineksen ja ravinteiden määrän mukaan (Reif et al. 2013 s. 300) Tyypillinen jäteveden viipymä jatkuvaa aktiivilieteprosessia käyttävälle jätevedenpuhdistamolle on siten noin 1 vuorokausi. Se tarkoittaa, että puhdistamon altaiden tilavuus on suurin piirtein yhtä suuri kuin vuorokauden tulovirtaama.

Suomessa on pääasiassa erillisviemäröityjä verkostoja, mutta etenkin suurimmissa kaupungeissa on edelleen myös sekaviemäreitä. Sekaviemäröinti tarkoittaa jäte- ja hulevesien johtamista samaan verkostoon, kun taas erillisviemäröinnissä hule- ja jätevedet johdetaan omiin verkostoihinsa (RIL 2010a s. 116–117). Hulevesi tarkoittaa rakennetun ympäristön pinnoilta kertyviä sade- ja sulamisvesiä. Sekaviemäreistä on pyritty eroon verkostoa saneeraamalla, eikä niitä enää rakenneta Suomessa. Sekaviemäreiden määräksi

Suomessa on arvioitu noin 5 %, mutta tarkkaa tietoa ei ole saatavilla (Laitinen et al. 2022).

Viemäriverkoston mitoittamisessa huomioidaan viemäritäältä alueelta syntyvän jäteveden määrän lisäksi myös vuotovesien määrä (RIL 2010b s. 47). Vuotovedellä tarkoitetaan viemäriin päätyvää pinta- tai pohjavettä, joka pääsee verkostoon siinä olevien rakojen, liitosten, halkeamien ja mahdollisten viallisten kohtien kautta (RIL 2010a s. 17). Uudet viemäriverkostot rakennetaan erillisviemäröintinä. Vuotovesien määrä huomioidaan myös erillisviemärijärjestelmässä, sillä käytännössä niissäkin esiintyy vuotovesiä (RIL 2010b s. 47). Erillisviemäroityihin verkostoihin hulevesiä päätyy erityisesti vanhoilta asutusalueilta, missä hulevedet on usein ohjattu jätevesiviemäriin. Myös luvattomat hule- tai kuivatusvesien liitokset kiinteistöjen tonteilla ovat syynä hulevesien päätymiselle jätevesiviemäriin (Laitinen et al. 2022). Ongelmia voi syntyä virtaaman kasvaessa hetkellisesti normaalia suuremmaksi, jolloin kaikki verkostossa oleva jätevesi ei pääse virtaamaan eteenpäin tarpeeksi nopeasti ja vedenpinta nousee esimerkiksi kaivoissa ja pumppaamoilla.

Viemäriverkoston kapasiteetti on keskeinen tekijä viemäriverkoston toimivuuden kannalta. Verkostoon päätyvät hulevedet vievät verkoston kapasiteettia niin erillis- kuin sekaviemärialueilla ja siten heikentävät verkoston toimintavarmuutta (Valkonen et al. 2021). Viemäriverkostoon pääsevät vuotovedet voivat aiheuttaa ylivuotoja jätevedenpumppaamoilla esimerkiksi keväällä sulamisvesien aikaan ja rankkasateilla. Verkoston täyttymisestä johtuvat ylivuodot voivat johtua pumppujen tai verkoston kapasiteetin ylitymisestä tai pumppujen toimintahäiriöstä (RIL 2010a s.155). Rakentamalla tasausaltilta pystytään kasvattamaan verkoston kapasiteettia ja ehkäisemään viemäreiden tulvimista (RIL 2010a s. 158). Tasausaltilden rakentaminen on yleensä kustannustehokkaampaa kuin alueen pääviemäriin uudelleenrakentaminen (Karttunen et al. 2004 s. 486). Tällöin riski ylivuodoille pienenee olettaen verkoston tilavuuden olleen rajoittavampi tekijä kuin pumppujen kapasiteetti tai toiminta.

Suomen viemäriverkostosta noin 70 % on rakennettu 1970 luvun jälkeen, mutta verkoston kunnossapitoon investoidaan liian vähän, mikä kasvattaa riskiä vuotovesille (RIL 2010a s.124). Ilmastonmuutoksen on ennustettu vaikeuttavan erityisesti huonokuntoisten verkostojen tilannetta, sillä rankkasateiden ja siten myös viemäriin päätyvien vuotoja hulevesien määrän on ennustettu kasvavan Pohjois-Euroopan maissa (IPCC 2021). Lisäksi ilmastonmuutoksen myötä lumisateiden on ennustettu tulevan useammin vetenä, mikä tarkoittaa hulevesien muodostumista nykyistä enemmän myös talviaikaan (Meriläinen et al. 2019, Laitinen et al. 2022). Talvella muodostuvien hulevesien määrän lisäksi toinen jätevedenpuhdistusta haittaava tekijä on hulevesien alhainen lämpötila (Vienonen

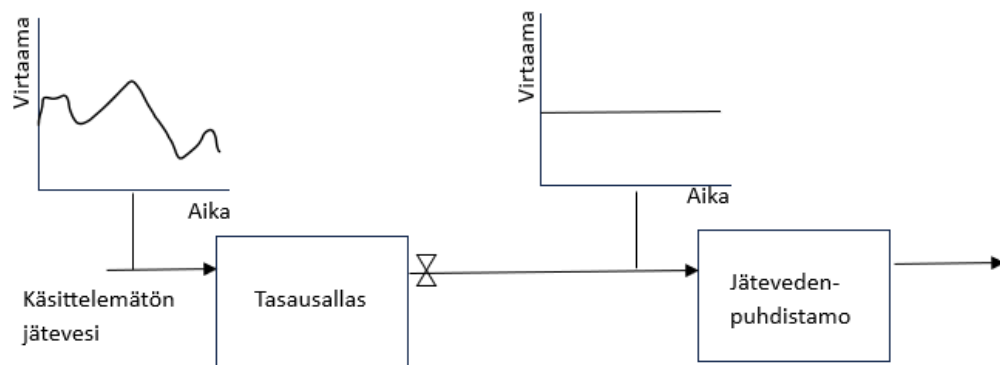
et al. 2012). Ilmastonmuutos aiheuttaa erityisesti haasteita sekaviemäröidyillä alueilla rankkasateiden yleistyessä ja sateen intensiteetin voimistuessa (RIL 2010a s. 120, Lund et al. 2020).

Edellä mainittujen asioiden takia virtaama viemäriverkostossa vaihtelee melko paljon. On tutkittu, että jopa 95 % vuosina 2004–2009 tapahtuneista virtaamapiikeistä oli sadan tai lumen sulamisen seurausta Suomenojan, Viinikanlahden ja Riihimäen jätevedenpuhdistamoilla (Vienonen et al. 2012). Vuotovesien määrä on siis merkittävä tekijä viemäriverkoston toiminnallisuuden ja kapasiteetin riittävyyden kannalta. Verkoston saneeraaminen on tehokas, mutta kallis keino hillitä virtaaman vaihtelua (Karttunen et al. 2004 s. 486). Siksi täytyy tarkastella myös muita keinoja, kuten virtaaman tasausrakenteita.

2.3 Virtaaman tasaaminen ja viemäriverkoston viivytyrakenteet

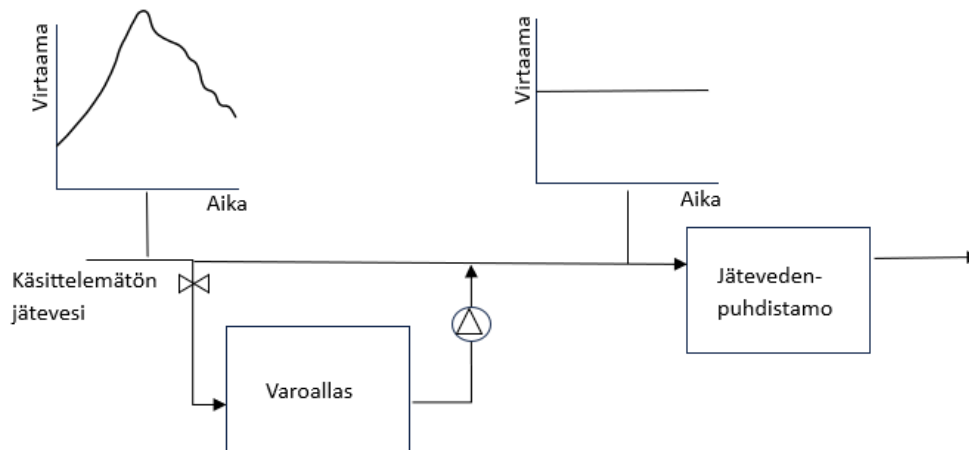
Sekaviemäriverkostossa voimakas virtaaman vaihtelu kuuluu verkoston toimintaan, joten useissa paikoissa on käytössä maanalaisia tasaussäiliöitä tai -altaita (engl. storage tank) (Saagi et al. 2015, Rathnayake & Faisal Anwar 2019). Jätevedenpuhdistamon yhteydessä olevasta tasausrakenteesta puhutaan myös tasausaltaana (engl. equalizing tank) (Davis 2020 luku 20–7). Näiden tasausrakenteiden tarkoituksena on tasoittaa huipuvirtaamia viemäriverkostossa ja siten ehkäistä ylivuotoja ja pienentää virtaaman vaihtelun vaikutuksia jätevedenpuhdistamolla. Koska myös erillisviemäröityihin jätevesiverkostoihin päätyy hulevesiä, on perusteltua tarkastella tasaussäiliöiden käyttöä erillisviemäriverkostoissa. Tasauksen tarpeeseen vaikuttavia tekijöitä ovat viemäreiden kunto, viemäritävän alueen koko ja yhdyskunnan elinkeinorakenne (RIL 2010a s.122). Teollisuuden vedenkäytön seurauksena voi viemäriin päätyvä jäteveden määrä vaihdella voimakkaasti, mikä lisää virtaaman tasaamisen tarvetta (RIL 2010b s.46).

Sekaviemäriverkostossa olevista maanalaisista altaista käytetään myös termiä viivytyksallas (Valkonen et al. 2021). Viivytyksallas viittaa erillisviemäröidyssä järjestelmässä enemmän hulevesiverkoston rakenteisiin, joten tässä työssä puhutaan tasaus- ja varoaltaista. Viemäriverkostoissa virtaaman tasausrakenteita on kahta eri tyyppiä: tasausaltaita (engl. on-line tank) ja varoaltaita (engl. off-line tank) (Rathnayake & Faisal Anwar 2019). Tasausallassa sijaitsee esimerkiksi kaivon tai pumppaamon välittömässä läheisyydessä, jolloin sen kapasiteetti on koko ajan käytettävissä ja jätevesi pääsee säiliöön joko vapaasti tai ylivuotorakenteen kautta (Kuva 1). Tasausallassa usein tyhjenee painovoimaisesti ja altaan tyhjentymistä ohjataan venttiilillä. (Saagi et al. 2015)



Kuva 1. *Tasausaltaalla voidaan tasoittaa jätevedenpuhdistamolle tulevaa virtaamaa (mukailtu lähteistä Karttunen et al. 2004 s.38 & Saagi et al. 2015).*

Tasausallas voi olla päivittäisessä käytössä tasaamassa vuorokausivirtaamaa, kun taas varoallas otetaan käyttöön esimerkiksi rankkasateen tai huoltokatkon ajaksi. Jäteveden pääsyä varoaltaaseen ohjataan venttiilillä ja tällainen säiliö voidaan ottaa käyttöön tilanteen mukaan (Kuva 2). Varoallas ei tyhjene itsestään, vaan tyhjentäminen toteutetaan pumpulla. (Saagi et al. 2015) Tyhjentäminen on mahdollista myös venttiilillä, mikäli varoaltaan pohja sijaitsee korkeammalla kuin purkuyhde. Varoallasta tyhjennetään verkostoon, kun pahin kuormitustilanne on ohi ja jätevedenpuhdistamon tulovirtaama on palannut normaaliksi (Rathnayake & Faisal Anwar 2019). Varoallas voi sijaita kauempana verkostosta, jolloin se voi olla tiheästi rakennetulla alueella parempi viivytyksratkaisu kuin suoraan linjassa sijaitseva tasausallas (Rathnayake & Faisal Anwar 2019).



Kuva 2. Varoaltaalla voidaan tasoittaa virtaamapiikkejä esimerkiksi rankkasateiden aikana (Mukaiilu lähteistä Karttunen et al. 2004 s. 38 & Saagi et al. 2015).

Suurien kaupunkien viemäriverkostoissa voi olla sekä tasaus- että varoaltaita, jolloin käytettävissä on niiden molempien hyödyt (Rathnayake & Faisal Anwar 2019). Lisäksi altaita voi olla monta rinnakkain, jolloin ylivuotoja voidaan ehkäistä tehokkaammin ja virtaamaa tasata pidempään (Valkonen et al. 2021). Toisaalta suuret altaat virtaaman tasaamiseen vievät paljon tilaa ja ovat kalliita rakentaa. Ruotsissa käytöstä poistettujen jätevedenpuhdistamoiden altaita on käytetty tulvapiikkien tasausaltaina sellaisissa paikoissa, joissa vanhasta jätevedenpuhdistamosta on muokattu pumppaamo (Valkonen et al. 2021).

Tasausrakenteet voivat sijaita viemäriverkostossa kauempana jätevedenpuhdistamosta, ja ne voivat olla varta vasten rakennettuja altaita tai lammikoita. Tasausaltaan tulisi olla muodoltaan sellainen, että altaaseen tuleva jätevesi etenee tasaisesti kohti purkuputkea. Pitkiä suorakaiteen muotoisia altaita tulisi välttää, sillä niissä kiintoaine alkaa laskeutua ilman sekoitusta. Altaan tulo- ja poistoputken sijainti tulisi valita myös niin, että altaaseen tulevan jäteveden viipymä on mahdollisimman tasainen. (Davis 2020 luku 20-7-3) Tällöin jätevesi vaihtuu altaassa tasaisemmin, mikä ehkäisee jäteveden muuttumista anaerobiseksi.

Jätevesiverkoston tasausaltaissa tarvitaan sekoittimia kiintoaineen laskeutumisen ja hajuhaittojen ehkäisemiseksi (Davis 2020 luku 20-7-3). Jäteveden sekoittamisessa veteen sekoittuu myös hieman ilmaa, mikä ehkäisee rikkivedyn H_2S muodostumista jätevedessä. Ilmaan vapautuessaan rikkivety hapettuu rikkihapoksi, mikä aiheuttaa korroosiota betoni- ja teräsrakenteissa (Hewlett 2003 s. 327, RIL 2010b s.112). Satunnaisesti käytettävissä varoaltissa sekoittimet eivät ole yhtä välttämättömät kuin jatkuvassa käytössä

olevilla tasausaltaissa. Jos altaan tyhjentäminen tapahtuu pumpulla, on pumpulle johtavan poistoputken hyvä sijainti lähellä sekoitinta (Davis 2020 luku 20-7-3). Tällöin pumpulle päätyvä jätevesi on mahdollisimman tasalaatuista. Roskien kertymistä tasausaltaaseen voidaan ehkäistä esimerkiksi välillä (Karttunen et al. 2004 s. 53).

Käytöstä poistuvan jätevedenpuhdistamon altaiden hyödyntäminen virtaaman tasaamiseksi vaikuttaa teorian perusteella olevan mahdollista ja yksittäisiä esimerkkejäkin on olemassa. Hyödyntämisessä tulee huomioida, että altaan muoto ei välttämättä ole optimaalinen jäteveden viivyttämiseen. Esimerkiksi jäteveden sekoittaminen on perusteltua, jotta voidaan estää kiintoaineen laskeutumista.

2.4 Virtaaman vaihtelun vaikutukset jätevedenpuhdistamolla ja viemäriverkostossa

Jätevedenpuhdistamot suunnitellaan toimivaksi tietyn suuruisilla virtaamilla. Tämän seurauksena normaalista poikkeava virtaaman vaihtelu vaikuttaa puhdistusprosessien toimintaan haitallisesti. Siksi usealla jätevedenpuhdistamolla virtaamaa pyritään tasaamaan tulotunnelissa tai verkostossa sijaitsevissa tasausaltaissa ennen sen johtamista varsinaisiin puhdistusprosesseihin (Laitinen et al. 2014). Virtaaman tasaamisen lisäksi myös jäteveden laatu tasaantuu, jolloin kuormituspiikit jätevedenpuhdistamolle vähenevät (Laitinen et al. 2014). Jätevedenpuhdistamoilla biologiseen hajoamiseen perustuva aktiivilieteprosessi on erityisen herkkä prosessi virtaaman ja lämpötilan muutoksille (Koivuranta et al. 2017). Hulevedellä laimentuneen jäteveden alhaisempi lämpötila hidastaa yhdisteiden biologista hajoamista ja typenpoistoprosessia (Gerardi 2016). Suomessa lumen sulamisvedet ovat merkittävä typenpoistotehoon vaikuttava tekijä, sillä sulamisveden lämpötila on alhainen ja virtaamat voivat hetkellisesti olla suuria (Vienonen et al. 2012).

Nitrifikaation tehokkuus laskee jäteveden lämpötilan laskiessa ja esimerkiksi lämpötilan laskeminen 15 °C:sta 10 °C:n laskee nitrifikaation tehoa noin 30 %-yksikköä (Gerardi 2016). Alhaisen lämpötilan on todettu vaikuttavan myös aktiivilietteen rakenteeseen ja laskeutumisominaisuuksiin haitallisesti. Aktiivilieteprosessissa muodostuvat flokit ovat talvisin veden lämpötilan ollessa noin 12 °C kooltaan pienempiä ja muodoltaan pitkulaisempia kuin yli 18 °C:n lämpötiloissa. Flokkien koko ja muoto vaikuttavat lietteen laskeutumiseen. (Koivuranta et al. 2017) Mikäli aktiiviliete ei laskeudu jälkiselkeytyksessä, on mahdollista, että lietettä huuhtoutuu purkuvesistöön (Vienonen et al. 2012). Lämpötilan laskun lisäksi virtaaman kasvu lyhentää jäteveden viipymäaika, jolloin lyhyempi viipymä

heikentää nitrifikaatiotulosta (Gerardi 2016). Näiden tekijöiden takia ohitus tehdään jätevedenpuhdistamolla usein ennen biologista prosessia mikrobitoiminnan varmistamiseksi ja aktiivilietteen säilyttämiseksi.

Puhdistamatonta jätevettä voi päätyä ympäristöön seuraavista syistä: putkirikkojen kautta, ylivuotona kaivoista ja jätevedenpumppaamoilta tai ohituksena jätevedenpuhdistamoilta. Viemäriverkoston ylivuoto tai jätevedenpuhdistamon ohitus on useimmiten seurausta rankkasateista ja hulevesien pääsystä viemäriverkostoon (Owolabi et al. 2021). Jätevedenpuhdistamolla ohitus tehdään useimmin juuri biologisen prosessin toiminnan suojelemiseksi. Muita tunnistettuja syitä ylivuodoille ja ohituksille Siintoharjun (2017) tutkimuksessa olivat sähkökatkot, laiterikot, putkitukokset, huoltotoimenpiteet ja saneeraukset.

Puhdistamaton jätevesi kuormittaa vesistöjä ja aiheuttaa ihmisille terveysriskejä. Suomessa jätevedenpuhdistamoiden ohitusten aiheuttama ravinnekuormitus purkuvesistöihin on noin yhden prosentin kokonaiskuormituksesta (Castren 2015). Tämä johtuu siitä, että ohijuoksuutettu jätevesi on usein laimeaa. On kuitenkin huomattu, että yksittäisen jätevedenpuhdistamon ohitus voi aiheuttaa melko suurenkin osan, jopa 20 %, purkuvesistön kokonaiskuormituksesta (Siintoharju 2017). Satunnainenkin jätevesipäästö voi siten aiheuttaa merkittäviä paikallisia ympäristö- tai terveysriskejä, jos vesistö on herkkä pilaantumiselle, vesistössä on uimarantoja tai vedenottamo (Laitinen et al. 2022). Erityisesti purkuvesistön hygieeninen laatu voi hetkellisesti heikentyä ja rajoittaa vesistön virkistyskäyttöä (Castren 2015). Viiveellä havaittavia ympäristövaikutuksia voivat olla vesistön happipitoisuuden lasku ja kohonneesta fosforipitoisuudesta seuraava rehevöityminen (Castren 2015). Ympäristövaikutusten laajuus ja kesto riippuvat esimerkiksi ohitetun jäteveden määrästä ja laadusta, ohitusten lukumäärästä sekä purkuvesistön tilasta. Vesistöjen keskilämpötila nousee ilmastonmuutoksen seurauksena, jolloin rehevöitymisen vaikutukset voimistuvat Suomen matalissa järvissä (Laitinen et al. 2022). Sitä vesistöjen hyvän ekologisen tilan ylläpitämiseksi on tärkeää pystyä minimoimaan jätevesien ohituksesta aiheutuvat satunnaispäästöt.

2.5 Jäteveden pumppaamolle soveltuvat esikäsittelyprosessit

Viemäriverkostoon päätyy paljon sinne kuulumattomia asioita, kuten vuotovesiä, hiekkaa ja roskia, ja nämä kaikki kulkeutuvat lopulta jätevedenpuhdistamolle. Viemäriin kuulumattomat asiat voivat aiheuttaa tukoksia viemäriverkostossa ja haitata jäteveden käsittelyprosessia (Karttunen et al. 2004 s. 53). Suurimmat roskat ja hiekka poistetaan jätevedenpuhdistamolla esikäsittelyprosesseissa, joita ovat välppäys ja hiekanerotus. Li-

säksi suuremmilla jätevedenpuhdistamoilla esikäsittelyprosessina voi olla myös esiilmastus, rasvanerotus tai tulovirtaaman säätely. (Karttunen et al. 2004 s. 498) Esikäsittelyprosessien tarkoituksena on ensisijaisesti suojata myöhempiä prosessilaitteita, kuten pumppuja, tukoksilta ja kulumiselta. Tästä näkökulmasta ajatellen esikäsittelyprosessit sopivat hyvin myös jäteveden pumppaamoille. Käytöstä poistuvan jätevedenpuhdistamon esikäsittelyn hyödyntäminen esimerkiksi siirtoviemäripumppaamon esikäsittelynä vaatii valvontaa ja kunnossapitoa sekä virtaaman muuttuessa myös mahdollisia muutoksia mitoittamiseen. Seuraavaksi tarkastellaan välppäyksen ja hiekanerotuksen toiminnallisuuden reunaehtoja.

2.5.1 Välppäys

Jätevesivälppät voidaan jakaa harvoin ja tiheisiin välppiin sauvavälin etäisyyden mukaan. Joskus puhutaan myös karkea- ja hienovälpiä. Karkeavälpien sauvaväli on yli 6 mm ja kohteen mukaan se voi olla jopa 50 mm (Metcalf & Eddy 2014 s. 311). Hienovälpien säleväli on 0,5–6 mm (Metcalf & Eddy 2014 s.311). Välpällä poistetaan jätevedestä suurikokoista kiintoainesta ja kelluvia roskia kuten muoveja. Jätevedenpuhdistamoilla olevat välppät ovat nykyään koneellisesti puhdistettavia ja varsin pitkälle automatisoituja. Mekaanisesti itseään puhdistava välppä tarvitsee säännöllistä huoltoa toimiakseen parhaalla mahdollisella tavalla. Välppässä on aina olemassa riski tukkeutumiselle tai muulle vikaantumislle, jolloin kunnossapitohenkilökuntaa täytyy olla poikkeustilanteen sattuessa saatavilla. Suomen jätevedenpuhdistamoilla karkeavälpiä säleväli on yli 6 mm ja hienovälpiä yleensä 3 mm parhaan käyttökelpoisen tekniikan mukaisesti (Laitinen et al. 2014).

Välpillä on muutamia toimintavaatimuksia, joista keskeinen tekijä on veden virtausnopeus välpiä läpi. Hyvän välppäystuloksen saamiseksi virtausnopeuden tulisi sauvojen välissä olla 0,3–1,0 m/s (Metcalf & Eddy 2014 s.313). Suurempi kuin 1,0 m/s virtausnopeus voi aiheuttaa erotettavan materiaalin puristumisen välpiä läpi (Karttunen et al. 2004 s. 55). Liian alhaisella virtausnopeudella vettä tiheämmät partikkelit puolestaan laskeutuvat välppäkanavan pohjalle ja voivat kerryttää tukoksen (Karttunen et al. 2004 s. 501, Davis 2020 luku 20–4).

Jätevedenpuhdistamossa virtausnopeus välpiä läpi on mitoitettu kanavan leveyttä ja syvyyttä säätämällä. Virtaama tulisi saada mahdollisimman tasaisella nopeudella koko välpipinnan läpi, jotta mahdollisimman paljon jätettä saataisiin poistettua (Karttunen et al. 2004 s. 501). Tarkasteltaessa vanhan jätevedenpuhdistamon välpiä hyödyntämistä täytyy vanhojen välpiä ja välppäkanavan koko huomioida etenkin, jos virtaama muuttuu.

Virtaaman pienentyessä on riskinä liian alhainen virtausnopeus, mikäli kanavaa ei esimerkiksi kavenneta. Myös välpistä syntyvä painehäviö täytyy huomioida mitoituksessa. Alle 10 mm sälevälillä varustetulla välpällä syntyy painehäviötä ja se täytyy huomioida, jottei virtausnopeus pääse laskemaan välpän jälkeen liian alhaiseksi (Karttunen et al. 2004 s. 501, Davis 2020 luku 20–4).

Välpejäte kerätään tavallisesti suljetulle metalliselle kuormalavalle. Välppäysjätteen käsittelyssä on tärkeää kiinnittää huomioita käsittelyn toimintavarmuuteen ja hajuhaittojen ehkäisyyn. Etenkin isoimmilla jätevedenpuhdistamoilla muodostuva välpejäte pestään välpepesurilla ja puristetaan kuivemmaksi välpepuristimella ennen kuormalavalle siirtoa (Laitinen et al. 2014). Tällöin välpejätteen hajuhaitat ovat paremmin hallittavissa ja jätteen tilavuus pienenee, kun ylimääräinen vesi poistetaan. Välppäysjäte sisältää runsaasti patogeenejä ja haisevia orgaanisia yhdisteitä, minkä vuoksi sen käsittely tulee tehdä sisätiloissa (Metcalf & Eddy 2014 s. 311). Mikäli käytöstä poistuvan jätevedenpuhdistamon välppää hyödynnettäisiin esimerkiksi tasausaltaan tai pumppaamon yhteydessä, tulee välpejätteen asianmukainen käsittely varmistaa.

Jätettä muodostuu sitä enemmän, mitä tiheämpi välpän säleväli on (Taulukko 1). Välpän säleväli vaikuttaa myös välpejätteen vesipitoisuuteen (Metcalf & Eddy 2014 s. 311). Eräs mitoitusarvo välppäysjätteen muodostumiselle on 10–20 l jätettä/as*a (Karttunen et al. 2004 s. 500). Taulukkoon 1 on valittu karkeavälppiä, sillä jätevedenpumppaamolla oleva välppä olisi sellainen.

Taulukko 1. *Tyypillisiä jätteen muodostumismääriä erilaisilla karkeavälpillä. Mukailten (Metcalf & Eddy 2014 s. 311).*

Sälevälin etäisyys [mm]	Vesipitoisuus [%]	Ominaisihteys [kg/m ³]	Välpejätteen määrä L/1000 m ³	
			Vaihteluväli	Tyypillinen arvo
6	60-90	700-1100	51-100	67
12,5	60-90	700-1100	37-74	50
25	50-80	600-1000	15-37	22
50	50-80	600-1000	4-11	6

Arvioimalla muodostuvan välppäysjätteen määrä voidaan tehdä karkea arvio jätelavan tyhjennyskustannuksista. Kustannusarviota tehdessä tulee huomioida jäteastian tyhjennysväli.

2.5.2 Hiekanerotus

Hiekkaa päätyy viemäriin ja siten myös jätevedenpuhdistamolle erityisesti hulevesien mukana. Muita hiekan lähteitä ovat kotitalouksien jätevedet sekä teollisuus. Jätevedenpuhdistamolla hiekka erotetaan välppäyksen jälkeen ennen muita puhdistusprosesseja. Hiekkaa poistetaan jätevedestä, jotta se ei kuluttaisi myöhempiä prosessilaitteita kuten

pumppuja ja kertyisi jätevedenpuhdistamon altaisiin ja mädättämöihin (Karttunen et al. 2004 s. 503, Metcalf & Eddy 2014 s. 370). Tärkein syy poistaa hiekka jätevedestä on pumppujen suojaaminen kulumiselta (Karttunen et al. 2004 s. 503, Davis 2020). Hiekanerotuksella pyritään siis vähentämään pumppujen kulumista sekä kalliiden ja monimutkaisten kunnossapitotehtävien kuten mädättämöiden tyhjennyksen tarvetta.

Hiekkaa voi kertyä myös viemäriverkoston putkiin, mikäli viettoviemäri ei huuhtoudu kunnolla (Karttunen et al. 2004 s. 467). Jäteveden virtausnopeuden tulisi olla vähintään 0,6 m/s, jotta putki huuhtoutuu hyvin eikä tukkeudu (Karttunen et al. 2004 s. 467–468). Verkostoon kertynyt hiekka aiheuttaa turhaa painehäviötä pienentämällä putken halkaisijaa ja putkeen kertynyt hiekka lisää pinnan karheutta (Metcalf & Eddy 2014 s. 368). Mitoitustilannetta suurempi karheus voi etenkin pitkissä viemäriinjoissa alentaa jäteveden virtausnopeutta, jolloin putkeen laskeutuu entistä enemmän kiintoainesta. Siten verkostoon kertynyt hiekka lisää energian kulutusta pumppaamoilla.

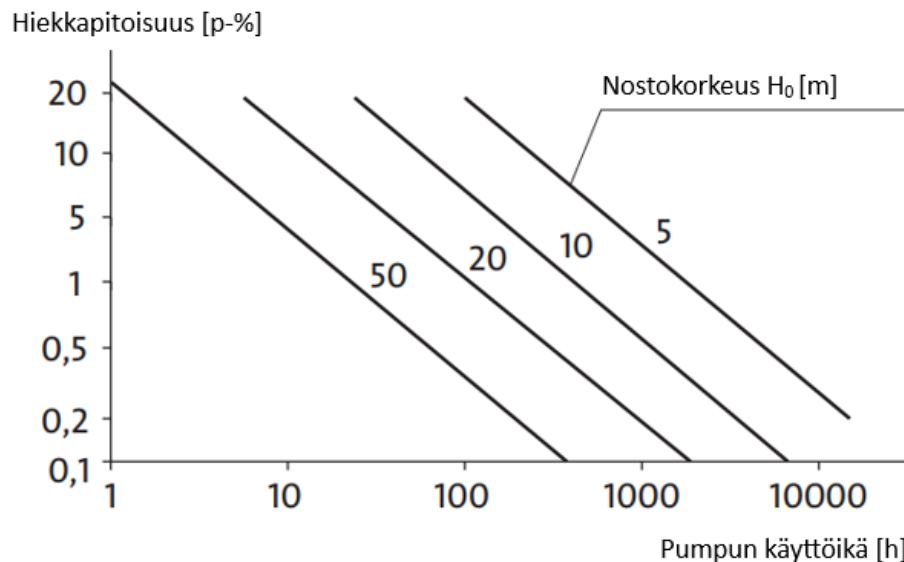
Hiekan määrä jätevedessä riippuu paikallisista olosuhteista kuten maaperästä, verkoston kunnosta ja tyypistä sekä alueella toimivista yrityksistä (Metcalf & Eddy 2014 s. 367, Davis 2020 luku 20–6). Jätevedestä ei yleensä mitata suoraan hiekan pitoisuutta vaan ennemmin seurataan erotetun hiekan ja hiekan kaltaisten materiaalien määrää (Metcalf & Eddy 2014 s. 367). Hiekanerotuksessa poistuvaa materiaalia on laskettu kertyvän 5–20 l asukasta kohti vuoden aikana (Karttunen et al. 2004 s. 503). Edellä mainittujen tekijöiden seurauksena teoreettiset arviot jäteveden hiekkapitoisuudesta vaihtelevat paljon. Erillisviemärijärjestelmässä jäteveden hiekkapitoisuuden on arvioitu olevan 0,004–0,037 m³/ 1000 m³ jätevettä (Davis 2020 luku 20–6). Sekaviemärijärjestelmässä vastaava pitoisuus on välillä 0,004–0,18 m³/ 1000 m³ jätevettä (Davis 2020 luku 20–6). Toisen lähteen mukaan jäteveden hiekkapitoisuus on keskimäärin 0,002–0,003 % virtaaman tilavuudesta (Grundfos). 1000 m³ jätevettä kohti 0,002–0,003 % osuus tarkoittaisi 0,02–0,03 m³ hiekkaa, joten arvot ovat samaa suuruusluokkaa. Jäteveden hiekkapitoisuuden voi esittää myös painoprosenttina p_m , joka saadaan tilavuusprosentista p_v seuraavasti (Grundfos):

$$p_m \approx 3p_v \quad (1)$$

Sekaviemärijärjestelmässä hiekkapitoisuuden vaihteluväli on huomattavan suuri, koska suuret virtaamavaihtelut vaikuttavat hiekkapitoisuuteen. Hiekkapitoisuus jätevedessä nousee rankkasateiden seurauksena kahdesta syystä: suurempi virtaama irrottaa verkostoon jo laskeutunutta hiekkaa uudelleen veden mukaan ja hule- ja vuotovesiä päätyy verkostoon enemmän kuin kuivalla säällä (Metcalf & Eddy 2014 s. 368). Sateisella säällä jäteveden hiekkapitoisuus voi nousta hetkellisesti moninkertaiseksi normaaliin tasoon

verrattuna (Metcalf & Eddy 2014 s. 368, Grundfos). Hule- ja vuotovesien pääsy jätevesiverkostoon selittää jäteveden hiekkapitoisuuden hetkellisen moninkertaistumisen myös erillisviemäröidyssä järjestelmässä.

Jäteveden hiekkapitoisuudella ja hiekan laadulla on merkitystä pumppujen käyttöikäen. Mitä enemmän jätevedessä on hiekkaa ja mitä suurempaa nostokorkeutta pumpulta vaaditaan, sitä lyhyempi on pumpun käyttöikä (Kuva 3) (Grundfos).



Kuva 3. Kokeellisiin tuloksiin perustuva jäteveden hiekkapitoisuuden ja pumpulta vaadittavan nostokorkeuden vaikutus pumpun käyttöikäen. Nostokorkeus H_0 kun $Q=0$. Mukailtu lähteestä (Grundfos).

Esimerkiksi hiekkapitoisuus 0,003 til-% vastaa kaavan 1 mukaisesti 0,009 p-%. Kuvassa 3 hiekan pitoisuudet, jotka vaikuttavat selvästi pumpun käyttöikäen nostokorkeuden muuttuessa, ovat noin 10 kertaa suurempia kuin teoreettinen arvio keskimääräisestä hiekan pitoisuudesta jätevedessä.

Hiekan ja hiekan kaltaisten materiaalien erottuminen perustuu partikkelin koon, veden virtausnopeuden ja partikkelin laskeutumisnopeuden suhteeseen. Useimmat hiekanerotuskanavat on mitoitettu niin, että ne poistavat kooltaan 0,5–1 mm epäorgaanisia partikkeleita, joiden laskeutumisominaisuudet vastaavat puhtaan hiekan ominaisuuksia (Metcalf & Eddy 2014 s. 367–369). Puhtaan hiekan tiheydeksi oletetaan $2,65 \text{ kg/dm}^3$ ja rae-kooksi vähintään 0,2 mm (Metcalf & Eddy 2014 s. 368). Jos veden virtausnopeus on pienempi kuin partikkelin laskeutumisnopeus, partikkeli alkaa laskeutua tasaisella nopeudella kohti pohjaa (Davis 2020 luku 10–2). Jos taas virtausnopeus on suurempi kuin partikkelin laskeutumisnopeus, partikkeli kulkeutuu veden mukana. Orgaaninen kiintoaine alkaa laskeutua virtausnopeuden ollessa alle 0,3 m/s, mutta hiekka ja hiekan kal-

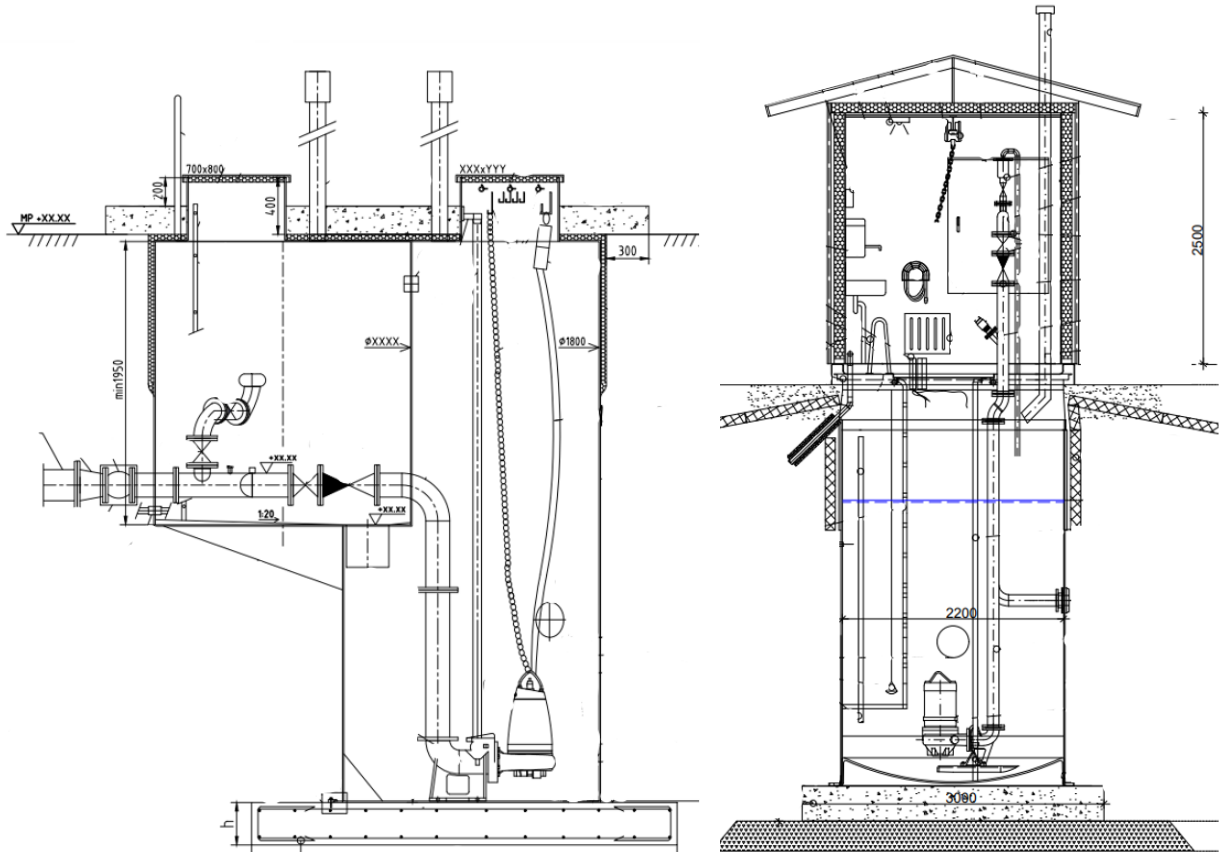
taiset materiaalit vaativat vähintään 0,5 m/s virtausnopeuden kulkeutuakseen veden mukana (Jones 2008 luku 12). Keskimäärin hiekanerotuksessa poistuvat partikkelit ovat halkaisijaltaan suurempia kuin 0,15 mm (Metcalf & Eddy 2014 s. 366). Tiheästi rakennetuilla alueilla tai talvisin hiekoitettavilla alueilla viemäriverkoston päätyvän hiekan kokojakauma vaihtelee enemmän (Metcalf & Eddy 2014 s. 366–367). Jäteveden pumppaamoilla tapahtuu käytännössä ainoastaan 0,2 mm ja sitä suurempien partikkeleiden laskeutumista, sillä pienemmät partikkelit tarvitsevat laskeutuakseen flokkulaatiota edistäviä kemikaaleja (Davis 2020 luku 10–2).

Kun mietitään nykyisen jätevedenpuhdistamon rakenteiden hyödyntämistä esimerkiksi pumppaamona tai tasausaltaina, täytyy kiinnittää huomiota hiekan ja muiden vettä raskaampien partikkelien kertymiseen uuden käyttötarkoituksen aikana. Hiekan kertymisen tarkastelu ja pohtiminen on erityisen tärkeää, jos puhdistamon kautta kulkeva virtaama muuttuu. Virtaaman kasvaessa on mahdollista, ettei esimerkiksi hiekkaa saada erotettua, vaikka niin haluttaisiin tehdä. Toisaalta virtaaman ja virtausnopeuden pienentyessä on riskinä myös orgaanisen aineksen eli raakalietteen laskeutuminen.

Tasaus- tai varoallaskäytössä suurin hiekan aiheuttama ongelma voi olla hajuhaitat, mikäli hiekkaa ja lietettä kertyy altaisiin paljon. Tällöin on tarpeellista lisätä sekoitusta altaisiin hiekan laskeutumisen estämiseksi, etenkin jos altaassa on jatkuvasti jätevettä. Mikäli jätevedenpuhdistamon rakenteita aiotaan hyödyntää uuden pumppaamon rakentamisessa, on tärkeää huomioida pumppaamon imualtaan pohjan muotoilu. Jätevesipumppaamon suunnittelun reunaehdoja käsitellään tarkemmin seuraavassa alaluvussa.

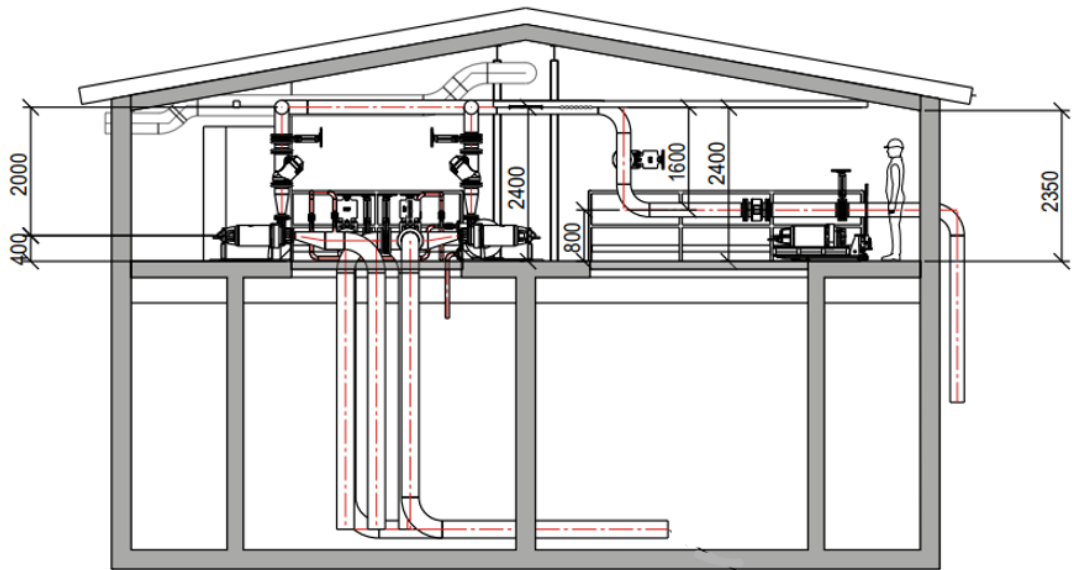
2.6 Jätevesipumppaamot ja jäteveden pumppaaminen

Jäteveden pumppaamoita voidaan rakentaa kahdella eri tavalla: kustomoituina pumppaamoina ja niin sanottuina tehdasvalmisteisina pakettipumppaamoina. Pakettipumppaamot rakennetaan valmiiksi laitetoimittajan tiloissa, jolloin maastossa tarvitsee vain asentaa pumppaamo paikalleen ja liittää se viemäriverkoston. Pakettipumppaamoissa pumppaamon halkaisija on yleensä väliltä 1000–3000 mm (Grundfos 2024, Pipelife 2024). Pakettipumppaamo voidaan toteuttaa kokonaan rakennuksettomana, jolloin kaikki laitteisto on maan alla tai pumppaamon päällä voi olla pieni mökki, jossa laitteet sijaitsevat (Davis 2020 luku 19–5). Kuvassa 4 on esimerkit maanalaisen pumppaamon ja maanpäällisen mökkipumppaamon rakenteista.



Kuva 4. Vasemmalla havainnekuva maanalaisen pakettipumppaamon rakenteesta. Mukailtu lähteestä (HSY 2020). Oikealla pakettipumppaamo, jossa laitteisto pumppuja lukuun ottamatta on sijoitettu maan pinnalle Mukailtu lähteestä (Iisalmen kaupunki 2022).

Kustomoitu pumppaamo tarkoittaa tapauskohtaisesti asiakasta varten suunniteltua ja toteutettua pumppaamoja. Yleensä isommat jätevedenpumppaamot kuten esimerkiksi siirtoviemäriin yhteydessä olevat linjapumppaamot ovat kustomoituja pumppaamoita. Kustomoitu pumppaamo toteutetaan yleensä pumppaamorakennuksena, sillä laitteistoa kuten pumppuja on pienempään pumppaamoon verrattuna enemmän (Kuva 5). Kustomoidussa pumppaamossa pumppaamorakennus on usein myös suurempi kuin pakettipumppaamossa.



Kuva 5. Havainnekuva kustomoidun pumppaamon rakenteesta, jossa on useampia pumppuja. Mukailtu lähteestä (Sweco 2022).

Pumppaamoita voidaan luokitella myös maksimivirtaaman mukaan. Esimerkiksi Helsingin seudun ympäristöpalvelut (myöhemmin HSY) määrittelee pumppaamon pieneksi alle 10 l/s, keskikokoiseksi alle 15 l/s ja suureksi alle 200 l/s maksimivirtaamilla (HSY 2020). Tätä voi pitää vertailukelpoisena luokitteluna, kun tarkastellaan Suomen jätevedenpumppaamoja.

Pieneen pumppaamoon pumput mitoitetaan niin, että yksi pumppu pystyy pumppaamaan huipputunnin virtaaman (Davis 2020 luku 19–5). Vaikka yhden pumpun kapasiteetti riittää pumppaamaan kaiken jäteveden eteenpäin, on pumppaamolla nykyään suositeltavaa olla varapumppu häiriötilanteita varten (Tukker et al. 2016). Pakettipumppaamoihin mahtuu yleensä juuri kaksi pumppua, joista toinen on varapumppu (Grundfos 2024, Pipelife 2024). Suuremmilla pumppaamoilla pumppaus on järkevämpää toteuttaa useammalla pumpulla, jolloin yhden pumpun ei tarvitse olla kapasiteetiltaan niin suuri. Isommilla pumppaamoilla jokainen pumppu ei myöskään tarvitse omaa varapumppua vaan esimerkiksi yksi yhteinen varapumppu voi riittää (HSY 2020). Suurissa pumppaamoissa pumppujen lukumäärä valitaan tapauskohtaisesti.

Jätevedenpumppaamon kokoluokasta riippumatta pumppaamon imualtaan pohjan muotoilu ja imualtaan koko on tärkeää kiintoaineen kertymisen ehkäisemiseksi. Pumppaamon imuallas pyritään mitoittamaan mahdollisimman pieneksi, sillä se on kustannustehokkaampaa ja pumppaamo mahtuu pienempään tilaan. (Jones 2008 luku 12) Pienemmissä pumppaamoissa pumppaamon niin sanottu märkäpuoli mitoitetaan yleensä niin, että imualtaan täyttyminen kestää keskimääräisellä virtaamalla alle 30 minuuttia (Davis

2020 luku 19–5). Jätevesi ei saisi alkaa pilaantua pumppujen käynnistymiskertojen välissä, sillä se aiheuttaa hajuhaittoja (Karttunen et al. 2004 s. 487). Toinen ohje imualtaan koon määrittämiseksi on mitoittaa se 3,5–4 kertaa pumppujen minuuttikohtaista tuottoa suuremmaksi (Karttunen et al. 2004 s. 487–488). Tämä tarkoittaisi esimerkiksi 10 l/s tuottavalla pumpulla 600 l/min tuottoa, jolloin imualtaan tilavuus olisi 2,1–2,4 m³. Imualtaan kokoa voi arvioida myös pinta-alan avulla. Grundfosin oppaassa (Grundfos) esitetään jätevedenpumppaamon imualtaan pinta-alan arviointiin seuraava kaava:

$$A_W = \frac{Q}{20} \quad (2)$$

missä A_W on imualtaan pinta-ala m² ja Q on pumppaamon mitoitusvirtaama l/s. Jos pumppaamossa on esimerkiksi 2 pumppua, joiden mitoitusvirtaama on 10 l/s, niin pinta-alaksi saadaan 1 m². Pienissä pumppaamoissa pumppujen koko määrittää usein vähimmäispinta-alan, sillä pumput täytyy asentaa tarpeeksi kauas toisistaan (Jones 2008 luku 12). Suositeltu etäisyys on 2,5 kertaa imuputken halkaisija (Jones 2008 luku 12).

Esimerkiksi pumppaamon imualtaan reunojen luiskakaltevuuden tulisi olla vähintään 1:1, jotta kiintoaine ja hiekka eivät pääse kerääntymään reunojen vierelle (Davis 2020 luku 19–5). Lisäksi pumpun imuputken etäisyydeksi kaltevasta seinästä suositellaan 0,4 m, jotta pohjan liettymistä voidaan estää (Davis 2020 luku 19–5).

Koska jätevedenpumppaamoiden imualtoiden pinta-alat ovat verrattain pieniä, täytyy pumppaamon tuloputki sijoittaa pumppuun nähden tietyllä tavalla esimerkiksi kavitaation välttämiseksi (Tukker et al. 2016). Tuloputki ei saisi esimerkiksi sijaita 1 metriä pumppaamon vedenpintaan korkeammalla, sillä muuten jätevetteen sekoittuu runsaasti ilmaa jäteveden pudotessa korkealta. Lisäksi tuloputki tulisi sijoittaa mahdollisimman kauas pumpun imuputkesta, jotta tulevassa jätevedessä oleva ilma ehtisi poistua ennen pumppaamista (Grundfos, Jones 2008 luku 12). Ilmakuplien pääsy pumpun imuputkeen voi aiheuttaa kavitaatiota pumpussa, mikä taas voi vaurioittaa pumppua ja heikentää siten energiatehokkuutta (Motiva 2018).

Kuten edellisessä alaluvussa todettiin, jäteveden virtausnopeus vaikuttaa kiintoaineen laskeutumiseen. Käytännön kokemuksesta on huomattu, että kiintoaines alkaa laskeutumaan pumppaamon pohjalle, jos virtausnopeus laskee alle 0,5 m/s (Jones 2008 luku 12). Jos taas virtausnopeus pumppaamossa on vähintään 1,1 m/s, jo laskeutunut kiintoaines sekoittuu jätevetteen uudelleen (Davis 2020 luku 19–5). Yli 1,5 m/s virtausnopeuden on todettu aiheuttavan pyörteitä erityisesti pienissä pumppaamoissa, eikä tätä suurempia virtausnopeuksia suositella (Jones 2008 luku 12). Pyörre on toisaalta hyödyllinen, sillä se pitää jäteveden liikkeessä ja ehkäisee kiintoaineen laskeutumista. Liian voimakkaana pyörre aiheuttaa veden pinnalle matalamman kohdan, ja jos pinta on liian

lähellä pumpun imuputkea, on mahdollista, että pumppuun pääsee ilmaa. Tätä varten esimerkiksi 1,5 m/s virtausnopeudella pumpun imuputken täytyy olla vähintään 1 m syvyydessä (Davis 2020 luku 19–5).

Pienille ja keskisuurille pumppaamoille suositellaan vähintään 1,1 m/s virtausnopeutta pumppaamon sisälle etenkin, jos tulovirtaama vaihtelee paljon. Suuremmilla pumppaamoilla pumppaamon sisäiseksi virtausnopeudeksi riittää 0,7 m/s, sillä jatkuva tulovirtaus mahdollistaa jatkuvan pumppauksen eikä kiintoaines ehdi laskeutua (Davis 2020 luku 19–5). Mitä pienempi pumppaamon imuallas on, sitä suurempana jäteveden virtausnopeus pysyy (Grundfos). Lisäksi imualtaan koon optimoiminen on järkevää myös kustannussyistä, sillä pienen pumppaamon rakentaminen on edullisempaa (Jones 2008 luku 12).

Käytöstä poistuvan jätevedenpuhdistamon rakenteiden hyödyntäminen pumppaamona vaatii aina tapauskohtaisen ratkaisun, jotta pumppaamosta saadaan toimiva. Jätevedenpuhdistamon altaat ovat pinta-alaltaan ja siten myös tilavuudeltaan huomattavasti suurempia kuin jätevedenpumppaamolla tarvitsisi olla. Suuri tilavuus on toivottava asia, sillä normaali virtaaman vaihtelu ei vaikuta imualtaan vedenpintaan niin paljoa. Tällöin pumppujen toiminta voidaan optimoida mahdollisimman energiatehokkaaksi ja esimerkiksi käynnistymistiheys saadaan harvemmaksi.

Toisaalta suuri pinta-ala aiheuttaa kiintoaineen laskeutumisen, mikä ei ole toivottavaa (Jones 2008 luku 12). Suuressa altaassa pohjan muotoilulla ei ole niin suurta vaikutusta kuin normaalissa pumppaamossa, sillä veden virtausnopeus hidastuu todennäköisesti niin paljon. Kiintoaineen laskeutumisen ehkäisemiseksi jätevesi täytyy pitää keinotekoisesti liikkeellä. Sekoittaminen sekoittimella on järkevämpi vaihtoehto kuin ilman käyttö, sillä ilman päätymistä pumppuille tulee välttää. Yksi vaihtoehto on myös rajata jotain alasta pienemmäksi, jolloin virtausnopeus saadaan pidettyä suurempana.

Käsittlemätöntä jätevettä pumpataan erikseen siihen suunnitelluilla pumppuilla, joista yleisin on tukkeutumaton keskipakopumppu (engl. nonclog radial flow pump) (Karttunen et al. 2004 s. 27). Käsittlemättömän jäteveden pumppuista tulisi mennä läpi halkaisijaltaan vähintään 80 mm kappaleet ja pumpun imu- ja poistoputken halkaisijan tulisi olla vähintään 100 mm (Davis 2020 luku 19–5). Näillä kriteereillä pyritään varmistamaan pumpun toiminta ja minimoimaan pumpun tukkeutuminen.

Jäteveden pumppaustarpeeseen vaikuttaa viemäriinjoissa muodostuva painehäviö ja paikalliset olosuhteet, kuten alueen topografia ja viemäreiden pituus (Olsson 2015). Painehäviötä syntyy aiemmin mainitun hiekan kertymisen lisäksi myös ilman pääsemisestä paineviemäriverkostoon. Paineviemäriin päässyt ilma vie tilaa jätevedeltä ja siksi lisää

pumpuilta vaadittavaa nostokorkeutta (Motiva 2018). Myös pumpun ohjaustapa voi aiheuttaa painehäviötä (Europump et al. 2001 s. 9, Motiva 2011 s. 8). Muodostuvat painehäviöt vaikuttavat pumppauksen energiankulutukseen. Jäteveden pumppaaminen aiheuttaa keskimäärin noin 10 % jäteveden puhdistamisen kuluista (WWAP 2014 s. 193). Pumppuja voidaan ohjata ja säätää monella eri tavalla. On-off-säädössä pumppu ohjataan käynnistymään ja sammumaan pumppaamon imualtaassa olevan jäteveden pinnan korkeuden mukaan (Davis 2020 luku 19–5). Yleensä pumpun käynnistymiskorkeus pyritään valitsemaan niin, että pumpun käynnistyskertojen välissä olisi vähintään 15 minuuttia. Suuremmilla, teholtaan yli 75 kW pumppuilla, käynnistysväli saisi olla 20–30 minuuttia pumpun ylimääräisen kulumisen ehkäisemiseksi. (Davis 2020 luku 19–5) Mitä useammin pumppu käynnistyy, sitä enemmän se kuluu ja kuluttaa energiaa. Kuristus säätö venttiilillä on ollut helppouden takia yleisin pumppujen säätötapa, mutta se ei ole energiatehokasta muodostuvien painehäviöiden takia (Motiva 2011 s. 8). Energiatehokkaimmaksi ohjaustavaksi on tunnistettu pumpun pyörimisnopeuden säätäminen (Motiva 2011 s. 8).

Ilman pyörimisnopeuden säätöä oleva pumppu joko on käynnissä tai poissa päältä. Tällaisella pumpulla on yksi optimitoimintapiste, jossa pumppu toimii täydellä teholla ja saavuttaa parhaan hyötysuhteensa tietyllä virtaamalla. Pyörimisnopeussäädettävän pumpun etu on sen laajempi optimialue, jolloin hyötysuhde pysyy korkeamana virtaaman vaihtuessa (Motiva 2011 s. 10). Tämä perustuu siihen, että pumpulla on monta toimintapistettä, koska sen tehoa voi säätää. Liian alhainen pyörimisnopeus pienentää pyörimisnopeussäädettävänkin pumpun hyötysuhdetta (Motiva 2011 s. 8). Kriittiset pyörimisnopeudet riippuvat pumppumalleista.

Jäteveden pumppausjärjestelmää optimoimalla on mahdollista vähentää pumppauksen energiankulutusta 20–40 % (Barry 2007, Wilcoxson & Badruzzaman 2013). Tehokkaimmaksi keinoksi vähentää pumppauksen energiankulutusta on tunnistettu pumpun pyörimisnopeuden muuttaminen taajuusmuuntajalla tai nestekytkimellä virtaaman mukaan (Wilcoxson & Badruzzaman 2013, Fecarotta et al. 2018, Fecarotta & Cimorelli 2021). Myös rinnakkaisen pumpun asentaminen huippuvirtaamia varten ja virtaaman tasaaminen verkoston kapasiteettia hyödyntäen ovat tunnistettuja keinoja vähentää pumppauksen energiankulutusta (Wilcoxson & Badruzzaman 2013). Rinnakkaisia pumppuja käytettäessä pumpattavan jäteveden määrä kasvaa ja nostokorkeus pysyy samanlaisena (Motiva 2011 s.10–11).

2.7 Yhteenveto rakenteiden hyödyntämisestä

Käytöstä poistuvalla jätevedenpuhdistamolla on teorian perusteella useita hyödynnettäväksi kelpaavia rakenteita ja niitä voi hyödyntää usealla tavalla (Taulukko 2). Hyödyntämisen vaikutukset ulottuvat vesilaitoksen käytännön toimintaan, mutta niillä on myös yhteyksiä kiertotalouteen.

Taulukko 2. *Teorian pohjalta tunnistettuja hyödynnettäviksi kelpaavia rakenteita sekä niiden hyödyntämistapojen edut ja haitat.* ¹⁾ Barry 2007, ²⁾ Laitinen et al. 2014, ³⁾ Davis 2020 luku 20-7-3, ⁴⁾ Karttunen et al. 2004 s. 38, ⁵⁾ Jones 2008 luku 12, ⁶⁾ Metcalf & Eddy 2014 s. 311, ⁷⁾ Metcalf & Eddy 2014 s. 370, ⁸⁾ Metcalf & Eddy 2014 s. 367–369, ⁹⁾ Nguyen et al. 2021, ¹⁰⁾ Hewlett 2003 s. 327.

Hyödynnettävä rakenne	Tapa hyödyntää rakennetta	Mahdolliset edut	Mahdolliset haitat
Altaat, esimerkiksi esiselkeytysallas, ilmastusallas tai jälkiselkeytysallas	Tasausallaskäyttö	Energian säästö pumppauksessa ¹⁾ Virtaaman ja kuormituksen tasaus ennen keskuspuhdistamoa ²⁾	Kiintoaineen, hiekan ja roskien kertyminen altaisiin ³⁾ Tarve sekoitukselle ³⁾
Altaat, esimerkiksi esiselkeytysallas, ilmastusallas tai jälkiselkeytysallas	Varoallaskäyttö	Huippuvirtaamien tasoittaminen ja ylivuotojen tai ohitusten vähentäminen ⁴⁾ Energian säästö pumppauksessa ¹⁾	-
Altaat, esimerkiksi esiselkeytysallas, ilmastusallas tai jälkiselkeytysallas	Kustomoitu pumppaamo tai pumppaamon imuallas	Uutta pumppaamoa ei tarvitse rakentaa Imualtaassa tasauskapasiteettia ⁵⁾	Kiintoaineen ja hiekan kertyminen isoon imualtaaseen ³⁾ Tarve sekoitukselle ³⁾
Välvät	Esikäsitteily pumppaamolla	Roskien kertymisen ehkäisy ⁶⁾ Pumpuille paremmat toimintaedellytykset	Lisäkustannuksia jätteen käsittelystä ⁶⁾ Huollettava kohde
Hiekanerotus	Esikäsitteily pumppaamolla	Hiekan kertymisen ehkäisy ⁷⁾ Pumppujen kulumisen ehkäisy ⁷⁾	Toiminta riippuu virtaamasta ja virtausnopeudesta, virtaaman muuttuessa orgaaninen kiintoaine voi alkaa laskeutua ⁸⁾ Tarve hiekan puhdistamiselle
Putket	Uudelleenkäyttö tai kierrätys	Säästää luonnonvaroja ⁹⁾	Korroosio voi estää uudelleenkäytön putkina ¹⁰⁾

Kuten Taulukosta 2 nähdään, teorian perusteella käytöstä poistuvalla jätevedenpuhdistamolta löytyy useita hyödynnettäviä rakenteita. Mahdollisten haittojen syntymisen ehkäisemiseksi täytyy tehdä tarvittavat toimenpiteet, esimerkiksi lisätä jäteveden sekoitusta kiintoaineen laskeutumisen ehkäisemiseksi.

3. AINEISTO JA MENETELMÄT

Tässä luvussa käsitellään työssä käytetty aineisto sekä aineiston keräämis- ja analysointimenetelmät. Alaluvussa 3.1 käydään läpi aineistonkeruumenetelmät ja alaluvussa 3.2 käsitellään aineiston analysointimenetelmät. Työn esimerkkikohde Lempäälän Vesi Oy:n jätevedenpuhdistamoon liittyvää aineistoa esitellään alaluvussa 3.3. Alaluvussa 3.4 käydään läpi tutkimuksessa käytetyt tutkimusskenaariot ja skenaarioissa tehdyt oletukset. Alaluvussa 3.5 esitellään kustannusarvion tekemisessä käytetty lähtöaineisto ja tehdyt oletukset sekä selitetään käytetyt laskentamenetelmät.

3.1 Käytetyt aineistonkeruumenetelmät

Teemahaastattelu valikoitui yhdeksi tutkimusmenetelmäksi, sillä menetelmällä saadaan kerättyä vähemmän tunnetuista asioista paremmin tietoa kuin täysin strukturoidulla lomakehaastattelulla. Lisäksi täysin strukturoidussa haastattelussa haastattelukysymykset ovat kaikille haastateltaville täysin samat, jolloin haastateltavien henkilökohtainen tietämys tai kokemukset aiheesta voivat jäädä huomioimatta. Lisäksi teemahaastattelussa tutkittavaksi valikoidaan ihmisiä, joilta arvioidaan saatavan parhaiten aineistoa tutkittavasta aiheesta. Teemahaastattelun eräänä etuna on myös se, että tuloksia voi analysoida halutessaan sekä kvantitatiivisesti että kvalitatiivisesti. (Saaranen-Kauppinen & Puusniekka 2006) Teemahaastattelun eduksi strukturoituun haastatteluun verrattuna koettiin myös se, että keskusteluun voi nousta sellaisia kokonaisuuden kannalta tärkeitä asioita, joita haastattelija ei olisi itse osannut ottaa esille.

Teemahaastattelussa haastateltavilla tulee olla yhteinen kokemus jostain aiheesta, josta aiheeseen perehtynyt henkilö haastattelee heitä (Hirsjärvi & Hurme 2022). Aiheeseen perehtyminen ennen haastatteluja on tärkeää, sillä sen avulla haastattelija määrittää haastatteluun keskeiset käsiteltävät teemat ja niiden pohjalta haastattelurungon (Hirsjärvi & Hurme 2022). Teemahaastattelun viimeisessä vaiheessa tehdään haastattelut, joissa pyritään saamaan esiin haastateltavien subjektiivisia kokemuksia tutkimusaiheesta (Hirsjärvi & Hurme 2022). Teemahaastattelulle on ominaista, että haastattelu etenee vapaana keskusteluna ennalta määritetyistä teemoista, mikä mahdollistaa myös haastateltavan kokemusten pohjalta nousevien asioiden käsittelyn.

Kirjallisuuteen perehtymisessä tutkimuksen kannalta tärkeimmiksi teemoiksi nousivat nykyisten rakenteiden hyödyntäminen osana keskuspuhdistamon suunnitteluprosessia,

jätevedenpumppaamoille soveltuvat esikäsittelyprosessit sekä vesilaitosten toimintavarmuus. Rakenteiden hyödyntämisen taloudelliset vaikutukset valittiin yhdeksi teemaksi, sillä omaisuudenhallinta on keskeinen osa vesilaitosten toimintaa (Paavilainen 2019). Näiden teemojen pohjalta muodostettiin kaikille haastateltaville seuraavat runkokysymykset:

1. Mitä asioita on otettava huomioon, kun suunnitellaan vanhan jätevedenpuhdistamon hyödyntämistä?
2. Onko joku käytäntö/tapa/ratkaisu todettu erityisen toimivaksi vanhojen jätevedenpuhdistamoiden hyödyntämisessä? Entä onko ilmennyt ongelmia tai haasteita?
3. Millaisia vaikutuksia arvioit vanhojen jätevedenpuhdistamoiden hyötykäytöllä olevan 5, 15, ja 30 vuoden kuluttua?
4. Miten arvioit vanhan puhdistamon hyödyntämisen taloudellisia vaikutuksia?

Tässä tutkimuksessa haastateltaviksi valittiin keskuspuhdistamohankkeiden ja jätevesipumppaamojen parissa työskennelleitä henkilöitä. Tutkimukseen haastateltiin yhteensä 9 henkilöä. Haastatelluissa henkilöissä oli suunnittelijoita, vesilaitosten henkilökuntaa ja laitetoimittajan edustaja (Taulukko 3).

Taulukko 3. *Tutkimuksessa haastateltujen henkilöiden tittelit ja heidän edustamansa organisaatio.*

Haastateltu henkilö	Organisaatio
Toimitusjohtaja	Vesikolmio Oy
Toimitusjohtaja	Huittisten puhdistamo Oy
Käyttöpäällikkö	Kangasalan Vesi -liikelaitos
Verkostopäällikkö	Oulun Vesi -liikelaitos
Projektipäällikkö	AFRY Finland Oy
Projektipäällikkö	AFRY Finland Oy
Suunnittelupäällikkö, verkostot	Ramboll Finland Oy
Osastopäällikkö, laitokset	Ramboll Finland Oy
Avainasiakaspäällikkö	Grundfos Oy

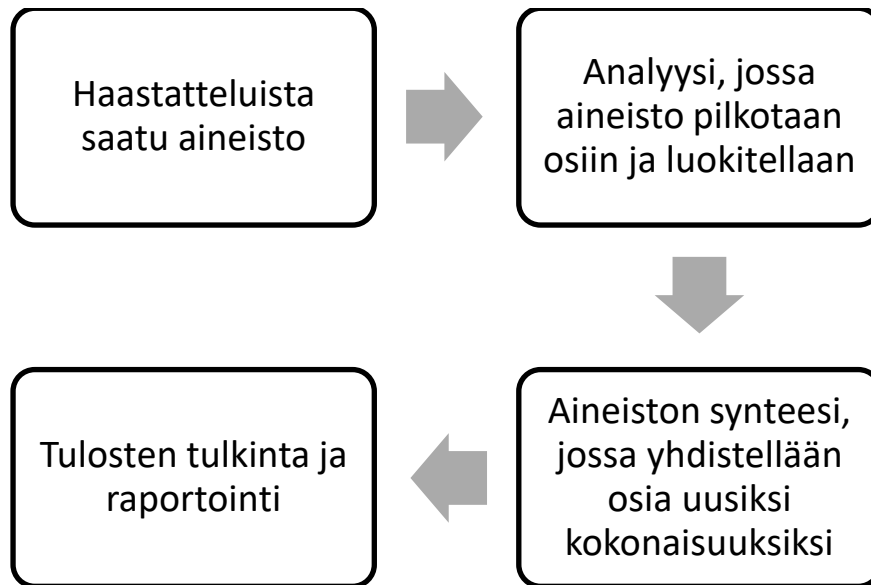
Haastattelut pidettiin aikavälillä elokuu 2023 – lokakuu 2023. Haastattelut toteutettiin Microsoftin Teams -sovelluksella ja puhelut tallennettiin aineiston analysointia ja tulosten tarkastelua varten. Tallenteita säilytettiin tutkimuksen valmistumiseen asti, minkä jälkeen ne poistettiin opinnäytetyön tietosuojailmoituksen mukaisesti (Liite E). Yksi haastattelu kesti keskimäärin tunnin. Haastattelun aluksi käytiin lyhyesti läpi haastateltavan tausta ja kokemus tutkimusaiheesta. Seuraavaksi käytiin läpi runkokysymykset haastateltavan erityisosaaminen huomioiden. Jokaiselle haastatellulle esitettiin heidän osaamiseensa ja kokemuksiinsa liittyviä lisäkysymyksiä. Joillekin haastatelluille esitettiin myöhemmin tarkentavia lisäkysymyksiä sähköpostitse. Tällä varmistettiin, että diplomityöntekijä sekä haastateltu ymmärsivät haastattelussa esiin nousseen asian samalla tavalla.

Kustannusten arviointiin kerättiin lähtötietoja haastatteluista ja Lempäälän Veden nykyisistä käyttökustannuksista. Nykyisistä käyttökustannuksista tieto kerättiin vesilaitoksen sisäisistä asiakirjoista. Tällaisia tietoja olivat esimerkiksi pumppujen huoltokustannukset ja jätehuoltokulut. Jätehuoltokulut riippuvat tässä tapauksessa esikäsittelyssä erotettavan välpejätteen ja hiekan määrästä. Pumppaamon rakentamisen kustannuksista saatiin lähtötietoja puhdistamon lähtöpumppaamoä käsittelevästä yleissuunnitelmasta. Yleissuunnitelmassa oli jaoteltu kustannukset rakentamiskustannuksiin, koneistokustannuksiin, SIA-kustannuksiin eli sähkö-, instrumentointi- ja automaatiokustannuksiin sekä LVI-kustannuksiin eli lämpö-, vesi- ja ilmastointikustannuksiin. Haastatteluista saatiin tietoa esimerkiksi pumppujen uusimistiheydestä sekä altain ja laitteiden käyttöiästä. Lisäksi haastatteluista saatiin yksittäisiä hinta-arvioita erilaisille laitteille. Haastatteluista saatiin myös arviot pumppujen peruskorjauksen kustannuksista sekä imuautolla tehtävän pumppaamon puhdistuksen kustannuksesta.

Pumppauksen sähkönkulutuksen arvioimista varten käsiteltiin pumppaamoilta kertynyttä virtaamadataa. Virtaamadata saatiin Lempäälän Veden Wahti-järjestelmästä. Tulevaisuuden virtaamia arvioitaessa käytettiin apuna vuodelle 2040 tehtyä arviota jäteveden määrän kehityksestä Lempäälässä. Pumpuilla vaadittava nostokorkeus saatiin lähtöpumppaamon yleissuunnitelmasta. Lisäksi lähtötietoina käytettiin Fore-laskentaohjelman hintatietoja maanalaisten putkimuutosten kustannusten arvioinnissa.

3.2 Tulosten analysointimenetelmät

Haastatteluista kerättyä aineistoa analysoitiin ensiksi teemoittelun avulla. Teemoittelun ideana on tunnistaa aineistosta sellaisia piirteitä tai asioita, jotka toistuivat eri henkilöiden haastatteluissa (Hirsjärvi & Hurme 2022). Tulosten analysointi alkaa aineiston käsittelyllä ja luokittelulla, minkä jälkeen muodostetaan uusia kokonaisuuksia (Kuva 6). Teemoittelun lopuksi tulokset uusista kokonaisuuksista tulkitaan ja raportoidaan (Hirsjärvi & Hurme 2022).



Kuva 6. Tulosten analysointimenetelmänä käytetyn teemoittelun kulku (mukailtu lähteestä Hirsjärvi & Hurme 2022).

Ensiksi haastatteluiden aineisto kirjoitettiin tallenteiden pohjalta puhtaaksi samalla käyden nauhoitteet uudelleen läpi huolellisesti. Tällä varmistettiin, että aineiston sisältö ymmärrettiin ja tunnettiin hyvin. Aineiston läpikäymisen yhteydessä muodostui kokonaisvaltaisempi käsitys haastateltujen vastauksista sekä niiden yhteneväisyyksistä tai eroavaisuuksista. Tässä vaiheessa vastauksista karsittiin turhaa toistoa ja tutkimuksen kannalta ylimääräisiä asioita kuten kuulumisten vaihtoa.

Seuraavaksi aineistosta poimittiin samaan asiaan liittyvät tai samat vastaukset omiksi luokikseen. Sanojen toistuvuuden tutkimisessa käytettiin apuna Wordin find-komentoa. Materiaalin uudelleenjärjestelyn jälkeen luokkia yhdisteltiin uusiksi kokonaisuuksiksi käsitekartan avulla. Käsitekartta on esitetty liitteessä A. Käsitekartan avulla muodostettuja kokonaisuuksia yhdisteltiin vielä lopullisten teemojen muodostamiseksi. Esimerkiksi keskuspuhdistamon toimintaan liittyviä näkökohtia sisällytettiin useampaan muuhun teemaan, jotta työn näkökulma säilyi rakenteiden hyödyntämisen tarkastelussa. Tässä tutkimuksessa tärkeiksi teemoiksi tulkittiin useissa vastauksissa toistuneita aiheita. Tulosten tulkinnan yhteydessä arvioitiin vastauksia ja niiden soveltuvuutta kohdepuhdistamolle. Lisäksi arvioitiin, mitkä tuloksista ovat yleisesti sovellettavissa vastaaviin kohteisiin.

3.3 Tapaustutkimuksen kohde Lempäälän Vesi Oy

Lempäälän Vesi Oy:n jätevedenpuhdistamo on rakennettu vuonna 1973 ja sitä on laajennettu tai saneerattu vuosina 1998, 2000, 2007 ja 2013. Puhdistamo on biologis-kemiallinen aktiivilietelaitos ja prosessi koostuu välppäyksestä, hiekanerotuksesta, esiselkeytyksestä, ilmastuksesta ja jälkiselkeytyksestä. Puhdistamon mitoitettu asukasvastineluku on 19 000 ja viimeisen viiden vuoden aikana 90. persentiilin mukainen asukasvastineluku on ollut 18 056. Lempäälän puhdistamo käsitteli jätevettä vuonna 2022 yhteensä 1 315 668 m³, keskimääräisen tulovirtaaman ollessa 3605 m³/d.

Lempäälässä on investoitu viemäriverkoston saneeraukseen merkittävästi viime vuosina vuotovesien määrän hillitsemiseksi. Saneerauksista huolimatta vuotovesiä pääsee edelleen verkostoon, aiheuttaen välillä kapasiteettiongelmia nykyisellä puhdistamolla. Koska vuotovesien määrä vaihtelee vuosittain, myös ohitetun jäteveden määrä vaihtelee. Vuonna 2022 jätevettä jouduttiin sulamisvesien takia ohittamaan Lempäälän jätevedenpuhdistamolla yhteensä 23 715 m³. Noin kaksikolmasosaa tästä oli välpättyä ja esiselkeytettyä, eli ohitus oli tehty biologisen prosessin suojelemiseksi. Vuoden 2022 kuukausittaiset virtaamat on esitetty Taulukossa 4.

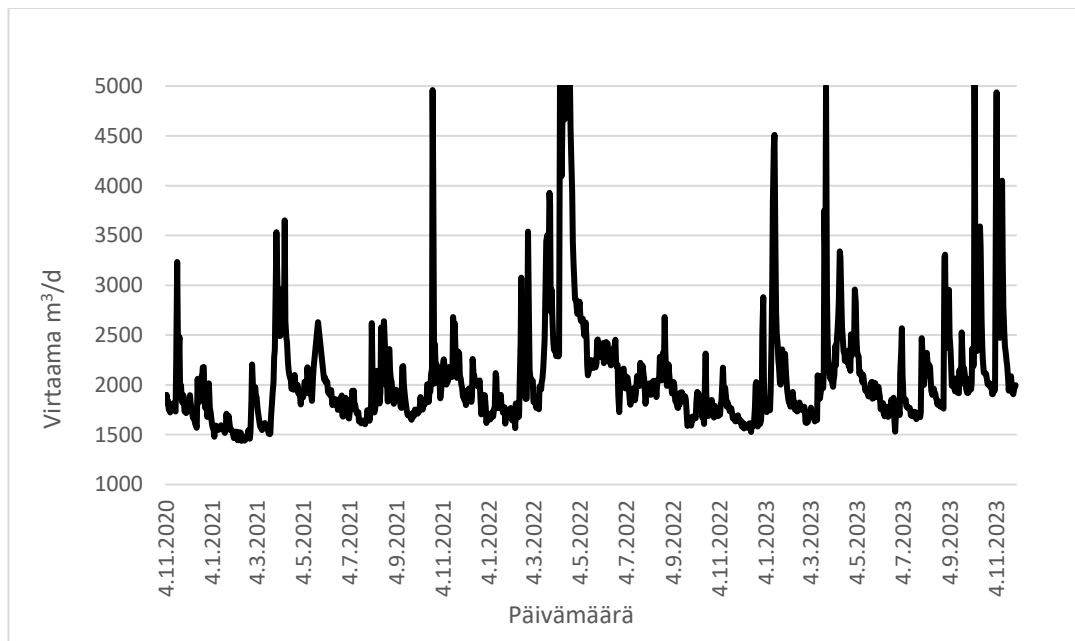
Taulukko 4. Vuosiraportin mukaiset lähtövirtaamat Lempäälän jätevedenpuhdistamolla vuonna 2022.

Kuukausi	Keskimääräinen virtaama [m ³ /d]	Virtaama yhteensä [m ³]	Ohitukset [m ³]
tammikuu	3119	96 674	
helmikuu	3554	99 517	
maaliskuu	4670	144 769	1030
huhtikuu	7061	211 833	22 685
toukokuu	4065	126 027	
kesäkuu	3304	99 123	
heinäkuu	2710	84 012	
elokuu	2801	86 835	
syyskuu	2734	82 021	
lokakuu	3153	97 737	
marraskuu	3220	96 614	
joulukuu	2920	90 506	
koko vuosi	3605	1 315 668	23 715

Lempäälän kunta ja muu Tampereen lähiseutu ovat olleet useamman vuoden muuttovoittoista, mikä tarkoittaa myös jätevesien määrän lisääntymistä. Lempäälän nykyinen jätevedenpuhdistamo alkaa olla mitoituksen osalta maksimaalisessa käytössä, minkä takia Lempäälässä tarvittiin uusi ratkaisu jätevesien käsittelylle. Kasvavaan jätevesimäärään, ikääntyviin jätevedenpuhdistamoihin ja tulevaisuudessa tiukentuviin lupaehtoihin on vastattu aloittamalla rakentamaan yhteistä seudullista jätevedenpuhdistamoa Tampereen Sulkavuoreen 2018. Tampereen Seudun Keskuspuhdistamo -hankkeessa ovat

mukana Kangasala, Lempäälä, Pirkkala, Ylöjärvi, Vesilahti ja Tampere (Keskuspuhdistamo 2023). Hankkeessa mukana olevien kuntien ja kaupunkien väkiluvun on ennustettu kasvavan nykyisestä 365 061 asukkaasta (Kuntaliitto 2023) noin 420 000 asukkaan vuoteen 2040 mennessä (Keskuspuhdistamo 2023).

Kun Keskuspuhdistamo aloittaa toimintansa vuonna 2025, jätevesien käsittely loppuu Lempäälän jätevedenpuhdistamolla noin vuoden kuluessa. Siirtymäajan pituus riippuu osaltaan Lempäälän nykyisen jätevedenpuhdistamon alueelle rakennettavan siirtoviemäripumppaamon rakentamisen ja valmistumisen aikataulusta, mutta siihen vaikuttaa lisäksi myös siirtoviemäriinjan käyttöönoton kesto. Nykyisen puhdistamon pohjoispuolella jätevedet käännetään pumppaamoiden kautta vaihteittain suoraan siirtoviemäriinjaan, jonka on tarkoitus valmistua vuonna 2025. Siirtoviemäriinjan rakentaminen on aloitettu vuonna 2015 ja rakentamista on tehty lohkoittain pohjoisesta kohti etelää. Nykyisen puhdistamon läpi tullaan jatkossa johtamaan enää Majauslahden, Koivunokan ja Museoalueen pumppaamoilta sekä Hakkarin alueelta tulevat jätevedet (Kuva 7). Vesilahden jätevedet sisältyvät Museoalueen pumppaamolta tulevaan virtaamaan.



Kuva 7. Majauslahden, Koivunokan, Museoalueen ja Hakkarin alueilta Lempäälän jätevedenpuhdistamolle tulleiden päiväkohtaisten virtaamien summa ajalta 2.11.2020 – 30.11.2023. Pumppaamoiden virtaamat perustuvat virtausmittausdataan. Hakkarin alueella muodostuva jätevesimäärä on arvioitu vedenkulutuksen perusteella, sillä viettoviemäriissä ei ole virtausmittausta.

Kuvasta 7 voi arvioida, että virtaama vaihtelee nykytilanteessa suurimman osan vuodesta välillä 1500–2000 m³/d, mutta voi olla keväällä sulamisvesien aikaan yli 2500 m³/d yli kuukauden ajan. Kuvasta 7 näkee myös selvästi sateiden vaikutuksen virtaamaan,

mikä kertoo hulevesien pääsystä viemäriverkostoon. Esimerkiksi vuonna 2023 loka- ja marraskuussa olleet runsaat sateet ovat aiheuttaneet jopa yli 5000 m³/d virtaamia.

Siirtoviemäriin käyttöönoton jälkeen nykyisen puhdistamoalueen kautta kulkevan jäteveden määrä on noin 55 % nykyisen virtaaman suuruudesta. Koska Lempäälän asukasluku kasvaa tulevaisuudessa, on arvioitu, että nykyisen puhdistamoalueen läpi johdettavia jätevesiä muodostuu vuonna 2040 2700–3500 m³/d. Tämä vastaa esimerkiksi vuoden 2022 kesä-lokakuun keskimääräistä tulovirtaamaa nykyiselle puhdistamolle Lempäälän Veden toiminta-alueelta.

Lempäälän jätevedenpuhdistamon rakenteiden hyödyntämisvaihtoehtoja selvitetessä tulee tuntee käytössä sekä mahdollisesti hyödynnettävissä olevien rakenteiden määrä ja kunto. Vaikka Lempäälän jätevedenpuhdistamo on rakennettu alun perin vuonna 1973, suurin osa altaista on varsin uusia (Taulukko 5). Taulukosta 5 on jätetty pois kaksi ensimmäisenä rakennettua ilmastus- sekä jälkiselkeytysallasta, sillä niiden hyödyntämistä ei suunnitella.

Taulukko 5. *Hyödyntämiskelpoisten altaiden lukumäärät, rakennusvuodet ja allastilavuudet Lempäälän jätevedenpuhdistamolla.*

Allas	Lukumäärä	Rakennusvuosi	Altaan tilavuus [m ³]	Yhteenlaskettu tilavuus [m ³]
Esiselkeytys	2	2007	480	960
Uusi ilmastus	2	2012	755	1510
Jälkiselkeytys	2	2000	300	600

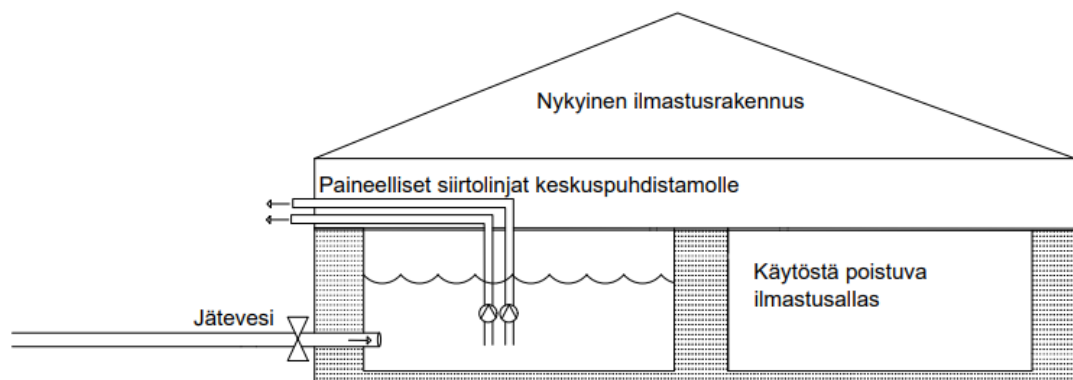
Muita mahdollisesti hyödynnettäviä asioita ovat prosessilaitteet. Lempäälän jätevedenpuhdistamolla on kaksi välppää, välpe- sekä hiekkapesurit. Välpät on hankittu 2000-luvun alussa, joten ne alkavat olla vanhat. Hiekanerotus sijaitsee nykyisten välppien alapuolella kanavassa. Välpe- ja hiekkapesurit on otettu käyttöön vuonna 2019. Lisäksi puhdistamolla on lukuisia pumppuja ja muita pienempiä laitteita, joiden hyödyntämistä voidaan tarkastella.

3.4 Skenaarit

Työssä käsiteltiin Lempäälän Vedellä pohdittuja vaihtoehtoisia hyödyntämistapoja kolmen eri skenaarion kautta. Kaikissa skenaarioissa tarkasteltiin taloudellista ja teknistä näkökulmaa 5, 15, ja 30 vuoden aikajänteellä. Tavoitteena oli kartoittaa Lempäälän jätevedenpuhdistamolle soveltuvia rakenteiden hyödyntämistapoja ja niiden vaikutuksia. Lähtökohtana skenaarioissa oli, että puhdistamon vanhaan ilmastusaltaaseen rakennettaisiin uusi jätevedenpumppaamo siirtolinjan lähtöpumppaamoksi. Taloudellisia vaikutuksia arvioitaessa niin sanotuksi nollavaihtoehdoksi otettiin kokonaan uuden pumppaamon rakentaminen puhdistamon tontille nykyisen valvomorakennuksen viereen.

3.4.1 Skenaario pumppaamo

Pumppaamoskenaariossa tarkastellaan vaihtoehtoa, jossa vanhan jätevedenpuhdistamon rakenteita ei hyödynnetä muuten kuin rakentamalla uusi siirtoviemäripumppaamo yhteen ilmastusaltaan lohkoon. Tällöin ilmastusaltaan tilavuus tai osa siitä toimii pumppaamon imualtaana. Vanha jätevedenpuhdistamo altainen ja laitteineen jätetään muuten kokonaan pois käytöstä. Skenaarion toteuttaminen ei vaadi merkittäviä muutoksia jätevedenpuhdistamon nykyisiin rakenteisiin. Skenaariossa nykyistä paineviemäriä jatketaan ilmastusrakennukselle asti ja jätevesi ohjataan ilmastusaltaan lohkoon, mistä se pumpataan edelleen siirtoviemäriin (Kuva 8).



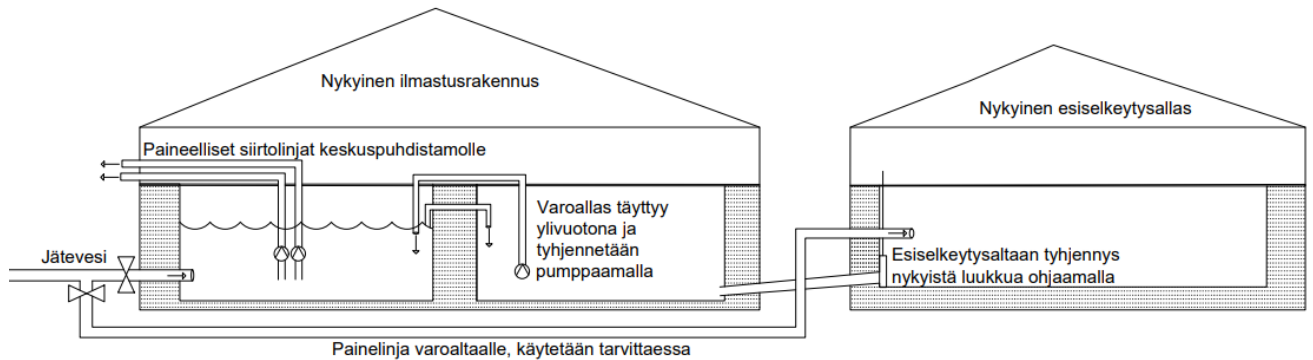
Kuva 8. Havainnekuva pumppaamoskenaarion toteuttamisperiaatteesta. Rakennuksen koko ei ole todellinen.

Pumppaamon rakentamista ilmastusaltaaseen käsittelevässä skenaariossa huomioitiin alaluvussa 3.5 esitettävässä Taulukossa 6 luetelluista kertakustannuksista kaikki muut paitsi esikäsitteilylaitteistoon liittyvät kustannukset. Jäteveden johtaminen nykyisen tulopumppaamon sijaan ilmastusaltaalle edellyttää pieniä putkimuutoksia. Kaikkien skenaarioiden putkimuutokset on koottu kartalle Kuvassa 11. Tässä skenaariossa rakennusten välisten putkimuutosten pituudeksi arvioitiin 51,5 m. Toistuvista kustannuksista huomioitiin kaikki muut kustannustekijät paitsi jätelavojen tyhjennyksestä aiheutuvat kustannukset.

3.4.2 Skenaario varoallas

Tässä skenaariossa vanhan jätevedenpuhdistamon allasrakenteita hyödynnetään tsaus- ja varoaltaina ja jätevedenpuhdistamon ilmastusaltaaseen rakennetaan siirtoviemäripumppaamo. Siirtoviemäripumppaamo rakennetaan varoallasskenaariossa samalla tavalla ja samaan paikkaan kuin aiemmin esitellyssä pumppaamoskenaariossakin. Varoallasskenaariossa tarkasteltiin laajempaa ja suppeampaa toteutusvaihtoehtoa.

Suppeammassa vaihtoehdossa vain ilmastusaltaita käytetään varoaltaina, kun taas laajemmassa vaihtoehdossa myös esiselkeytysaltaat hyödynnetään varoaltaina (Kuva 9). Varoallasskenaariossa ilmastusaltaan ajateltiin täyttyvän ylivuotona ja jäteveden pääsyä esiselkeytysaltille ohjataan venttiilillä.

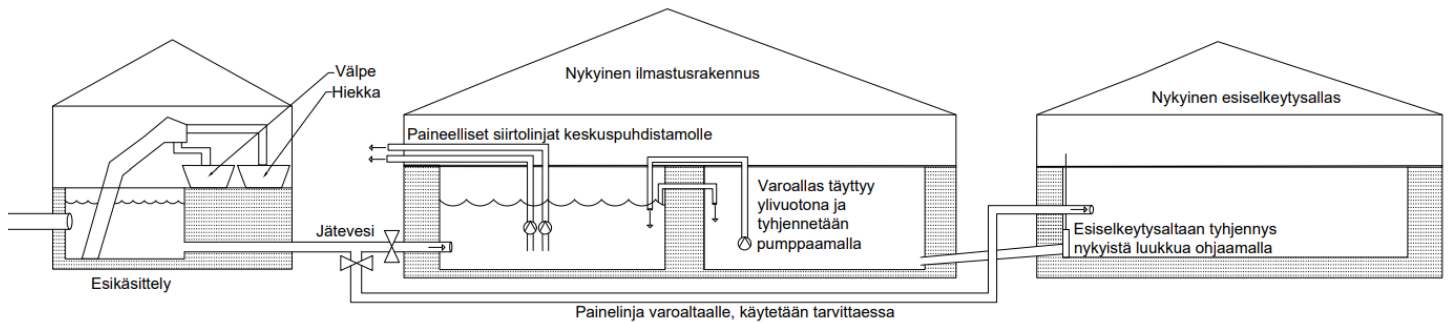


Kuva 9. Havainnekuva skenaariosta, jossa on varoaltaita käytössä. Rakennusten koko ja sijainti ei ole todellinen.

Myöskään varoallasskenaariion toteuttaminen ei vaadi merkittäviä muutoksia jätevedenpuhdistamon nykyisiin rakenteisiin. Varoallasskenaariossa on muuten samat kustannustekijät kuin aiemmin esitellyssä pumppaamoskenaariossa, mutta lisänä on putkiyhteyden rakentaminen nykyiselle esiselkeytysaltille. Mikäli esiselkeytysallas halutaan hyödyntää, tulee rakennusten ulkopuolisen putkilinjan pituudeksi noin 77,5 m, josta esiselkeytysaltille rakennettava osuus on 26 m. Esiselkeytysaltiltaiden hyödyntämisellä olisi mahdollista lisätä varoallaskapasiteettia jopa 960 m³. Ilman esiselkeytysaltaan käyttöä varoallaskapasiteetti muodostuu toisen ilmastusaltaan kapasiteetista, joka on 755 m³. Tällöin rakennettavan putkilinjan pituus on sama kuin pumppaamoskenaariossa eli 51,5 m.

3.4.3 Skenaario esikäsitteily

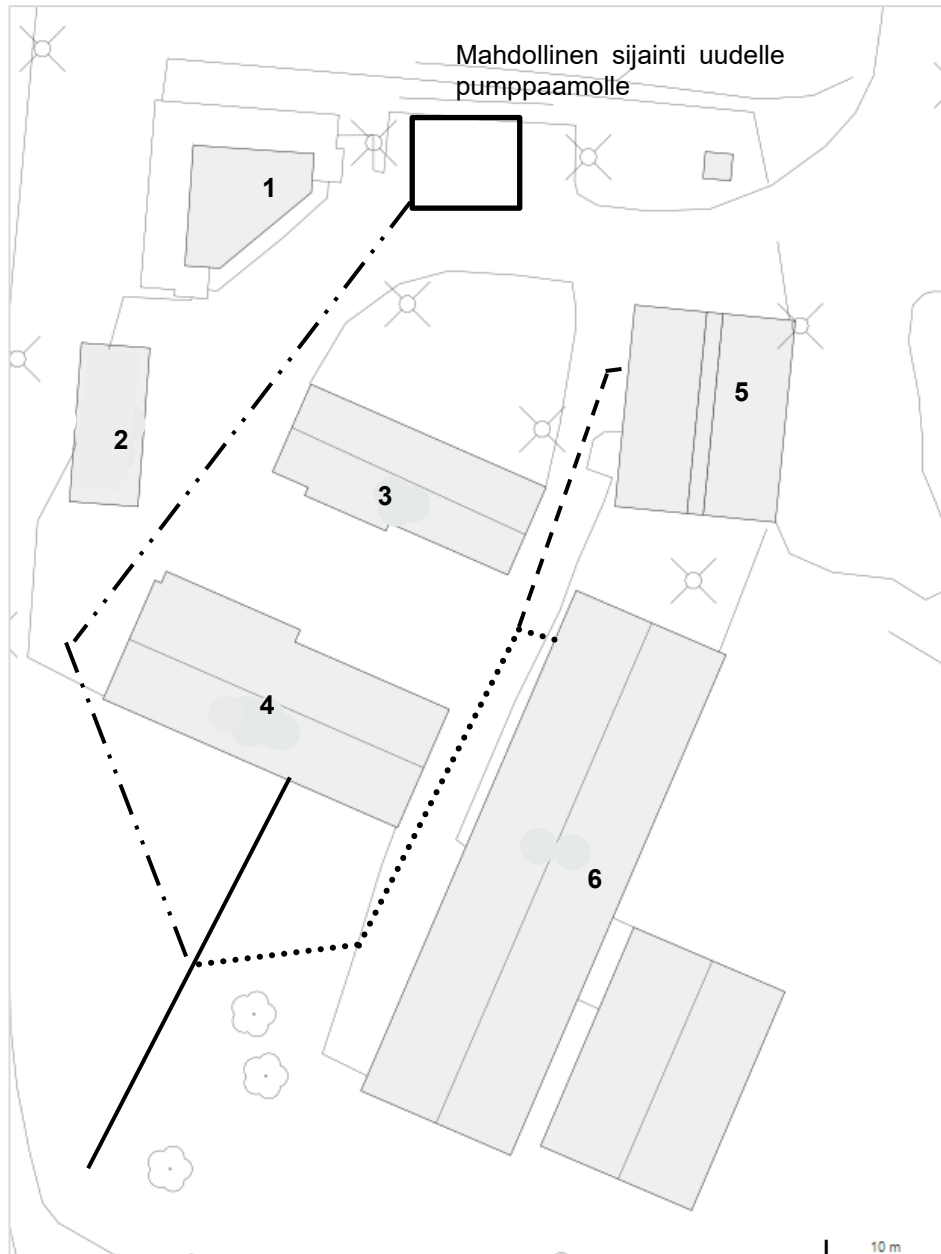
Tässä skenaariossa vanhalle jätevedenpuhdistamolle jätetään välppäys ja hiekanerotus sekä välpe- ja hiekkapesurit käyttöön. Lisäksi allasrakenteita hyödynnetään tasaus- tai varoaltaina ja jätevedenpuhdistamon ilmastusaltaseen rakennetaan siirtoviemäripumppaamo. Koska nykyisten prosessilaitteiden hyödyntämisestä ei ollut ennen haastatteluja juurikaan tietoa, päätettiin tähän skenaarioon sisällyttää myös uusien esikäsitteilylaitteiden hankkiminen tarvittaessa. Näin tehtiin, koska Lempäälän Vesi Oy:llä oli tavoitteena saada myös esikäsitteilyn sisältävä vaihtoehto mukaan kustannusten vertailuun. Melko pian todettiin, että uusi esikäsitteilylaitteisto on välttämätön, jos esikäsitteilyn haluaa toteuttaa. Esikäsitteilyskenaario on muuten toteutukseltaan ja toimintaperiaatteeltaan samanlainen kuin varoallasskenaario, mutta lisänä on välppäys ja hiekanerotus ennen jäteveden päätymistä siirtoviemäripumppaamoon (Kuva 10).



Kuva 10. Havainnekuva esikäsitelyn ja varoaltaat sisältävästä skenaariosta. Rakennusten koko ja sijainti ei ole todellinen.

Esikäsitelyskenaario sisältää muuten samat kustannustekijät kuin kaksi muutakin skenaariota, paitsi pumppaamon puhdistusta 2 kertaa vuodessa. Suurimpana erona pumppaamo- ja varoallasskenaarioon on esikäsitelylaitteiston hankinnasta ja jätteiden kuljuksesta muodostuvien kulujuen huomiointi. Koska esikäsitelyn ja erityisesti hiekan poistamisen jätevedestä todettiin teoriaosuudessa säästävän pumppuja kulumiselta ja siten pidentävän niiden käyttöikää, on tässä skenaariossa oletettu pumpun peruskorjauksen tapahtuvan 7 vuoden välein 5 vuoden sijasta. Lisäksi on oletettu, että hiekan poistaminen pidentää pumppujen käyttöikää 2 vuodella verrattuna skenaarioihin, joissa ei ole esikäsitelyä. Tällöin käyttöiksi tulee 12 vuotta.

Kuvassa 11 esitetään Lempäälän jätevedenpuhdistamon rakennusten sijainti. Kuvaan on luonnosteltu eri skenaarioiden edellyttämät putkimuutokset puhdistamon tontilla sekä vaihtoehdoisen uuden pumppaamon sijainti.



Kuva 11. Lempäälän jätevedenpuhdistamon rakennukset. 1: Sosiaalitilat ja valvomo, 2: Autotalli, 3: Huoltorakennus, 4: Esikäsittelyrakennus, 5: Esiselkeytys ja kemikaalisäiliö ja 6: Ilmastus ja jälkiselkeytys. Kuvaan on merkitty nykyinen paineviemäri tasaisella mustalla viivalla, ilmastusrakennukselle rakennettava linja pisteviivalla ja esiselkeytysrakennukselle rakennettava linja katkoviivalla. Uudelle pumppaamolle rakennettava linja on merkitty pistekatkoviivalla. Pohjakuva on otettu KeyAquesta.

Uusi erillinen pumppaamo sijoitettiin Kuvan 11 mukaiseen paikkaan, jotta voitiin arvioida sinne rakennettavan putkilinjan pituutta kustannusarvion muodostamista varten.

3.5 Kustannusarvio

Kustannuksia arvioitaessa tehtiin ensin joukko oletuksia ja rajoituksia. Ensin määriteltiin, mitkä kustannukset liittyvät kuhunkin skenaarioon. Tätä määrittelyä on avattu tarkemmin alaluvussa 3.4 skenaarioittain. Varsinainen kustannusten vertailu tehtiin keräämällä tietoja Excel-taulukkoon ja laskemalla kullekin skenaariolle suuntaa-antava kustannusarvio toteutuskustannuksista 5, 15 ja 30 vuoden aikajänteellä. Toteutuskustannuksissa huomioitiin niin kertainvestoinnit kuin toistuvat kustannukset. Kertainvestointien jaottelu, sisältö ja hinta-arviot perustuvat vuonna 2022 Lempäälän Vedelle laadittuun siirtoviemärin lähtöpumppaamon yleissuunnitelmaan.

Tässä työssä huomioituja kertainvestointeja olivat rakennuskustannukset, koneistokustannukset, SIA-kustannukset ja LVI-kustannukset. Erillisinä kertakustannuksina oli mahdollista huomioida pumpput, esikäsitteilyyn tarvittava laitteisto sekä rakennusten ulkopuoliset putkimuutokset. Rakennuskustannuksiin sisältyi puhdistamon tiloihin tehtävät muokkaukset, joita rakenteiden hyödyntäminen edellyttää, kuten esimerkiksi teräksisten huoltotasojen ja nostokiskojen rakentaminen. Koneistokustannuksiin kuului rakennusten sisälle rakennettavat uudet putkistot sekä erilaiset laitteet kuten sekoittimet ja mitta-anturit. SIA-kustannukset sisälsivät laitteiden sähköistyksen, automaation toteutuksen ja vanhojen tilojen hyödyntämiseksi tarvittavat rakennusten sähköistyksen muutokset. LVI-kustannukset kattoivat nykyisen ilmastusrakennuksen ilmanvaihdon muutostyöt ja hajunkäsittely-yksikön. Pumppujen hinta-arvio saatiin mahdolliselta laitetoimittajalta samoin kuin esikäsitteilylaitteiston hinta-arvio.

Putkistomuutokset tarkoittavat altaiden hyödyntämiseksi tehtäviä järjestelyitä jätevedenpuhdistamon tontilla. Rakennusten välisten maanalaisten putkistomuutosten kustannukset arvioitiin Fore-laskentaohjelmalla perustuen rakennettavan linjan metrimäärään. Laskentaohjelmassa rakentamisolosuhteiksi valittiin haastavat olosuhteet, sillä se kuvaa tontin tilannetta parhaiten alueen ollessa rakennettua ja tilaa käytettävissä rajallisesti. Kertainvestointien määrä arvioitiin skenaarioittain, jotta saataisiin mahdollisimman kokonaisvaltainen käsitys kustannusten muodostumisesta 5, 15 ja 30 vuoden aikajänteillä.

Kertainvestoinneissa kustannukset huomioitiin kustannuslaskennassa Lempäälän Veden poistosuunnitelman mukaisina poistoina. Rakennuksille käytettiin 7 % menojäännöspoistoa ja kiinteille rakenteille sekä kiinteille laitteille 28 vuoden tasapoistoa. Koneille ja kalustolle käytettiin 25 % menojäännöspoistoa. Koska kustannusarvion tekemisessä käytetyt lähtötiedot olivat suuria kokonaisuuksia, jotka sisälsivät useita erilaisia rakenteita, pyrittiin kokonaisuudelle valitsemaan sitä parhaiten kuvaava poistomenetelmä. Esimerkiksi koneistokustannuksiin on sisällytetty sekä rakennusten sisäiset putkistot että

mitta-laitteet ja sekoittimet. Näistä putkistolle sopivin poisto olisi 28 vuoden tasapoisto, mutta koska putkiston osuutta ei voida määritellä tarkemmin, koneistokustannuksille käytettiin 25 % menojäännöspoistoa.

Toistuvat kustannukset muodostuivat lämmityksestä, pumppujen sähkönkulutuksesta, jätehuollosta ja pumppujen ylläpidosta sekä huollosta aiheutuvista kustannuksista. Muiden laitteiden kuin pumppujen huolto- tai ylläpitokustannuksia ei pystytty tässä tutkimuksessa arvioimaan puutteellisen lähtötiedon takia. Pumppujen sähkönkulutusta arvioitaessa on käytetty laitevalmistajien antamia tietoja esimerkiksi pumpun hyötysuhteesta. Esimerkiksi pumpun hyötysuhde heikkenee vähitellen pumpun kuluessa, joten laskettu sähkönkulutus on suuntaa-antava arvio. Muiden laitteiden kuin pumppujen sähkönkulutusta ei voitu arvioida tässä työssä, sillä lähtötiedot olivat rajallisia. Lisäksi pumppujen sähkönkulutus on muihin laitteisiin verrattuna selkeästi suurinta ja siten oleellisinta tarkastella.

Lempäälän Veden intressinä oli verrata puhdistamon rakenteiden hyödyntämistä sisältävien skenaarioiden kustannuksia myös täysin uuden pumppaamon rakentamisen kustannuksiin. Tässä vertailukohdaksi otettiin Sääksjärven jätevedenpumppaamo, jota rakennetaan parhaillaan. Sääksjärven pumppaamo on kokoluokaltaan hieman suurempi, mutta ominaisuuksiltaan vastaava linjapumppaamo kuin nykyisen jätevedenpuhdistamon tontille rakennettava pumppaamo olisi. Kustannusarvion tekeminen osoittautui ennakoitua haasteellisemmaksi ja lopulta kustannusarvioon sisällytettäviä asioita yksinkertaistettiin ja karsittiin alkuperäisestä suunnitelmasta. Taulukossa 6 on esitetty kustannusarvioiden teossa huomioidut kustannukset sekä kustannusten sisältyminen eri skenaarioihin.

Taulukko 6. *Kustannusarvioiden tekemisessä käytetyt kustannustekijät listattuna skenaarioittain. Rasti tarkoittaa kyseisen kustannustekijän toteutumista vähintään yhden kerran tarkastellussa skenaariossa taulukon osoittamalla ajalla. Taulukossa P=pumppaamo, V=varoallas, E=esikäsittely ja U=uusi, erillinen pumppaamo.*

Kustannustekijä	5 vuoden kuluttua				15 vuoden kuluttua				30 vuoden kuluttua			
	P	V	E	U	P	V	E	U	P	V	E	U
Rakennuskustannukset: pumppaamon vaatimat rakenteet, kuten teräsrakenteet ja nostokiskot	X	X	X	X								
Putkimuutokset ulkona	X	X	X	X								
Koneistokustannukset: pumppaamon sisäiset putkistot, sekoittimet ja muut instrumentit hankintoihin ja asennuksiin	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Pumput: hankinta toteutuu 10 tai 12 vuoden välein	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Sähkö-, instrumentaatio- ja automaatio: pumppujen ja talotekniikan sähköistys ja automaation toteutus	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
LVI-kustannukset: pumppaamotilan muutostyöt ilmanvaihdon osalta ja hajunkäsittely-yksikön hankinta	X	X	X									
Esikäsittelylaitteisto: sisältää välppäyksen ja hiekkanerotuksen sekä laitteiden ohjauskeskukset			X								X	
Pumppujen vuosihuolto: Sisältää huoltotyön ja mahdolliset varaosat, toteutuu kerran vuodessa	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Pumppujen peruskorjaus: puolella välissä pumpun elinkaarta toteutettava suurempi huolto, 50 % pumpun hankintahinnasta, toteutuu 5 tai 7 vuoden välein	X	X		X	X	X	X	X	X	X		X
Pumppaamon puhdistus imuautolla: Toteutetaan vaihtoehtona esikäsittelylle, toteutuu 2 kertaa vuodessa	X	X		X	X		X		X	X		X
Jätelavojen tyhjennys: Välpe- ja hiekka-astioiden tyhjennys, toteutuu 52 kertaa vuodessa			X				X				X	
Rakennusten lämmitys	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Sähkö pumppaukseen: kuutiomäärään perustuen	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

Taulukossa 6 esitetyt kustannustekijät eivät ole samansuuruisia eri skenaarioissa, vaan taulukolla on pyritty havainnollistamaan eri kustannusten esiintymistä eri skenaarioissa vertailun helpottamiseksi. Viiden vuoden tarkasteluajalle on esimerkiksi sisällytetty kaikki kertakustannukset, joita tarvitaan rakentamisessa ja hyödynnettävien rakenteiden käyttönotossa. Kustannuksia laskettaessa tarvittiin monia lähtöarvoja ja -tietoja (Taulukko 7). Lähtöarvot on kerätty Lempäälän Veden materiaaleista, laitetoimittajilta ja haastatte- luista.

Taulukko 7. Kustannusarvion tekemiseen käytetyt lähtöarvot. Käyttökohde sarakkeessa on mainittu, minkä asian laskemiseen kyseistä tietoa on käytetty.

Lähtötieto	Laskennassa käytetty arvo	Poisto-suunnitelma	Käyttökohde
Pumppujen lukumäärä [kpl]	6		Pumppujen hankinta
Pumpun hinta [€/kpl]	12000 tai 13000	25 % meno-jäännöspoisto	Pumppujen huolto Pumppujen hankinta Pumppujen peruskorjaus
Pumpun vuosihuolto [€/kpl]	2300		Pumppujen huolto
Pumpun peruskorjaus [€/kpl]	0,5*pumpun hinta		Pumppujen huolto
Rakennuskustannukset [€]	60 000 tai 1 000 000	7 % meno-jäännöspoisto	
Koneistokustannukset [€]	118 000	25 % meno-jäännöspoisto	
SIA-kustannukset [€]	120 000	25 % meno-jäännöspoisto	
LVI-kustannukset [€]	30 000	25 % meno-jäännöspoisto	
Esikäsitteilylaitteisto [€]	171 000	25 % meno-jäännöspoisto	
Esikäsitteilylaitteiston käyttöikä [a]	30		
Paineviemärin rakentaminen [€/m]	141,41		Maanalaiset putkimuutokset
Rakennettavan paineviemärin pituus [m]	51,5 tai 77,5 tai 85	28 vuoden tasapoisto	Maanalaiset putkimuutokset
Pumpulta vaadittava nostokorkeus [m]	43		Pumppauksen sähkönkulutus
Pumpun hyötysuhde	0,609		Pumppauksen sähkönkulutus
Sähkön hinta [€/kWh]	0,1		Pumppauksen sähkönkulutus
Kaukolämmön hinta [€/kWh]	0,08		Rakennusten lämmitys
Keskimääräinen virtaama [m³/a]	766 500 – 1 208 000		Pumppauksen sähkönkulutus
Pumppaamon puhdistus imuautolla [€/krt]	3000		Huoltokulut
Jäteastian tyhjennys [€/krt]	8,06		Jätehuoltokulut
Rakennusten lämmitys [€/a]	8970 tai 13255		
Uuden pumppaamon lämmitys [€/a]	2170		
Toistuvuudet			
Pumpun peruskorjausväli [a]	5 tai 7		Pumppujen huolto
Pumpun käyttöikä [a]	10 tai 12		Pumppujen hankinta
Pumppaamon puhdistus imuautolla [krt/a]	2		Huoltokulut
Jäteastian tyhjennys [krt/a]	52		Jätehuoltokulut

Laskut olivat suurimmaksi osaksi kertolaskuja, joissa esimerkiksi laskettiin toistuvan tapahtuman vuodessa muodostuvat kustannukset. Esimerkiksi pumppujen huollon vuosittainen kustannus saatiin kertomalla pumppujen lukumäärä pumpun vuosihuollon hinnalla. Lähtöpumppaamon yleissuunnitelmasta saadut kustannukset sisällytettiin kustannusarvioihin sellaisenaan koneistokustannuksia lukuun ottamatta. Koneistokustannukset sisälsivät yleissuunnitelmassa myös hankittavat pumput, joten pumppujen hankintahinta vähennettiin koneistokustannuksista. Tällä tavoin oli mahdollista vertailla skenaariota, jossa pumput ovat joko isommat, tai ne täytyy peruskorjata tai uusia useammin.

Pumppujen sähkönkulutusta arvioitiin pumpattavan kuutiomäärän avulla kaavan 3 mukaisesti

$$E_{sp} = \frac{g \cdot H}{\eta \cdot 3600} \quad (3)$$

missä E_{sp} on yhden kuutiometrin pumppaamiseen tarvittava energia [kWh/m³], g on putoamiskiihtyvyys, H on pumpun nostokorkeus toimintapisteessä ja η on pumpun kokonaishyötysuhde (Grundfos). 3600 on kaavassa jakajana, jotta saadaan energian yksiköksi kilowattitunti. Kun oli laskettu yhden kuutiometrin pumppaamiseen tarvittava energia, saatiin vuoden energiankulutus kertomalla saatu arvo vuoden keskimääräisellä virtaamalla. Energiankulutuksen kustannus saatiin kertomalla vuoden energiankulutus sähkön hinnalla. Sähkön hinnan oletettiin pysyvän samana koko tarkastelujakson ajan.

Koska Lempäälän kunnan asukasmäärän ja siten myös muodostuvan jäteveden määrän on arvioitu kasvavan voimakkaasti, täytyi laskennassa huomioida virtaaman kasvu. Kasvun oletettiin tapahtuvan lineaarisesti, koska tarkempaa arviota ei ollut saatavissa ja sen arvioitiin kuvaavan väkiluvun muutosta parhaiten. Lähtötietona oli vuoden 2022 toteutunut virtaama sekä arviot vuoden 2026 ja 2040 virtaamista. Näiden kolmen pisteen avulla muodostettiin lineaarinen sovite Excelillä ja arvioitiin vuosittaiset keskimääräiset virtaamat kuvaajalta. Arvio vuosittaisista virtaamista ja niiden perusteella lasketusta pumppauksen sähkönkulutuksen kustannuksista on esitetty liitteessä B.

Yksi tutkimusskenaarioista sisälsi esikäsittelyn pumppaamon yhteydessä. Tähän skenaarioon arvioitiin muodostuvien jätteiden käsittelyn kustannukset. Oletettiin, että jäteasiat tyhjennetään kerran viikossa. Jäteastioiden tyhjennysmaksun oletettiin pysyvän koko tarkastellun ajan samana kuin vuonna 2022. Esikäsittelyn oletettiin pidentävän pumpun käyttöikä kahdella vuodella. Samoin pumpun peruskorjauksen tarpeen oletettiin siirtyvän kahdella vuodella. Muihin skenaarioihin oletettiin tarpeelliseksi pumppaamon imualtaan puhdistaminen kaksi kertaa vuodessa roskien ja hiekan kertymisen ehkäisemiseksi sekä pumpputukosten välttämiseksi.

Pumppujen huollosta tehtiin oletus, että vuosihuolto suoritetaan kerran vuodessa jokaiselle kuudelle pumpulle, vaikka 1 tai 2 niistä on varapumppuja eikä siten varsinaisesti käytössä. Pumpun peruskorjaus oletettiin tehtävän joko 5 tai 7 vuoden välein, riippuen tutkimusskenaariosta. Lisäksi oletettiin pumppujen kestävän 10 tai 12 vuotta tutkimusskenaarion mukaan, minkä jälkeen hankitaan uudet vastaavat tilalle. Pumpun hankintahinnan oletettiin pysyvän samana koko tarkastelujakson ajan.

Rakenteiden hyödyntämiseksi tarvittavaa lämmitysenergiaa arvioitiin Ympäristöministeriön lämmitystehontarpeen laskennan mukaisesti (Ympäristöministeriö 2018). Tarvittava lämmitysenergian määrä laskettiin ilmastusrakennukselle ja esiselkeytysrakennukselle. Pumppaamoskenaarion kustannuksissa huomioitiin ilmastusrakennuksen lämmitysenergian tarve, varoallasskenaariossa pelkkä ilmastusrakennuksen tai molempien rakennusten lämmitysenergian tarve ja esiselkeytyskenaariossa molempien rakennusten lämmitysenergian tarve. Vertailun vuoksi arvioitiin myös uuden, erillisen pumppaamoraakennuksen lämmitysenergian tarvetta. Kustannusarvioissa käytetty lämmitysenergian tarve kuutiometriä kohti laskettiin kaavalla 4:

$$Q = \sum U_i A_i (T_s - T_u) \Delta t / 1000 \quad (4)$$

missä Q on lämmitysenergian tarve kilowattitunteina, U_i on rakennusosan lämmönläpäisykerroin, A_i on rakennusosan pinta-ala, T_s on rakennuksen sisälämpötila, T_u on kylmin ulkolämpötila, Δt on tarkastellun ajan pituus ja 1000 on kerroin, jolla tulos saadaan yksikössä kWh/m³ (Ympäristöministeriö 2018, s. 17). Rakennusten lämmitysenergian laskeminen on esitetty tarkemmin liitteessä C. Lasketun lämmitysenergian avulla saatiin laskettua lämmityksen kustannus, kun kerrottiin energiankulutus kaukolämmön hinnalla. Kaukolämpö valittiin kaikkiin skenaarioihin lämmitysenergian lähteeksi, sillä se on Lemppälän Vedellä lämmitysmuotona nykyisellä puhdistamalla.

4. TEEMOITTELUN TULOKSET JA RAKENTEIDEN HYÖDYNTÄMISEN VAIKUTUSTEN ARVIOINTI

Tässä luvussa käydään läpi työn tulokset sekä arvioidaan niitä. Alaluvussa 4.1 esitellään haastatteluiden tulokset ja käsitellään niitä tutkimusskenaarioiden avulla. Alaluvussa 4.2 käydään läpi haastatteluissa esiin nousseet tulokset, jotka eivät sisällyneet sellaisenaan mihinkään tutkimusskenaarioon. Alaluvussa 4.3 vertaillaan eri tutkimusskenaarioiden kustannusarvioita.

4.1 Tunnistetut hyödyntämismvaihtoehdot rakenteille

Haastatteluiden aineistosta muodostettiin teemoittelemalla kuusi keskusteluissa toistunutta teemaa tai asiakokonaisuutta, joiden avulla voidaan vastata tutkimuskysymyksiin. Alaluvussa 4.1.1 esitellään haastatteluiden pohjalta muodostetut teemat. Jokaista teemaa käsitellään tarkemmin alaluvuissa 4.1.2–4.1.7.

4.1.1 Haastatteluiden tuloksista muodostetut teemat

Haastatteluiden aikana käytiin useita hyviä keskusteluja ja saatiin kerättyä paljon kokemuseräistä tietoa tutkimusaiheesta niin suunnittelun kuin käytännön toteutuksen näkökulmasta. Haastatteluiden perusteella muodostettiin 6 teemaa (Taulukko 8).

Taulukko 8. *Haastatteluiden pohjalta muodostetut teemat.*

1.	Lähtökohta käytöstä poistuvan jätevedenpuhdistamon rakenteiden hyödyntämiselle tulisi olla uuden keskuspuhdistamon riskianalyysi ja hyödyntämistä mieltä tunnistettujen riskien tarpeiden pohjalta.
2.	Jätevesiverkoston toimintavarmuuden merkitys korostuu entisestään ilmastonmuutoksen myötä ja rakenteita hyödyntämällä voidaan lisätä toimintavarmuutta.
3.	Jätevedenpuhdistamon altaiden hyödyntäminen.
4.	Esikäsittelyn eli välppäyksen ja hiekanerotuksen tarpeellisuus siirtoviemäripumppaamalla ja esikäsittelyn vaikutukset.
5.	Jätevedenpuhdistamon käytettyjen laitteiden hyödyntäminen.
6.	Rakenteiden hyödyntämisen taloudelliset vaikutukset.

Teemat 1 ja 2 liittyvät selvästi vesilaitoksen toimintavarmuuteen. Niihin sisältyy sekä viemäriverkoston että jätevedenpuhdistamon toimintavarmuus. Kiertotalouteen liittyviä teemoja ovat erityisesti teemat 3 ja 5. Kiertotalouden kolme peruseriaatetta ovat jätteen synnyn poistaminen, resurssien kierrossa pitäminen ja luonnon systeemien uudistaminen (Ellen MacArthur Foundation 2024). Jätevedenpuhdistamon rakenteiden hyödyntäminen liittyy oleellisesti kiertotalouteen, sillä hyödyntämällä rakenteita voidaan toisaalta vähentää jätteen syntymistä ja toisaalta käyttää olemassa olevia resursseja pidempään.

VVY:n visiona on maailman toimivin vesihuolto 2030 ja VVY on laatinut 6 strategista tavoitetta vision saavuttamiseksi. Yksi strateginen tavoite on, että vesihuoltoala on bio- ja kiertotalouden sekä kestävän kehityksen edelläkävijä 2030 mennessä (VVY 2024). Teemat 3 ja 5 liittyvät suoraan VVY:n strategiseen tavoitteeseen kiertotalouden osalta, mutta yhtymäkohtia kiertotalouteen voi nähdä lisäksi myös teemoissa 1 ja 2. Toisaalta myös viemäriverkoston toimintavarmuus voidaan nähdä osana kiertotaloutta, sillä silloin minimoidaan esimerkiksi vesistöjen pilaantumista (Arup et al. 2019). Myös teema 6 voidaan liittää VVY:n strategiseen tavoitteeseen toimintaedellytysten turvaamisesta, jossa yhtenä osatavoitteena on omaisuudenhallinta ja taloudellinen toimintavarmuus.

Seuraavissa alaluvuissa käsitellään Taulukossa 8 esitetyt teemat esimerkkien avulla ja pohditaan, mitkä tuloksista ovat yleistettävissä ja mitkä liittyvät tutkimuksen kohdepuhdistamoon. Jokaisesta teemasta esitetään muutama tärkeimmäksi koettu huomio taulukon muodossa alaluvun aluksi. Huomio koettiin tärkeäksi, jos se toistui usean haastattelun vastauksissa, oli itsessään laajempi asiakokonaisuus, josta keskusteltiin haastattelun aikana enemmän tai se toi uuden näkökulman asiasta. Taulukoidut huomiot avataan taulukon jälkeisessä tekstissä tarkemmin esimerkkien kera. Lopuksi pohditaan niiden vaikutuksia tai soveltuvuutta Lempäälän Veden tapauksessa, sekä kyseisten huomioiden yleistettävyyttä.

4.1.2 Lähtökohdat käytöstä poistuvan jätevedenpuhdistamon rakenteiden hyödyntämiselle

Käytöstä poistuvan jätevedenpuhdistamon rakenteiden hyödyntämisen selvittäminen tulisi sisällyttää tarkasteluihin yhtenä vaihtoehtona, kun mietitään uuden jätevedenpuhdistamon rakentamista tai osallistumista seudulliseen keskuspuhdistamohankkeeseen. Taulukossa 9 on esitetty rakenteiden hyödyntämisen lähtökohtiin liittyvät huomiot.

Taulukko 9. *Tärkeimmät huomiot käytöstä poistuvan jätevedenpuhdistamon rakenteiden hyödyntämisen lähtökohdista sekä huomioiden yhteys tutkimuksessa käytettyihin skenaarioihin.*

Tärkeimmät huomiot	Tutkimusskenaariot, joihin huomiot liittyvät		
	Pumppaamo	Varoallas	Esikäsittely
Hyödyntämisen huomioiminen jo uutta keskuspuhdistamoa suunniteltaessa esimerkiksi riskianalyysin pohjalta.	X	X	X
Tarvitaanko tasaus- tai varoallaskapasiteettia verkoston toiminnan tai keskuspuhdistamon toiminnan varmistamiseksi?		X	X
Onko vanhaa jätevedenpuhdistamoa mahdollista hyödyntää altaiden ja rakennusten kunnan perusteella?	X	X	X
Mitkä rakenteet ovat soveltuvia hyödyntämiseen?	X	X	X
Mahdollistaako alueen maankäyttö hyödyntämisen, onko esimerkiksi alueen kaavoitus muuttumassa lähitulevaisuudessa?	X	X	X

Lähes jokaisessa haastattelussa esiin nousi useita yleistettäviä asioita, joita kannattaa huomioida jo keskuspuhdistamon hankesuunnitelmavaiheessa, mikäli pohditaan käytöstä poistuvan jätevedenpuhdistamon rakenteiden hyödyntämistä. Rakenteiden hyödyntämisessä pätee sama sääntö kuin monessa muussakin projektityössä: mitä aikaisemmassa vaiheessa rakenteiden hyödyntäminen otetaan mukaan suunnitteluun, sitä enemmän on vaihtoehtoisia toteutustapoja ja sitä enemmän voidaan vaikuttaa esimerkiksi kustannuksiin (Artto et al. 2006 s. 151–153). Toisin sanoen rakenteiden hyödyntämistä tai mahdollisuutta siihen kannattaa lähteä kartoittamaan jo hankkeen alussa muun selvitystyön yhteydessä. Rakenteiden hyödyntämisen mahdollisuuksia voidaan tarkentaa suunnittelun edetessä esimerkiksi esisuunnitteluun, yleissuunnitteluun ja toteutus-suunnitteluun.

Kaikki haastateltavat olivat yhtä mieltä siitä, että puhdistamon rakenteiden kunto määrittää pitkälti sen, onko hyödyntäminen mahdollista vai ei. Tämä koskee erityisesti betoni- sia allasrakenteita, sillä niihin on voinut muodostua syöpymiä rikkivetyä hapettavien bakteerien muodostamasta rikkihaposta (Hewlett 2003 s. 327). Katetuilla altailla myös niiden yläpuolisten rakennuksien kunto täytyy selvittää hyödyntämisen kokonaiskustannusten arvioimiseksi. Toisin sanoen suunnitteluvaiheessa tulee selvittää, mitkä kaikki rakenteet ovat hyödyntämiskelpoisia sellaisenaan ilman saneerausta ja mitkä vasta saneerauksen jälkeen.

Keskuspuhdistamohankkeen myötä pienempien puhdistamoiden alueelle voi olla suunnitteilla maankäytön muutoksia. Käytöstä poistuvan jätevedenpuhdistamon rakenteiden hyödyntämisen näkökulmasta on oleellista selvittää, muuttuuko alueen maankäyttö tulevaisuudessa vai onko puhdistamo rakenteineen mahdollista säilyttää nykyisellä paikallaan. Osa haastatelluista totesi jätevedenpuhdistamoiden sijaitsevan usein esimerkiksi asuntorakentamisen kannalta hyvillä paikoilla, jolloin taloudellinen paine voi estää rakenteiden hyödyntämisen. Esimerkiksi Kalajoen kaupunki päätti purkaa vanhan jätevedenpuhdistamon asuinrakentamisen tieltä, sillä se oli hyvällä sijainnilla. Myös Espoon Suomenojan jätevedenpuhdistamo aiotaan purkaa asumisen tieltä ja alueella on meneillään kaavoituksen muutostyö (Espoon kaupunki 2023).

Toinen jo keskuspuhdistamon suunnitteluvaiheessa huomioitava asia on mahdollinen tarve jäteveden viivytykselle jossain kohtaa verkostoa. Uutta keskuspuhdistamoa suunnitellessa on tärkeää tehdä hankkeelle riskianalyysi, jossa yhtenä osa-alueena tarkastellaan jätevesiverkoston toimintavarmuutta uuden laitoksen alueella. Mikäli riskianalyyssissä huomataan viivytykselle olevan tarvetta, on selvitettävä mahdolliset viivytyspaikat ja käytöstä poistuva jätevedenpuhdistamo on yksi vaihtoehto.

Lempäälän Veden näkökulmasta oleellisimmat lähtökohdat rakenteiden hyödyntämiselle oli jo selvitetty ennen tämän työn toteuttamista. Esimerkiksi Lempäälän nykyisen jätevedenpuhdistamon vanhimpia ilmastusaltaita ei aiota hyödyntää, koska käytettävissä on uudempiakin altaita. Hyödynnettäviksi valittujen altaiden ja rakennusten rakenteet ovat verrattain uusia ja siten hyväkuntoisia. Esimerkiksi vuonna 2022 laaditussa siirtoviemärin lähtöpumppaamon yleissuunnitelmassa on todettu rakenteiden olevan hyödynnettävissä ilman lisätoimenpiteitä (Sweco 2022). Vaikka jäteveden puhdistaminen loppuu nykyisellä puhdistamolla, on tontille joka tapauksessa jäämässä Lempäälän Veden henkilöstön tilat, korjaamo ja autotalli. Toistaiseksi puhdistamon alueelle ei ole tiedossa kaavamuutoksia, jotka estäisivät rakenteiden hyödyntämisen lähitulevaisuudessa.

Lempäälästä tulevien jätevesien osuus on uuden keskuspuhdistamon virtaamasta noin 6 %. Suhteellisen pienen osuuden takia virtaaman vaihtelu Lempäälässä ei ole merkittävä tekijä keskuspuhdistamon toimintaan liittyviä riskejä arvioitaessa. Virtaaman tasaaaminen on Lempäälän Veden näkökulmasta tärkeämpää, sillä etenkin hetkelliset suuret virtaamat aiheuttavat riskin ylivuodoista ja lisäävät energiankulutusta.

4.1.3 Jätevesiverkoston toimintavarmuuden lisääminen rakenteita hyödyntämällä

Toinen haastatteluiden tuloksista muodostettu teema käsitteli jätevesiverkoston toimintavarmuutta (Taulukko 10). Ilmastomuutoksen todettiin vaikuttavan toimintavarmuuteen merkittävästi tulevaisuudessa.

Taulukko 10. *Tärkeimmät huomiot käytöstä poistuvan jätevedenpuhdistamon rakenteiden hyödyntämisen vaikutuksista verkoston toimintavarmuuteen sekä huomioiden yhteys käytettyihin tutkimusskenaarioihin.*

Tärkeimmät huomiot	Tutkimusskenaariot, joihin huomiot liittyvät		
	Pumppaamo	Varoallas	Esikäsitteily
Tasaus- tai varoaltilla voidaan vähentää jäteveden ohjuoksutustilanteita ja siten suojella vesistöjen tilaa.		X	X
Veden varastointikapasiteetti verkostossa antaa vesilaitokselle aikaa toimia huolto- ja vikatilanteissa.		X	X
Energiansäästö pumppauksissa tasaisemman virtaaman myötä.		X	X
Keskuspuhdistamon tasainen kuormitus ja siten paremmat toimintaedellytykset puhdistusprosesseille.			

Käytöstä poistuvan jätevedenpuhdistamon altaita voi hyödyntää jätevesien viivytykseen. Kaikki haastatellut pitivät altaiden hyödyntämistä tasaus- tai varoaltaina järkevänä, jos se on muiden tekijöiden kuten altaiden kunnan puolesta mahdollista. Haastateltujen kokemusten perusteella vanhoja altaita hyödyntämällä voi saavuttaa monenlaisia hyötyjä riippuen siitä, mitä tapauskohtaisesti tavoitellaan. Yksi altaiden käytön hyöty on jäteveden ohjuoksutustilanteiden vähentyminen verkoston kapasiteetin kasvun myötä. Ohjuoksutukselle voi olla tarvetta keväisin lumien sulamisaikaan tai yllättävissä vikatilanteissa. Ohjuoksutustilanteiden väheneminen on ympäristön näkökulmasta hyvä asia, sillä tällöin vesistöihin päätyy vähemmän käsittelemätöntä jätevettä ja siten vähemmän muun muassa ravinteita, orgaanista ainesta sekä terveydelle haitallisia mikrobeja (Castrén 2015).

Lisäksi haastatteluissa nousi esiin ilmastomuutoksen vaikutus viemäriverkoston toimintavarmuuteen. Poikkeavat virtaaman vaihtelut johtuvat verkostoon päätyvistä vuotovesistä ja tilanteen voidaan olettaa pahenevan ilmastomuutoksen seurauksena, mikäli verkoston vuotavuutta ei saada vähennettyä (Laitinen et al. 2022). Tämä on riskinä etenkin, jos verkostoja saneerataan tulevaisuudessa nykyiseen tahtiin (Silfverberg 2017). Tällöin tarve jäteveden viivytykselle voi olla tulevaisuudessa suurempi kuin nykyisin. Ilmastomuutoksen aiheuttama rankkasateiden yleistyminen vaikuttaa myös Lempäälän

Veden toimintaan. Kuvassa 7 esitetystä vuosien 2020–2023 tulovirtaamasta on nähtävissä selkeä virtaaman kasvu keväisin ja yksittäisinä lyhyempinä ajanjaksoina. Tästä näkökulmasta virtaaman tasaaminen on Lempäälän Veden kannalta järkevää, sillä suuret huippuvirtaamat voivat aiheuttaa ylivuotoja.

Verkostoa operoivan vesilaitoksen näkökulmasta mahdollisuus varastoida jätevedettä varoaltaihin antaa aikaa toimia vikatilanteissa. Lisäksi varoaltaiden käyttömahdollisuus voi helpottaa esimerkiksi siirtoviemäriin pumppujen tai pumppaamoiden huoltojen suunnittelua ja toteutusta. Ohjuokсутusriskin pienentymisen koettiin haastatteluissa olevan myös positiivinen vesilaitoksen imagoon vaikuttava asia.

Energiankulutuksen yhteys tasauslaitosten käyttöön mainittiin useassa haastattelussa. Jätevedettä varastoimalla vesilaitos pystyy tasoittamaan altaalta lähtevän jäteveden määrää ja siten optimoimaan pumppauksen energiankulutusta (Fecarotta et al. 2018). Lisäksi huippuvirtaamat kasvattavat pumppauksen sähkönkulutusta hetkellisesti, mutta tasaamalla virtaamaa voidaan vähentää virtaamahuippujen kustannusvaikutusta (Barry 2007). Pumppauksesta muodostuvan energiansäästön nähtiin koostuvan pääasiassa kahdesta tekijästä: tasaisemman virtaaman myötä pumput pystyvät toimimaan suuremman ajan niiden optimialueella, jolloin niiden hyötysuhde on korkeampi sekä kaikki pumput tai osa niistä voivat olla pienempiä kooltaan, jolloin ne kuluttavat vähemmän energiaa. Lisäksi todettiin, että tarkalla optimoinnilla on mahdollista ajoittaa jäteveden pumppaaminen hetkiin, kun sähkö on edullisempaa ja saavuttaa säästöjä sitä kautta.

Eräs haastateltu piti virtaaman tasaamista ehdottoman hyvänä asiana, mutta muistutti samalla jätevesiverkoston tarvitsevan välillä myös suurempia virtausnopeuksia ”huuhtelemaan” verkostoa. Hänen mukaansa erityisesti paineellisissa pidemmissä siirtolinjoissa on riski runsaammalle rikkivedyn muodostumiselle, mikäli putken seinämiin pääsee muodostumaan biofilmi tasaisen ja alhaisemman virtausnopeuden seurauksena. Rikkivety aiheuttaa hajuhaittoja ja voi nopeuttaa esimerkiksi betonin ja sähkölaitteiden korroosiota siellä, missä se purkautuu ilmaan ja rikkihappoa pääsee muodostumaan (Hewlett 2003, s. 327). Tämän ongelman hillitsemiseksi haastateltu henkilö suositteli virtaaman nostamista hetkellisesti säännöllisin väliajoin, jolloin verkostoon muodostuvaa biofilmin kasvua ja rikkivedyn muodostumista saataisiin vähennettyä.

Edellä mainitut asiat altain hyödyntämisestä hyödyttävät erityisesti sitä vesilaitosta, jonka toiminta-alueella ollaan ja joka vastaa siirtoviemäriin pumppauksista. Haastatteluissa virtaaman tasauksella todettiin olevan vaikutusta myös keskuspuhdistamon toimintaan etenkin, jos jäteveden viivytyks tapahtuu keskuspuhdistamon kuormituksen kan-

nalta merkittäväällä verkoston alueella. Tällöin hyötyä saadaan keskuspuhdistamolle tulevan virtaaman tasaamisesta ja siten mahdollisimman tasaisen kuormituksen saavuttamisesta, jolloin prosessiolosuhteet pysyvät tasaisempina (Davis 2020 luku 18). Tällä todettiin olevan merkitystä erityisesti silloin, jos keskuspuhdistamolla ei ole juuri tasausmahdollisuutta ennen jäteveden johtamista käsittelyprosesseihin. Tampereen seudun keskuspuhdistamon ja Lempäälän Veden tapauksessa Lempäälästä tulevan virtaaman tasaamisella ei ole juurikaan vaikutusta keskuspuhdistamon toimintaan, sillä Lempäälän kunnan osuus tulevasta kokonaisvirtaamasta on vain 6 %:n luokkaa. Lisäksi Tampereen Sulkavuoreen rakennetulla jätevedenpuhdistamolla on tilavuudeltaan suuri tulotunneli, jossa virtaamaa on mahdollista tasata tehokkaasti (Keskuspuhdistamo 2023). Tulotunnelin säätökapasiteetin on arvioitu olevan yli 40 000 m³.

Lempäälän Veden tapauksessa verkoston toimintavarmuuden parantaminen on selkeä syy hyödyntää käytöstä poistuvia altaita verkoston kapasiteettina. Välimatkat tulevien siirtoviemäriinliinaan liittyvien pumppaamoiden välillä ovat Lempäälässä muutamia kilometrejä, joten häiriötilanteessa nopea reagointi on mahdollista. Varoallaskapasiteetista ei kuitenkaan ole haittaa häiriötilanteissa. Lisäksi varoallaskapasiteetti on hyödyllistä huoltotilanteita ajatellen. Tällöin voidaan esimerkiksi pysäyttää jäteveden pumppaus hetkellisesti ja toteuttaa huoltotyö tehokkaammin tai turvallisemmin. Toimintavarmuuden parantumisella ja ohitusriskin pienenemisellä voidaan ajatella olevan Lempäälän Vedelle positiivinen imagovaikutus.

Energian säästäminen jäteveden pumppauksissa on taloudellisesti yksi merkittävimmistä tekijöistä altaiden hyödyntämisessä myös Lempäälän Veden tapauksessa. Suuri tasausallas mahdollistaa pumppujen operoimisen niiden optimitoiminta-alueella, jolloin pumpun hyötysuhde on suurin. Suuremmalla pumppaamon imualtaalla on myös mahdollista vähentää pumppujen käynnistymiskertoja pinnan pysyessä tasaisena, mikä säästää sekä pumppua että sähköä. Lempäälän Veden kannalta pumppaamo on järkevää rakentaa vanhaan ilmastusaltaaseen, sillä tällöin pumppujen koko ja toiminta on mahdollista optimoida.

Mikäli taloudellinen hyöty halutaan maksimoida, täytyy pumppujen mitoittamiseen ja ajo-tapaan kiinnittää erityistä huomiota (Barry 2007, Fecarotta et al. 2018). Vaikutusten havainnollistaminen esimerkiksi mallintamalla voisi auttaa löytämään vesilaitokselle parhaimmin soveltuvan ajotavan operoida suurella tasauskapasiteetilla varustettua pumppaamo. Mallissa voisi tarkastella taajuusmuuntajalla ohjatun pumpun toimintaa suuren tasauskapasiteetin omaavassa pumppaamossa ja verrata tuloksia vastaavan pumpun toimintaan normaalissa jätevedenpumppaamossa, missä ei ole juurikaan tasauskapasiteettia.

4.1.4 Altaiden hyödyntäminen

Altaiden hyödyntämisestä keskusteltiin haastatteluissa paljon ja se liittyy oleellisesti edellisessä alaluvussa käsitellyn toimintavarmuuden parantamiseen. Altaiden hyödyntämisestä nousi esiin muutamia käytäntöön liittyviä huomioita (Taulukko 11).

Taulukko 11. *Tärkeimmät huomiot käytöstä poistuvan jätevedenpuhdistamon altaiden hyödyntämisestä sekä huomioiden yhteys tutkimuksessa käytettyihin skenaarioihin.*

Tärkeimmät huomiot	Tutkimusskenaariot, joihin huomiot liittyvät		
	Pumppaamo	Varoallas	Esikäsitteily
Kuinka isoa osaa allaskapasiteetista halutaan tai voidaan hyödyntää?		X	X
Kiintoaineen laskeutuminen, jos isosta altaasta tehdään esimerkiksi pumppaamon imuallas.	X	X	X
Tiedostettava se riski, että joku yllättävä asia huomataan vasta allasta tyhjennettäessä.	X	X	X

Haastateltujen kokemusten perusteella vanhan jätevedenpuhdistamon allaskapasiteetista ei yleensä ole hyödynnetty kaikkea allastilavuutta varo- tai tasausaltaiksi. Syyksi tälle mainittiin muun muassa joidenkin altaiden huonompi kunto, hyödyntämisen kannalta huonompi sijainti tai korkeustaso sekä tarve jättää joku prosessitila tyhjäksi muuta käyttöä varten. Hyödyntämisen kannalta huonommalla sijainnilla tarkoitettiin sitä, että altaan hyödyntäminen olisi vaatinut esimerkiksi ylimääräistä pumppaamista tai merkittävämpiä putkimuutoksia. Näiden lisäksi myös kattamattomien altaiden hyödyntämiseen suhtauduttiin haastatteluissa varauksellisimmin, sillä niillä arvioitiin olevan suurempi riski routavaurioille kuin katetuilla altailla.

Eräs haastatteluissa esiin noussut seikka oli kiintoaineen laskeutuminen altaan pohjalle. Tätä pidettiin merkittävänä tekijänä erityisesti niissä tilanteissa, missä hyödynnettävän altaan olisi tarkoitus toimia jätevedenpumppaamon imualtaana. Jätevesipumppaamoiden imualtaiden suunnittelulle esitetään alaluvussa 2.6 useita reunaehtoja, joilla pyritään varmistamaan pumppaamon toiminta ja esimerkiksi ehkäisemään kiintoaineen laskeutumista. Kiintoaine alkaa laskeutua, kun veden virtausnopeuden aiheuttama noste on pienempi kuin painovoiman partikkeliin kohdistama voima (Davis 2020 luku 10–2). Tällaisissa olosuhteissa laskeutuvat partikkelit olisivat todennäköisesti hiekkaa, tiheydeltään vettä suurempia tai muuten isokokoisempia roskia. Kiintoaineen laskeutumisen estämiseksi tai vähentämiseksi haastatellut esittivät sekoittimien asentamista imualtaaseen. Teoriaosion alaluvuissa 2.3 ja 2.6 tunnistettiin tarve sekoittimille, jos altaita hyödynnetään jatkuvasti tasausaltaina tai pumppaamon imualtaana (Davis 2020 luku 20-7-3).

Haastateltujen mukaan toinen keino estää kiintoaineen laskeutuminen olisi ohjata jätevesi imualtaaseen siten, että altaaseen muodostuisi vettä sekoittava ja ilmastava pyörre. On kuitenkin vaikea arvioida, olisiko tällaisen pyörteen muodostaminen mahdollista ja olisiko sekoitusvaikutus tarpeeksi voimakas kiintoaineen laskeutumisen estämiseksi. Suurin osa haastatelluista piti sekoitustarvetta tapauskohtaisena, mutta arvioi sekoittimien olevan tarpeen normaalia jätevedenpumppaamon imuallasta suuremmissa kohdeissa pumppujen toiminnan varmistamiseksi ja toisaalta altaan täyttymisen ehkäisemiseksi. Sekoittimien lisääminen tarkoittaa yhtä uutta huollettavaa kohdetta ja kertainvestointia.

Vaikka altaiden hyödyntäminen nähtiin pääasiassa hyvänä ja vesilaitoksen toimintaa hyödyttävänä asiana, useampi haastateltu mainitsi myös mahdollisen riskin niihin liittyen. Koska kyseessä on käytettyjen altaiden hyödyntäminen, on aina mahdollisuus siihen, että rakenteesta löytyy vasta esimerkiksi allasta tyhjennettäessä odottamattomia vaurioita tai kulumista. Toiseksi mahdolliseksi yllättäväksi ja hyödyntämiseen mahdollisesti vaikuttavaksi tekijäksi mainittiin vanhat putkiyhteet tai luukut. Tieto esimerkiksi käytöstä poistetuista luukuista tai putkiyhteistä on voinut unohtua tai kadota vuosien saatossa tai esimerkiksi käyttöhenkilöstön vaihtuessa. Tällaista pidettiin sitä todennäköisempänä, mitä vanhemmista rakenteista oli kyse. Yllättäviin tekijöihin varautumista pidettiin tärkeänä, mutta todettiin sen olevan haasteellista ja mahdollisten lisäkulojen muodostumista on hyvin vaikea arvioida ennalta. Tärkeimmäksi todettiin se, että riski yllättävistä tekijöistä tunnistetaan ja tiedostetaan, ja siten otetaan huomioon suunnitteluvaiheessa.

Lempäälän Veden näkökulmasta altaiden hyödyntämisessä on huomioitava kiintoaineen laskeutuminen. Jo pelkän pumppaamon rakentaminen ja ilmastusaltaan käyttäminen imualtaana aiheuttaa tarpeen estää kiintoaineen laskeutumista, sillä ilmastusallas on pinta-alaltaan merkittävästi suurempi kuin normaalin pumppaamon imuallas (Davis 2020 luku 19–5). Kiintoaineen laskeutumisen ehkäisemiseksi jätevesi täytyy pitää liikkeessä. Haastatteluiden perusteella sekoittimien lisääminen imualtaaseen on energiatehokkain ja varmin keino tähän. Varoaltaissa, joihin jätevettä päästettäisiin vain poikkeustilanteissa, ei välttämättä tarvita sekoittimia, sillä ne eivät ole jatkuvassa käytössä.

Koska Lempäälän jätevedenpuhdistamolla hyödynnettäviksi tunnistetut altaat ovat verrattain uusia, on melko epätodennäköistä, että niistä löytyisi yllättäviä hyödyntämistä haittaavia tekijöitä. Toisaalta esimerkiksi altaiden kuntoa päästään arvioimaan kunnolla vasta kun ne on tyhjennetty ja puhdistettu.

4.1.5 Esikäsittely jätevedenpumppaamon yhteydessä

Yhden tutkimusskenaarion tarkoituksena oli selvittää esikäsittelyn tarpeellisuutta ja vaikutuksia jätevedenpumppaamolla. Esikäsittelystä tehdyt huomiot liittyvät ainoastaan esikäsittelyskenaarioon, siksi muita skenaarioita ei käsitelty (Taulukko 12).

Taulukko 12. *Tärkeimmät huomiot esikäsittelyn tarpeellisuudesta ja vaikutuksista siirtoviemäripumppaamolla esikäsittelyskenaarioon liittyen.*

Tärkeimmät huomiot
Esikäsittelyn tarpeellisuus jakoi mielipiteet: 3 ei nähnyt ollenkaan tarpeelliseksi, 3 arvioi osittain hyödylliseksi, mutta suhtautui kriittisesti ja 3 piti hyödyllisenä.
Esikäsittelyn arvioitiin hyödyttävän enemmän pitkissä (kymmeniä kilometrejä) tai mäkiseen maastoon rakennetuissa siirtoviemäreissä.
Esikäsittelyn arvioitiin säästävän myöhemmin linjassa tulevia pumppuja ja parantavan mitalaitteiden toimintaa.
He, joilla oli esikäsittelyä jätevedenpumppaamon yhteydessä, kokivat sen vähentäneen pumppujen tukkeutumista tai rikkoutumista.

Haastateltujen kesken esikäsittelyn tarpeellisuus jakoi mielipiteitä selvästi, sillä heistä kolmasosa koki esikäsittelyn pumppaamolla hyödylliseksi verkoston toiminnan kannalta, kolmasosa arvioi siitä olevan jotain hyötyä, mutta suhtautui asiaan varauksella ja kolmasosa piti sitä tarpeettomana ja lisätyötä aiheuttavana. Haastateltujen näkemyserot johtuivat pitkälti kustannustehokkuudesta, sillä vaikka esikäsittelyllä nähtiin olevan myönteisiä vaikutuksia siirtolinjan toimintaan, niiden epäiltiin olevan liian pieniä esikäsittelyn aiheuttamiin kustannuksiin nähden. Mielenkiintoista oli, että lähes kaikki haastatellut arvioivat välppäyksen ja hiekanerotuksen pidentävän pumppujen käyttöikää jossain määrin, mutta siitä huolimatta muutama haastateltu ei laittaisi esikäsittelyä pumppaamolle.

Osa haastatelluista näki asian niin, että esikäsittelyn ja esimerkiksi hiekanerotuksen hyödyllisyys riippuu enimmäkseen kohteesta ja hiekan määrästä jätevedessä. Hyöty nähtiin suuremmaksi, jos vesilaitoksella oli ollut säännöllisesti ongelmia pumppujen tukkeutumisen ja kulumisen tai hiekan kertymisen kanssa, koska tällöin ongelmien voisi arvioida jatkuvan myös uudella pumppaamolla. Toisaalta ne, joilla oli käytännön kokemuksia esikäsittelystä siirtoviemäriin yhteydessä, kokivat hyötyneensä siitä selvästi. Erityisesti käyttökäytökäyttöhenkilöstö koki esikäsittelyn hyödylliseksi ja työntekoa helpottavaksi, sillä se oli vähentänyt huoltoa vaativia pumppujen toimintahäiriöitä. Yhteenvedon esikäsittelyn hyödyllisyydestä jätevedenpumppaamolla voidaan todeta, että sitä pitäisi tutkia tarkemmin vaikutusten tunnistamiseksi.

Lempäälän Veden näkökulmasta esikäsittelyn tarpeellisuudesta ei voida tehdä yksiselitteistä päätelmää haastatteluiden pohjalta. Siirtoviemäriin pituus on Lempäälässä noin 10 km, joten kyseessä ei ole erityisen pitkä linja. Tästä näkökulmasta arvioituna esikäsittelylaitteisto ei välttämättä toisi merkittävää hyötyä verkoston toimintaan. Lempäälän siirtoviemäriin on puhdistamolle tulevan lähtöpumppaamon lisäksi kaksi muuta linjapumppaamoja. Siirtoviemäriin tulee puhdistamolla sijaitsevan lähtöpumppaamon jälkeen jätevesiä useammasta eri pumppaamosta, jolloin puhdistamolla olevalla esikäsittelyllä ei pystyittäisi poistamaan hiekkaa ja välpettä kaikista myöhempien pumppaamojen läpi johdettavasta jätevedestä. Siksi erityisesti hiekanerotuksen selkein hyöty eli pumppujen kulumisen ehkäiseminen myöhemmillä siirtolinjapumppaamoilla ei olisi välttämättä kovin tehokasta. Lempäälän tilanteessa esikäsittelyn lisääminen suojaisi varmasti vain lähtöpumppaamon pumppuja hiekan kuluttavalta vaikutukselta. Esikäsittely voisi olla kannattavampaa ja sen merkitys suurempi, jos kaikki siirtoviemäriin tuleva jätevesi pystyittäisiin käsittelemään yhdessä paikassa ja ideaalitalanteessa ennen kaikkia linjapumppaamoita. Esikäsittelystä todettiin myös, että mikäli se käytön aikana nähtäisiin tarpeelliseksi, on sellainen mahdollista ottaa myöhemminkin käyttöön. Tällöin mahdolliseen esikäsittelyyn täytyy varautua etukäteen esimerkiksi varaamalla laitteistolle tarpeeksi tilaa ja miettimällä järjestelyt niin, ettei myöhemmin tarvitse tehdä suuria putkimuutoksia. Esikäsittelyoption säilyttäminen voisi olla Lempäälän tapauksessa paras vaihtoehto.

4.1.6 Prosessilaitteiden hyödyntäminen

Esikäsittelyn lisäksi haastatteluissa kysyttiin myös muiden laitteiden hyödyntämismahdollisuuksista. Haastatelluilta kysyttiin sekä käytännön kokemuksia että teoreettisia mahdollisuuksia yksittäisten laitteiden hyödyntämisestä. Käytöstä poistuvan jätevedenpuhdistamon yksittäisten laitteiden hyödyntämisen todettiin olevan hyvin tapauskohtaista (Taulukko 13).

Taulukko 13. *Tärkeimmät huomiot yksittäisten käytettyjen laitteiden hyödyntämisestä ja huomioiden yhteys tutkimusskenaarioihin.*

Tärkeimmät huomiot	Tutkimusskenaariot, joihin huomiot liittyvät		
	Pumppaamo	Varoallas	Esikäsitteily
Haastatelluilla oli vain yksittäisiä kokemuksia käytettyjen prosessilaitteiden hyödyntämisestä.			X
Suurin osa oli sitä mieltä, ettei nykyisiä esikäsitteilylaitteita ole mahdollista käyttää pumppaamalla laitteiden iän takia.			X
Uudelleenkäyttöä mietittäessä soveltuvuuden tarkastelu tapauskohtaisesti ja esimerkiksi virtaaman muutoksen huomiointi.		X	X
Laitteiden läpikäymisellä voitaisiin löytää esim. myytäväksi tai omaan käyttötarpeisiin soveltuvia laitteita.		X	X
Hiekanerotus voisi teoriassa toimia sellaisenaan, jos virtaama ei kasva.			X

Työn tekemistä aloittaessa oli tarkoitus selvittää nykyisten esikäsitteilylaitteiden hyödyntämistä uudella pumppaamalla. Jo melko varhaisessa vaiheessa kävi ilmi, että Lempäälän Vesi Oy:n nykyiset välpät ovat elinkaarensa päässä ja niiden hyödyntäminen ei onnistuisi. Tästä huolimatta haastatelluilta kysyttiin käytettyjen prosessilaitteiden hyödyntämisestä, jotta työn tulokset olisivat yleistettävissä laajemmin. Vastauksista kävi ilmi, että käytettyjen laitteiden hyödyntäminen on usein kannattamatonta tai jopa mahdotonta juuri laitteen käyttöiän takia. Haasteeksi käytettyjen laitteiden hyödyntämisessä nousi myös mahdolliset muutokset esimerkiksi virtaamassa. Eräs haastateltu arvioi, että perinteinen kanavassa tapahtuva hiekanerotus voisi toimia myös pienemmällä virtaamalla, jos vesi saadaan pidettyä liikkeessä. Kuitenkaan kukaan haastatelluista ei pitänyt toimivien ja uudempien laitteiden hyödyntämistä mahdottomana, vaikka laitteiden hyödyntämisestä oli tiedossa vain yksittäistapauksia.

Lempäälän tapauksessa yksittäisten laitteiden hyödyntämistä tulee tarkastella osana allasrakenteiden hyödyntämistä. Esimerkiksi puhdistamalla olevia nykyisiä pumppuja, kuten ylijäämälietepumppuja, voidaan mahdollisesti hyödyntää myöhemmin esimerkiksi varoaltaiden tyhjentämisessä. Myös mittalaitteet, kuten pinta- tai virtausmittarit ovat mahdollisesti hyödynnettävissä. Yksittäisten laitteiden hyödyntämistä suunniteltaessa on tärkeintä selvittää ensiksi laitteiden lukumäärä, niiden kunto ja varmistaa niiden toiminta. Lisäksi mikäli joillekin laitteille tulisi käyttötauko esimerkiksi pumppaamon rakentamisen ajaksi, täytyisi laitteet puhdistaa huolellisesti säilytyksen ajaksi. Pumpuissa huomioitavia ominaisuuksia hyödyntämisen kannalta olisivat nostokorkeus, pumpun imu- ja poistoputken halkaisija sekä pumpun tuotto.

4.1.7 Rakenteiden hyödyntämisen taloudelliset vaikutukset

Taloudelliset vaikutukset todettiin keskeiseksi teemaksi, sillä yksi syy lähtöä selvittämään rakenteiden hyödyntämistä voi olla säästöjen tavoittelemineen. Haastatteluissa nousi esiin useita taloudellisia vaikutuksia, jotka liittyvät rakenteiden hyödyntämiseen (Taulukko 14).

Taulukko 14. *Tärkeimmät huomiot rakenteiden hyödyntämisen taloudellisista vaikutuksista sekä huomioiden yhteys tutkimuksessa käytettyihin skenaarioihin.*

Tärkeimmät huomiot	Tutkimusskenaariot, joihin huomiot liittyvät		
	Pumppaamo	Varoallas	Esikäsitteily
Pumppauksen energiankulutuksen pienentäminen nähtiin parhaaksi keinoksi saavuttaa säästöjä.		X	X
Tasausaltaiden käytöllä voi optimitilanteessa saada pienennettyä osan siirtolinjan putkikokoa tai pumppujen kokoa.		X	X
Rakenteiden hyödyntäminen vaatii erittäin todennäköisesti investointeja.	X	X	X
15 tai viimeistään 30 vuoden kuluttua suuremmat saneeraukset ovat tarpeen.	X	X	X
Juoksevia kustannuksia syntyy esimerkiksi rakennusten lämmittämisestä, huollosta ja työntekijöiden palkoista.	X	X	X

Taloudellisesta näkökulmasta katsottuna haastatellut nostivat merkittävimäksi hyödyksi tasausaltaiden käytön myötä saatavat säästöt pumppaamisen energiankulutuksessa. Virtaamaa tasaamalla ja pumppujen toimintaa optimoimalla pumppujen energiankulutusta on mahdollista vähentää jopa 20–40 %:lla useiden lähteiden mukaan (Wilcoxson & Badruzzaman 2013, Fecarotta et al. 2018, Fecarotta & Cimorelli 2021). Osa haastatelluista arvioi tasausaltaiden käytöllä olevan mahdollista vaikuttaa jopa siirtoviemäriin putkikokoon ja saavuttaa säästöjä rakentamalla esimerkiksi osa linjasta pienemmällä putkikoolla kuin ilman virtaaman tasaamista. Tämän todettiin edellyttävän huolellista tapauskohtaista harkintaa jo suunnitteluvaiheessa ja sitä, että tasauskapasiteettia olisi riittävän paljon käytettävissä.

Hyödyntämisen todettiin mahdollisten säästöjen lisäksi aiheuttavan todennäköisesti aina joitain kustannuksia. Hyödyntämisestä aiheutuvat kustannukset voidaan jakaa kertaluontoisiin kustannuksiin ja toistuviin tai jatkuviin käyttökustannuksiin. Kaikille tarkastelluille skenaarioille kertakustannuksia muodostui esimerkiksi putkistomuutoksista ja rakennusten julkisivun remonteista pidemmällä aikajänteellä. Näiden kustannusten suuruus vaihteli skenaarioittain, mutta pääsääntönä voi todeta laajemman hyödyntämisen aiheuttavan myös enemmän kertaluontoisia kustannuksia

erityisesti hyödyntämisen alussa. 15 ja 30 vuoden aikajänteellä tarkasteltuna kaikissa skenaarioissa tulee väistämättä eteen myös laitehankintoja.

Käytöstä poistuvan jätevedenpuhdistamon rakenteiden hyödyntäminen ei haastateltavien mukaan aiheuta mitään sellaisia juoksevia kustannuksia, joita ei olisi tavallisella pumppaamalla. Kaikissa skenaariossa kustannuksia aiheutuu rakennusten lämmityksestä, pumppujen sähkönkulutuksesta sekä esimerkiksi pumppujen huollosta. Ainoa ero oli esikäsittelyskenaario, jossa muodostuu kustannuksia myös välppäysjätteen ja hiekan käsittelystä sekä jätteiden kuljetuksesta. Eroja esimerkiksi lämmityskustannuksissa voi sen sijaan tulla, riippuen rakennuksen koosta. Lisäksi eräs haastateltu mainitsi ilmanvaihdon sellaiseksi juoksevaksi kuluksi, joka täytyy huomioida vanhoja puhdistamorakennuksia hyödynnettäessä. Esimerkiksi katetuissa prosessitiloissa ilmanvaihto saattaa olla hyvin voimakas ja altaan jäädessä varoallaskäyttöön ilmastointi on suhteessa liian tehokasta, jolloin käyttötarkoitukseen nähden aiheutuu ylimääräisiä kustannuksia.

Lempäälän Veden tapauksessa virtaaman tasaamisella ei pystytä enää vaikuttamaan siirtoviemärilinjan putkikokoihin, sillä iso osa linjoista on jo rakennettu. Tässä työssä ei myöskään ollut tarkoitus tarkastella tasausaltaiden vaikutusta siirtoviemärin mitoitukseen. Pumppujen mitoitukseen on vielä mahdollista vaikuttaa ja siten mahdollisesti saavuttaa säästöjä. Pumppujen mitoituksessa apuna voisi toimia mallintaminen.

Rakennusten lämmittäminen on myös Lempäälän jätevedenpuhdistamon rakenteiden hyödyntämistä suunniteltaessa huomioitava, sillä hyödyntämistä on suunniteltu tapahtuvan ilmastusrakennuksessa. Ilmastusrakennus on tilavuudeltaan suuri, joten lämmitykseen voi kulua helposti paljon energiaa. Ilmastoinnin voimakkuutta ja ilmastointilaitteen sopivuutta uudessa käyttötarkoituksessa tulee tarkastella tarkemmin, jotta vältetään ylimääräisiltä lämmityskustannuksilta.

Kuten haastatteluissa todettiin, rakenteiden hyödyntäminen ja muokkaaminen uuteen käyttötarkoitukseen sopivemmiksi aiheittaa luonnollisesti kustannuksia. Lempäälän Veden tapauksessa hyödyntämisestä aiheutuvia kustannuksia vertailtiin eri tutkimusskenaarioiden avulla. Hyödyntämisen kustannuksia Lempäälän jätevedenpuhdistamolla on avattu tarkemmin alaluvussa 4.3.

4.2 Skenaarioihin sisältyvät hyödyntämismuutokset

Haastatteluissa esiin nousi myös muita hyödyntämistapoja skenaarioiden ulkopuolelta liittyen jätevedenpuhdistamon rakennuksiin ja prosessilaitteisiin. Yksi useimmin mainittu hyödyntämistapa rakennuksille oli niiden käyttäminen varasto- tai huoltotilana. Haastateltujen kokemusten mukaan prosessitiloihin oli rakennettu esimerkiksi autotalli, hyllytilaa varaosille tai huoltotilaa esimerkiksi pumpuille. Useampi haastateltu mainitsi vanhojen puhdistamoiden huolto- ja toimistotilojen olevan hyödyllisiä tukikohtia esimerkiksi vikatilanteissa erityisesti pitkien välimatkojen kohteissa. Näin oli toimittu usealla eri vesilaitoksella ja ratkaisuihin oltiin tyytyväisiä. Lempäälän jätevedenpuhdistamolla olisi mahdollista hyödyntää esimerkiksi nykyistä esikäsitteily- tai esiselkeytysrakennusta varasto- tai huoltotilana. Rakennusten hyödyntäminen ei vaadi kovin tarkkaa suunnittelua etukäteen, mutta olisi kuitenkin hyödyllistä päättää ne tilat, joissa ei jatkossa tulla käsittelemään jätevesiä enää ollenkaan. Tällöin voidaan aloittaa tilojen suunnittelu ja mahdollisten purettavien laitteiden kierrättämisen suunnittelu.

Toinen eräessä haastattelussa esiin noussut kokonaisvaltaisempi hyödyntämistapa olisi puhdistamotilojen muokkaaminen tutkimuskäyttöön. Tutkimustilaan voitaisiin johtaa jätevedettä ja tilaa voisi vuokrata käytettäväksi esimerkiksi yliopistoille tai laitevalmistajille. Tutkimustilana hyödyntämistä täytyisi suunnitella tarkasti ja se vaatii vesilaitokselta järjestelyjä esimerkiksi pumppausten ja putkiston osalta. Teoriassa Lempäälän jätevedenpuhdistamolla olisi mahdollista selvittää tilojen käyttöä myös tutkimustarkoitukseen, mutta selvittäminen tulisi aloittaa välittömästi ja se vaatisi myös muiden osapuolten kiinnostusta sekä todennäköisesti ulkopuolista rahoitusta. Rakenteiden hyödyntäminen tutkimuskäytössä on tällä hetkellä melko epätodennäköistä Lempäälässä.

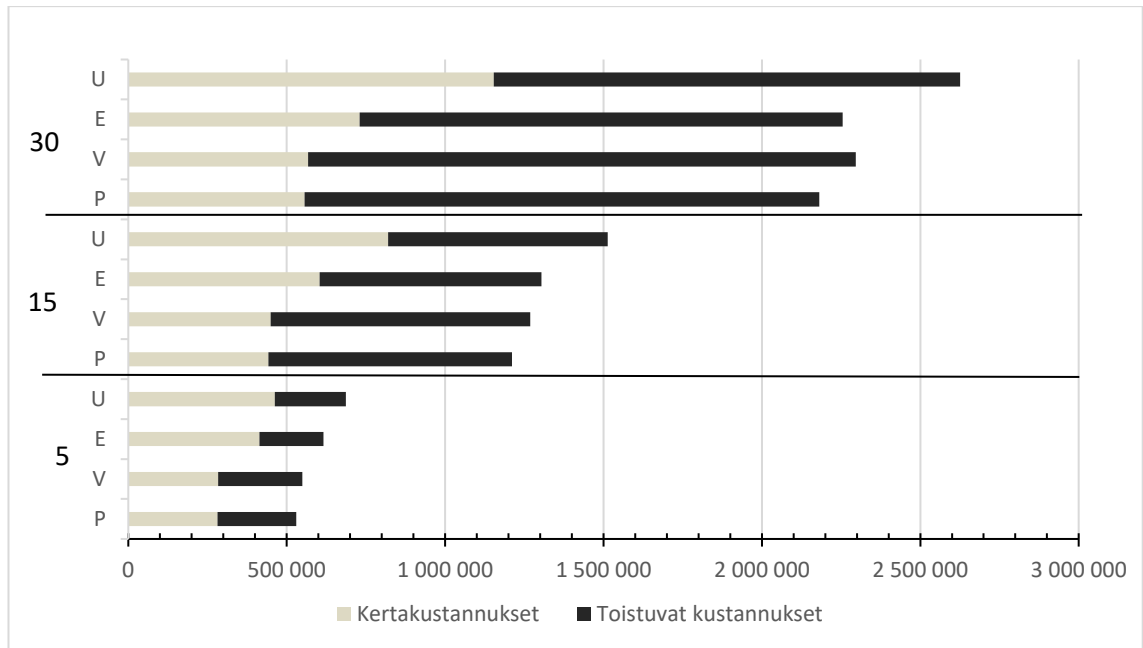
Useammassa haastattelussa nousi esiin myös yksittäisten laitteiden hyödyntäminen esimerkiksi myymällä niitä eteenpäin toisille vesilaitoksille. Osalla haastatelluista oli tietoa esimerkiksi lietteen kuivausruuviin myymisestä, mutta tällaista pidettiin harvinaisena. Eräs haastateltu piti puhdistamolta jäävien pumppujen hyödyntämistä pienemmällä jätevedenpumppaamoilla mahdollisena, jos pumpun koko ja sen tuottama nostokorkeus olisivat sopivia. Tällainen laitteiden hyödyntäminen olisi kiertotaloutta edistävää toimintaa (Ellen MacArthur Foundation 2024), sillä olemassa olevien laitteiden elinkaarta saataisiin pidennettyä. Yksittäisten laitteiden hyödyntäminen voisi olla mahdollista Lempäälässä, mutta se edellyttää niiden kunnon ja ominaisuuksien tarkempaa selvittämistä sekä tapauskohtaista harkintaa jokaisen laitteen kohdalla.

Mikäli käytöstä poistuville laitteille ei löydy käyttöä eikä niiden myyminenkään onnistu, on yksi vaihtoehto lahjoittaa käytettyjä laitteita esimerkiksi Ukrainaan (VVY 2022). Eräs haastateltu totesi, että hyväntekeväisyyden tekeminen on yksi vaihtoehto laitteen kierrättämiselle, mikäli sopiva taho vastaanottajaksi löytyy. Kuten muukin hyödyntäminen, tämäkin vaihtoehto vaatii selvittelyä mahdollisesti lahjoitettavaksi sopivista laitteista sekä tietoa esimerkiksi vastaanottajan tarpeista. Lahjoittamisen onnistuminen ja laitteiden toimittaminen perille, jos siihen halutaan lähteä, tarvitsisi todennäköisesti myös muiden organisaatioiden ja toimijoiden osallistumista toimintaan. Lempäälän Vedeltä laitteiden lahjoittaminen vaatisi laitteiden luetteloimista. Mikäli joitain laitteita päädyttäisiin lahjoittamaan, tulisi ne huoltaa ja puhdistaa ennen lähettämistä kohteeseen. Lahjoittamisessa laitteiden säilyttäminen ennen lähettämistä vaatisi suunnittelua, jotta esimerkiksi vaikeasti siirrettävät ja suurikokoiset prosessilaitteet eivät jäisi haittaamaan tai hidastamaan omaa toimintaa.

Yksi haastateltavista nosti esiin myös materiaalien hyödyntämisen. Jätevedenpuhdistamoilla on runsaasti esimerkiksi ruostumattomia teräsputkia ja lisäksi useimmat prosessilaitteet ovat ainakin osittain metallisia. Vesilaitokselle voisi olla taloudellisesti järkevää purkaa turhiksi jäävät putkistot, sillä asuinrakennuksista putkien hyödyntäminen on tunnistettu kannattavaksi (Koutamanis et al. 2018). Esimerkiksi puretuista putkista hyväkuntoisia voisi käyttää omissa kohteissa uudelleen putkina ja huonokuntoisemmat kierrättää materiaalina. Taloudellisen hyödyn lisäksi purkamalla ja kierrättämällä turhaksi jääviä rakenteita voidaan vaikuttaa jätevedenpuhdistamon hiilijalanjälkeen, kun tarkastellaan puhdistamon koko elinkaarta (Nguyen et al. 2021). Materiaalien hyödyntäminen tai nykyistä parempi kierrättäminen on mahdollista sisällyttää jokaiseen keskuspuhdistamohankkeeseen. Materiaalien hyödyntämisen mahdollisuutta tulee tarkastella myös Lempäälän jätevedenpuhdistamolla.

4.3 Eri skenaarioiden kustannusten vertailu

Jokaiselle skenaariolle laskettiin suuntaa-antava kustannusarvio vaihtoehdon toteuttamisesta. Eri skenaarioiden kustannuksien vertailu toteutettiin kertainvestointien ja toistuvien kustannusten summana (Kuva 12).



Kuva 12. Arvio tutkimusskenaarioiden toteuttamisen kokonaiskustannuksista 5, 15 ja 30 vuoden aikana. 30 vuoden tarkastelussa on huomioitu kaikki 30 vuoden aikana toteutuvaksi arvioidut kustannukset. Kuvassa P=pumppaamoskenaario, V=varoallasskenaario, E=esikäsitteilyskenaario ja U=uusi erillinen pumppaamo.

Kertakustannuksien arvioimisessa käytettiin Lempäälän Veden poistosuunnitelmaa, mikä tasaa kertakustannusten jakautumista useammalle vuodelle. Tehdyn vertailun perusteella kaikki vanhan jätevedenpuhdistamon tiloja hyödyntävät skenaariot ovat kokonaiskustannuksiltaan pienemmät kuin uuden erillisen pumppaamon rakentaminen puhdistamon tontille. Kuvan 12 perusteella kertakustannukset ovat selvästi pienemmät jokaisessa vanhan puhdistamon rakenteita hyödyntävässä skenaariossa verrattuna uuden pumppaamon rakentamiseen, kun tarkastellaan 30 vuoden aikajaksoa. Eri skenaarioiden kustannusarvioita verratessa merkittävin ero kertakustannuksissa syntyy juuri uuden erillisen pumppaamon rakentamiskustannuksista. Tehdyn kustannusarvion perusteella muodostettiin summat jokaisen skenaarion kertakustannuksista ja toistuvista kustannuksista (Taulukko 15). Tarkemmat arvot on esitetty liitteessä D.

Taulukko 15. *Yhteenveto eri skenaarioiden kertakustannuksista, toistuvista kustannuksista ja niistä muodostuvista kokonaiskustannuksista.*

	Pumppaamo	Varoallas	Esikäsitteily	Uusi erillinen pumppaamo
	5 vuoden aikana			
Kertakustannukset [€]	281 700	283 800	414 200	462 100
Toistuvat kustannukset [€]	248 300	265 500	201 600	224 200
Yhteensä [€]	530 000	549 300	615 800	686 300
	15 vuoden aikana			
Kertakustannukset [€]	442 500	448 900	604 300	820 200
Toistuvat kustannukset [€]	768 600	820 000	700 300	693 000
Yhteensä [€]	1 211 100	1 268 900	1 304 600	1 513 000
	30 vuoden aikana			
Kertakustannukset [€]	556 000	567 800	729 800	1 154 100
Toistuvat kustannukset [€]	1 625 700	1 728 500	1 525 000	1 471 400
Yhteensä [€]	2 181 700	2 296 300	2 254 800	2 625 500

Tehdyn kustannusarvion perusteella pumppaamoskenaario on kaikista edullisin toteuttaa. Kuitenkin ero varoallasskenaarioon on hyvin pieni. Kuvassa 12 ja Taulukossa 15 on esitetty varoallasskenaariosta laajemman version eli esiselkeytysaltaan sisältämä version kustannukset, mikä eroaa pumppaamoskenaarion kustannuksista vain ulkona tehtävien putkimuutosten osalta. Esiselkeytysaltaalle rakennettavasta putkilinjasta muodostuu noin 11 800 € lisää kustannuksia. Mikäli esiselkeytysallasta ei haluttaisi ottaa varoaltaaksi, ovat pumppaamoskenaarion ja varoallasskenaarion kustannukset tämän tarkastelun perusteella samat. Kumpikin versio varoallasskenaarion kustannuksista on esitetty liitteessä D.

Esikäsitteilyskenaarion kustannukset ovat selkeästi suuremmat, noin 86 000 tai 67 000 € enemmän, verrattuna pumppaamo- tai varoallasskenaarioihin 5 vuoden aikajänteellä. Kun tarkastellaan tilannetta 30 vuoden aikajänteellä, esikäsitteilyskenaarion kustannukset ovat noin 41 000 € vähemmän kuin varoallasskenaariossa, jos myös esiselkeytysallas hyödynnetään varoaltaana. Ero muodostuu pääasiassa pumppujen peruskorjauksesta ja imualtaan puhdistamisesta muodostuvista kustannuksista. Nyt pumppaamo- ja varoallasskenaarioissa oletettiin pumppaamon imualtaan tarvitsevan puhdistusta 2 kertaa vuodessa. Samoin oletettiin myös uuden pumppaamon tapauksessa. Imualtaan puh-

distaminen vaikutti näiden skenaarioiden hintaan 6000 € vuodessa. Jos imualtaan puhdistaminen tapahtuisi kahden kerran sijaan vain kerran vuodessa, olisi varoallasskenaariion kustannukset 30 vuoden aikana noin 49 000 € pienemmät kuin esikäsitteilyskenaariion.

Puolestaan pumppaamoskenaarioon tai suppeampaan varoallasskenaarioon verrattuna esikäsitteilyskenaariion kustannukset ovat noin 73 000 € suuremmat 30 vuoden aikavälillä tarkasteltuna. Esikäsitteilyn arvioitiin haastatteluissa pidentävän pumppujen käyttöikä, minkä takia esikäsitteilyskenaariion kustannusarviossa on oletettu sekä pumppujen käyttöiän että peruskorjauksen toteutumisvälin olevan 2 vuotta enemmän kuin muissa skenaarioissa. Tämän vaikutus kustannuksiin on 30 vuoden aikana noin 46 000 €. Se vastaa suunnilleen 3 pumpun hankintahintaa. Merkittävimmät erot esikäsitteily- ja pumppaamoskenaarioiden välille muodostuvat esikäsitteilylaitteiston hankinnasta sekä rakennusten lämmityskustannuksista.

Lämmityskustannukset nousivat merkittäväksi tekijäksi, kun vertailtiin eri skenaarioiden kokonaiskustannuksia. Lämmityskustannusten osalta uusi erikseen rakennettava pumppaamorakennus on selkeästi edullisin vaihtoehto. Tehdyn laskelman mukaan ilmastusrakennuksen lämmittämiseen menee noin 4 kertaa enemmän energiaa kuin uuden pumppaamorakennuksen lämmittämiseen. Jos myös esiselkeytysrakennus lämmitetään, on lämmitysenergian tarve kuusi kertaa suurempi verrattuna pelkkään uuteen pumppaamoon. Tämä on loogista, sillä vanhat puhdistamorakennukset ovat tarpeettoman suuria jätevedenpumppaamon kokoon verrattuna kuten teoriaosuuden alaluvussa 2.6 todettiin. Koska rakenteita hyödyntäessä lämmitettävää tilaa on enemmän, tulee lämmitysmuoto ja hyödynnettävien tilojen ilmanvaihto optimoida, jotta minimoitaisiin lämmityksestä aiheutuvat kustannukset.

Pelkkiä toistuvia kustannuksia vertailtaessa uuden pumppaamon rakentaminen on kustannuksiltaan edullisin skenaario kaikilla aikaväleillä, mutta uuden rakennuksen rakentaminen tekee siitä kokonaiskustannuksiltaan kalleimman skenaariion. Nykyisellä lämmitysenergian hinnalla 0,08 €/kWh eroa uuden pumppaamon ja esikäsitteilyskenaariion välillä muodostuu 30 vuoden aikana noin 449 000 €. Uuden pumppaamon rakentaminen pysyy kokonaiskustannuksiltaan kalleimpana vaihtoehtona, vaikka esimerkiksi imualtaan puhdistaminen poistettaisiin kustannuksista kokonaan. Tilanne kuitenkin muuttuu merkittävästi, jos lämmityksessä käytettävän energian hinta kallistuu. Esimerkiksi, jos kaukolämmön hinta kaksinkertaistuisi ja olisi 0,16 €/kWh, eroa uuden pumppaamon ja esikäsitteilyskenaariion kustannuksissa 30 vuoden aikajänteellä olisi enää 130 000 €. Uusi pumppaamo olisi kuitenkin edelleen kalliimpi toteuttaa.

Kustannusarviossa ei otettu huomioon henkilöstön työn, päivystyksen ja rakennusten ylläpidon kustannuksia, sillä niitä ei pystytty määrittämään tarpeeksi tarkasti. Lisäksi nykyisten rakennusten arvoa ei pystytty huomioimaan poistosuunnitelman mukaisesti. On todennäköistä, että sen kautta puhdistamon uusimmista rakennuksista muodostuisi vielä kustannuksia rakenteita hyödyntäviin skenaarioihin, sillä rakennuksien poistomenetelmänä käytettiin 7 % menojäännöspoistoa. Kustannusarviossa ei otettu myöskään huomioon korkoihin liittyviä kuluja eikä inflaation vaikutusta.

Kustannusarvioita ja eri skenaarioiden vertailua tarkastellessa tulee muistaa, että niiden teossa jouduttiin tekemään useita oletuksia ja yksinkertaistuksia laskemisen ja vertailun mahdollistamiseksi. Esimerkiksi esikäsitteleyskenaariossa oletettiin, ettei pumppaamon imuallasta tarvitsisi puhdistaa imuautolla kertaakaan. Myös pumppauksen sähkönkulutuksen laskemista jouduttiin yksinkertaistamaan, sillä taajuusmuuntajalla ohjattavalla pumpulla on lukematon määrä toimintapisteitä ja siten yhtä monta hetkellistä kulutusarvoa. Työtä tehdessä oli kuitenkin tiedossa, että pumppuja tullaan ohjaamaan juuri taajuusmuuntajalla. Useiden lähteiden mukaan näin voidaan säästää 20–40 % energiankulutuksessa (Wilcoxson & Badruzzaman 2013, Fecarotta et al. 2018, Fecarotta & Cimorelli 2021). Tämä tarkoittaa todennäköisesti, että tässä vertailussa pumppauksen sähkönkulutus on arvioitu todellista suuremmaksi.

Lisäksi 30 vuoden aikajänteelle ulottuva arviointi tuo laskelmiin epävarmuutta, sillä tällä aikavälillä on mahdollista tapahtua suuriakin muutoksia, joita ei laskelmaa tehdessä osattu tai voitu huomioida. Esimerkiksi sähkön tai kaukolämmön hinta voi muuttua merkittävästi nykyisestä, millä olisi suuri vaikutus kustannuksiin. Tarkasteltujen skenaarioiden toteuttamisessa lämmitysenergia oli yksi suurin eroja aiheuttava tekijä eri skenaarioiden välillä. Jos kaukolämmön hinta olisi yli 0,2 €/kWh lämmityskulut nousisivat niin paljon, että uuden pumppaamon rakentaminen olisikin 30 vuoden aikajänteellä tarkasteltuna kannattavampi vaihtoehto kuin käytettyjen rakenteiden hyödyntäminen. Työssä ei kuitenkaan tarkasteltu tarkemmin, millainen kaukolämmön hinnankehitys muuttaisi skenaarioiden järjestystä.

5. PARHAAT HYÖDYNTÄMISVAIHTOEHDOT

Tässä luvussa käydään läpi työn tärkeimmät ja toteuttamiskelpoisimmiksi koetut hyödyntämismuutokset sekä huomioita niiden toteuttamiseen liittyen. Alaluvussa 5.1 esitetään tulokset, jotka ovat yleistettävissä myös muihin keskuspuhdistamohankkeisiin. Alaluvussa 5.2 nostetaan esille Lempäälän jätevedenpuhdistamolle parhaiten soveltuvat tulokset ja annetaan toimenpide-ehdotuksia.

5.1 Yleistettävät tulokset

Haastattelujen perusteella käytöstä poistuvan jätevedenpuhdistamon altaiden hyödyntäminen on lähes aina suositeltavaa. Tärkeimpänä altaiden hyödyntämisen vaikutuksena pidettiin viemäriverkoston toimintavarmuuden parantamista suuremman kapasiteetin ansiosta. Altaiden tuoma lisätilavuus tuo tarvittavaa joustomahdollisuutta esimerkiksi rankkasateiden aikaan sekä keväisin lumen sulamisaikaan, jolloin virtaama voi hetkellisesti olla suuri (Laitinen et al. 2022 s. 26). Lisäksi ylimääräisestä tilavuudesta katsottiin olevan hyötyä huolto- ja vikatilanteissa. Tällöin vesilaitos saa lisää aikaa toteuttaa tarvittavat toimenpiteet niin, ettei käsittelemätöntä jätevettä tarvitse päästää ympäristöön ollenkaan tai ei ainakaan niin paljoa kuin ilman altaiden hyödyntämistä. Käytännön etujen lisäksi ympäristön puhtaana pitäminen voi luoda positiivista kuvaa vesilaitoksen toiminnasta lähialueiden asukkaille.

Koska käytöstä poistuva jätevedenpuhdistamo on aikaisemmin ollut viemäriverkoston päätepieni, on erittäin todennäköistä, että jatkossakin jätevettä virtaa kohti vanhaa puhdistamoa. Osittain tämän takia altaiden hyödyntäminen on itsessään melko yksinkertaista, eikä yleensä vaadi suuria muutoksia olemassa oleviin rakenteisiin tai viemäriverkoston. Usein vanhan jätevedenpuhdistamon läheisyyteen rakennetaan uusi pumppaamo, joten altaiden hyödyntäminen osana pumppaamoja olisi luonteva tapa hyödyntää niitä. Tätä näkökulmaa voi soveltaa keskuspuhdistamohankkeiden lisäksi myös sellaisiin tilanteisiin, joissa on päädytty rakentamaan uusi jätevedenpuhdistamo toiseen paikkaan.

Altaiden hyödyntämiseksi esiteltiin teoriaosan alaluvussa 2.3 kaksi eri tapaa, joilla on hieinan erilaiset toimintaperiaatteet. Altaiden hyödyntäminen tasausaltaana tarkoittaa vuorokausivirtaaman tasaamista, mikä hyödyttää sekä verkostoa operoivaa vesilaitosta että keskuspuhdistamoa. Tasausallaskäytöllä voidaan tasata virtaaman ohella myös keskuspuhdistamolle tulevaa kuormitusta. Näin voidaan mahdollistaa entistä paremmat puhdistustulokset keskuspuhdistamolla. Virtaaman ja kuormituksen tasaamisen merkitys on

sitä suurempi, mitä suurempaa osuutta keskuspuhdistamon tulovirtaamasta voidaan tasata. Virtaaman tasaaminen hyödyttää jäteveden pumppauksen energiatehokkuuden optimoinnissa (Fecarotta et al. 2018). Haastattelujen mukaan altaiden hyödyntäminen ja sen avulla pumppauksen energiatehokkuuden lisääminen on paras keino saavuttaa säästöjä. Kun pumpput voidaan mitoittaa toimimaan lähes pelkästään niiden optimitoiminta-alueella, niiden hyötysuhde on korkeimmillaan ja saman jätevesimäärän pumppaamiseen kuluu vähemmän energiaa (Fecarotta et al. 2018). Lisäksi virtaamaa tasamalla pumppujen ei tarvitse käynnistyä yhtä usein, koska ne voivat pyöriä kerralla pidempään. Tämäkin säästää energiaa.

Käytöstä poistuvan jätevedenpuhdistamon altaiden hyödyntäminen varoaltaana kasvattaa verkoston kapasiteettia ja soveltuu erityisesti hule- ja sulamisvesistä johtuvien virtaamapiikkien tasaamiseen. Varoallaskäytön vaikutuksena esimerkiksi pumppaamoilla tapahtuvien ylivuotojen riski pienenee, sillä verkoston tilavuus kasvaa. Varoallastilavuudesta ei kuitenkaan ole merkittävää hyötyä, jos ylivuodot johtuvat esimerkiksi pumppujen tai puhdistamolle johtavien viemärilinjojen kapasiteetin riittämättömyydestä (Laitinen et al. 2022. s. 26–28). Varoaltaista onkin suurin hyöty sellaisessa tilanteessa, jossa viemäriverkoston kapasiteetti riittää johtamaan jätevedet vanhalle puhdistamolle ja jätevettä voidaan viivyttää siellä. Uuden jätevedenpuhdistamon näkökulmasta riski ohijuoksutukselle pienenee, kun varoaltailla voidaan viivyttää jätevesiä mitoitusvirtaaman ylittävissä tilanteissa vanhan puhdistamon alueella. Tasaus- ja varoaltaita voidaan käyttää myös yhdessä, jolloin kummankin hyödyntämistavan edut saadaan käyttöön.

Haastattelujen perusteella altaiden hyödyntämisestä ei itsessään aiheudu merkittäviä kustannuksia etenkään, jos ne ovat rakenteeltaan hyväkuntoisia. Kertaluontoisia kustannuksia voi muodostua laitehankinnoista, jos esimerkiksi varoaltaiden tyhjentämiseen tarvitaan uusia pumppuja. Ennen uusien pumppujen hankkimista tulee selvittää, ovatko jotkut puhdistamolla aikaisemmin käytetyistä pumpuista hyödyntämiskelpoisia varoaltaan tyhjentämiseen. Tasausallaskäytössä lisäkustannuksia tulee todennäköisesti sekoittamista, sillä kiintoaineen laskeutumisesta altaan pohjalle tulee ehkäistä (Davis 2020 luku 20-7-3). Käytön aikaisia kustannuksia syntyy laitteiden sähkönkulutuksesta ja rakennusten lämmityksestä. Toteutetun alustavan kustannusarvion mukaan rakennusten lämmitys on merkittävä tekijä kokonaiskäyttökustannuksissa. Tämän takia käytöstä poistuvien puhdistamorakennusten lämmittämisestä voi muodostua yllättävä kuluerä, mutta onneksi siihen voi vaikuttaa. Toki lämmitystarpeen vähentämiseksi tehdyt toimet, kuten esimerkiksi lämmitettävän tilan rajaaminen väliseinällä tai ilmanvaihdon optimoiminen, aiheuttavat lisäkustannuksia.

Toinen altaiden hyödyntämiseen liittyvä mahdollinen säästökohde on rakennettavat siirtoviemäriinlinjat. Jos hyödynnettävissä olevaa allastilavuutta on runsaasti ja käytöstä poistuvan jätevedenpuhdistamon rakenteiden hyödyntäminen otetaan esimerkiksi jo hankesuunnitteluvaiheessa huomioon, saattaa olla mahdollista rakentaa siirtolinja esimerkiksi yhtä putkikokoa pienemmällä putkella. Siirtolinjan suunnittelussa on kuitenkin oltava ehdottoman tarkka ja putkikoko on valittava huolellisesti myös tulevaisuuden kasvuennusteet huomioiden (RIL 2010a s. 60). Tämä asia vaatisi lisätutkimusta esimerkiksi mallintamalla verkoston toimintaa, sillä siirtoviemäristä ei saa tehdä pullonkaulaa verkoston toiminnalle. Samalla tulisi selvittää, paljonko allaskapasiteettia tarvittaisiin, jotta pienemmällä putkikoolla rakentaminen olisi mahdollista. Vanhojen altaiden hyödyntämisen seurauksena mahdollisuus rakentaa siirtoviemäri pienemmällä putkikoolla voisi olla erityisen hyödyllistä sellaisissa keskuspuhdistamohankkeissa, joissa kyseisen siirtoviemäriin alueen väkiluvun ennustetaan pienenevän. Myös sellaisessa tilanteessa, jossa sopivia putkikokoja olisi kaksi, saattaisi tasaus- ja varoaltaiden avulla olla mahdollista valita pienempi putkikoko ja saavuttaa merkittäviä säästöjä rakentamiskustannuksissa.

Myös rakennusten hyödyntäminen esimerkiksi varastotilana, autotallina tai huoltotilana olisi todennäköisesti mahdollista useimmissa keskuspuhdistamohankkeissa, jos tarve sisätiloille tunnustetaan. Haastateltujen mukaan rakennusten hyödyntämistä oli usein toteutettu juuri näillä tavoilla. Suurin hyöty nähtiin alueilla, jossa etäisyydet ovat pitkiä ja esimerkiksi vikatilanteissa toiminta on sujuvampaa huoltotilojen sijaitessa eri puolilta verkostoa.

Kiertotalouden periaatteita pystyy soveltamaan kaikissa keskuspuhdistamohankkeissa. Mikäli edellä mainittu altaiden hyödyntäminen ei onnistu esimerkiksi niiden huonon kunnon takia, tulee tarkastella pienempien laitteiden ja materiaalien hyödyntämistä. Käytöstä poistuvien laitteiden hyödyntämisessä auttaa, jos vesilaitoksella on tarkasti tiedossa omistamansa laitteet ja niiden hankintavuodet. Tällöin laitteiden hyödyntämistä voidaan etusijajärjestyksen mukaisesti tarkastella ensin vastaavaan käyttötarkoitukseen ja sen jälkeen miettiä esimerkiksi kierrättämistä materiaalina (Ellen MacArthur Foundation 2024). Jo käytettyjen laitteiden toiminnasta on kuitenkin muistettava se, että niiden hyödyntäminen ei saa aiheuttaa riskejä esimerkiksi toimintavarmuudelle.

Haastatteluissa todettiin käytöstä poistuvien jätevedenpuhdistamoiden jäävän usein käyttämättömiksi sellaisenaan, jos puhdistamo ei suunnitelmien mukaan ollut tarkoitus purkaa esimerkiksi asuinrakentamisen tieltä. Tällöin esimerkiksi putkirakenteita puhdistamon sisällä ei usein pureta. Vaikka vanhoja putkia ei voitaisi enää käyttää putkina esimerkiksi mahdollisten saostumien takia, niissä on runsaasti kierrätykseen sopivaa ma-

teriaalia. Tällaista urban mining -ajattelu- ja toimintatapaa on sovellettu asuinrakennuksille (Koutamanis et al. 2018, Arora et al. 2021) ja sitä voisi erittäin todennäköisesti soveltaa myös puhdistamorakennuksille keskuspuhdistamohankkeissa ainakin jollain tasolla.

Työssä arvioitiin myös rakenteiden hyödyntämisen taloudellisia vaikutuksia. Rakenteiden hyödyntämisestä saatavaa taloudellista hyötyä on haastava arvioida yleisellä tasolla, sillä rakenteiden kunto vaikuttaa siihen niin paljon. Tämän työn tulokset antavat viitteitä siitä, että taloudellista hyötyä voisi saada myös muissa kohteissa, jos puhdistamon rakenteet ovat hyvässä kunnossa. Toteutetun kustannusarvion perusteella toistuvat kustannukset ja erityisesti energian hinta vaikuttavat merkittävästi hyödyntämisen kustannuksiin.

5.2 Soveltuvimmat hyödyntämisvaihtoehdot Lempäälän Vedellä

Lempäälän Vedellä käytöstä poistuvan jätevedenpuhdistamon rakenteiden hyödyntäminen nähtiin kannattavaksi. Työn perusteella merkittävimmäksi hyödyntämistavaksi muodostui altaiden hyödyntäminen. Lempäälän tapauksessa on mahdollista hyödyntää altaita sekä tasaus- että varoaltaina tai niiden yhdistelmänä. Lempäälän jätevedenpuhdistamon altaat ja niiden yläpuoliset rakennukset oli todettu hyväkuntoisiksi jo ennen tämän työn tekemistä ja puhdistamon tontille jäävän tulevaisuudessakin vesilaitoksen toimintaa. Puhdistamon tontille oli suunniteltu lähtöpumppaamo siirtoviemäriinjalle. Erillistä pumppaamorakennusta ei kuitenkaan tarvitse rakentaa, koska puhdistamon nykyiset rakenteet ovat hyödynnettävissä ja siirtoviemäripumppaamo voidaan rakentaa nykyiseen ilmastusrakennukseen.

Rakenteiden hyödyntämistä Lempäälän jätevedenpuhdistamolla tarkasteltiin kolmen eri tutkimusskenaarion avulla. Tärkeimpiä huomioita jokaisen tutkimusskenaarion vahvuuksista, heikkouksista, mahdollisuuksista ja uhkista vertailtiin SWOT-analyysia mukaillen (Kuva 13). SWOT-lyhenne tulee sanoista strengths eli vahvuudet, weaknesses eli heikkoudet, opportunities eli mahdollisuudet ja threats eli uhkat. SWOT-analyysissa pyritään tunnistamaan yrityksen toimintaan vaikuttavia sisäisiä vahvuuksia ja heikkouksia sekä ulkoisia mahdollisuuksia ja uhkia. Sisäisiin tekijöihin yritys pystyy vaikuttamaan omilla valinnoillaan, kun taas ulkoisiin tekijöihin täytyy enemmän sopeutua. (Speth 2015)

<p>Vahvuudet:</p> <p>Skenaario Pumppaamo:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Helpoin toteuttaa <p>Skenaario Varoallas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Kustannustehokkain tapa hyödyntää laitoksen rakenteita • Verkoston toimintavarmuus paranee puskurikapasiteetin myötä <p>Skenaario Esikäsittely:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Hiekan aiheuttama pumppujen kuluminen minimoitu • Verkoston toimintavarmuus paranee puskurikapasiteetin myötä 	<p>Heikkoudet:</p> <p>Skenaario Pumppaamo:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Virtaaman tasaamiseen vähemmän mahdollisuuksia <p>Skenaario Varoallas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Hiekan ja roskien kerääntyminen altaisiin <p>Skenaario Esikäsittely:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Nykyiset välipäät eivät ole hyödyntämiskelpoiset ja tarvitaan uudet • Suurimmat kertainvestoinnit
<p>Mahdollisuudet:</p> <p>Skenaario Pumppaamo:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Varoallas on todennäköisesti mahdollista ottaa käyttöön myöhemmin pumppaamon jo toimiessa <p>Skenaario Varoallas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Vaihtoehtona ottaa myös esiselkeytysallas varoaltaaksi • Energian säästö pumppauksissa <p>Skenaario Esikäsittely:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Esikäsittely voi parantaa pumppujen ja mittalaitteiden toimintaa ja pidentää niiden käyttöikä • Teoriassa mahdollista lisätä esikäsittely jälkikäteen, jos se koetaan tarpeelliseksi • Energian säästö pumppauksissa 	<p>Uhkat:</p> <p>Skenaario Pumppaamo:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ilmastonmuutoksen vaikutuksesta sademäärä ja virtaaman vaihtelut kasvavat, jolloin pumppaukseen kuluu enemmän energiaa ja riski ylivuodoille on suurempi <p>Skenaario Varoallas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Liian tasainen virtaama siirtolinjassa voi lisätä riskiä rikkivedyn muodostumiselle ja hajuhaitoille <p>Skenaario Esikäsittely:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Kustannukset karkaavat hyötyihin nähden liian suuriksi • Esikäsittelyn todellista vaikutusta verkoston toimintavarmuuteen vaikea arvioida

Kuva 13. Tärkeimmät huomiot tutkimusskenaarioista tiivistettynä SWOT-analyysiin perustuvaan taulukkoon.

Työn tulosten perusteella Lempäälän Vedelle voidaan suositella varoallasskenaariota mukaista rakenteiden hyödyntämistä. Varoallasskenaariossa saadaan hyödynnettyä 755 m³ kokoinen ilmastusallas ja kapasiteettia on mahdollista lisätä esiselkeytysaltailla. Esiselkeytysaltaan hyödyntämisellä varoallasskapasiteettia saadaan lisää jopa 960 m³, jos molemmat esiselkeytysaltaat hyödynnetään. Tällainen varoallasskapasiteetti vastaisi siirtoviemärin käyttöönoton jälkeen noin 82 % nykyiselle puhdistamolle tulevasta keskimääräisestä virtaamasta ja arviolta 41 % 30 vuoden kuluttua tulevasta keskimääräisestä virtaamasta. Näin suuri varoallasskapasiteetti tuo selkeän hyödyn esimerkiksi huoltotilanteita varten, sillä pumppaus voidaan keskeyttää huoletta useammaksi tunniksi.

Varoallasskenaario todettiin kustannustehokkaimmaksi tavaksi hyödyntää jätevedenpuhdistamon rakenteita. Varoallasskenaario ei eroa kustannuksiltaan juurikaan pumppaamoskenaariosta, mikäli esiselkeytysallasta ei haluta hyödyntää. Lisäkustannukset esiselkeytysaltaiden hyödyntämisestä muodostuvat paineviemärin rakentamisesta esiselkeytysrakennukselle asti ja esiselkeytysrakennuksen lämmityksestä.

Esikäsitelyskenaariossa verkoston toimintavarmuus olisi todennäköisesti paras, mutta esikäsitelylaitteiston hankkiminen nostaa skenaarion kustannuksia merkittävästi. Lisäksi siirtoviemäriin linjan varrelta pumpattavien jätevesien arvioitiin vähentävän esikäsitelyn merkitystä myöhempien linjapumppaamoiden pumppujen kulumisen ehkäisemisessä, sillä siirtoviemäriin päätyy lisää hiekkaa linjan varrelta. Haastateltujen henkilöiden kokemuksen ja kirjallisuuden perusteella ei pystytty osoittamaan, että esikäsitely voisi maksaa itsensä takaisin 30 vuoden aikajänteellä. Tämän takia esikäsitelyn osalta todetaan, että sille kannattaa jättää tilavaraus ja hankkia laitteisto myöhemmin, mikäli käytäntö osoittaa sen tarpeelliseksi.

Varoallas- ja esiselkeytysskenaarioissa mainitaan mahdollisuus energian säästöön pumppauksessa. Teorian mukaan pumppaaminen on energiatehokkainta, kun pumput saavat toimia yhtäjaksoisesti niille mitoitettulla optimitoiminta-alueella. Suuri imuallas ja virtaamapiikkien tasaaminen varoaltailla mahdollistaa pumppuille tällaiset toimintaolosuhteet. On kuitenkin tärkeä huomata, että energian säästö ei tule missään skenaariossa itsestään ”kaupan päälle” rakenteiden hyödyntämisestä, vaan sen eteen täytyy tehdä säästöjä ja optimointia. Optimointia voi olla esimerkiksi pumppujen erilaisten ajotapojen kokeileminen. On mahdollista, että energiatehokkaimman operointitavan löytäminen vie aikaa ja tunnistetaan vasta vertailemalla toteutunutta sähkönkulutusta.

Lempäälän Veden kannattaa inventoida nykyiset laitteet niiden hyödyntämisen selvittämiseksi. Hyödyntämisen kannalta tärkeää on selvittää esimerkiksi laitteiden hankinta-ajankohdat, jotta voidaan arvioida niiden jäljellä olevaa käyttöaika. Mikäli puhdistamolta löydetään käyttöiän puolesta hyödynnettäviä laitteita ja laitteille tunnistetaan käyttökohde myös puhdistamotoiminnan loputtua, tulee niiden kunto ja toimivuus tarkistaa. Jos esimerkiksi käytettyä pumppua haluttaisiin hyödyntää varoaltaan tyhjentämisessä, täytyisi tarkastella pumpun nostokorkeuden ja kapasiteetin riittävyys. Hyödynnettävien laitteiden inventointi voisi olla järkevää toteuttaa työpajana, jossa henkilöstö jaettaisiin ryhmiin esimerkiksi rakennusten perusteella. Tällöin jokaisen käytöstä poistuvan rakennuksen laitteet tulisi käytyä läpi nopeammin.

6. JOHTOPÄÄTÖKSET

Työn tavoitteina oli selvittää, millä tavoilla vesilaitos voi hyödyntää käytöstä poistuvan jätevedenpuhdistamon infrastruktuuria ja laitteita, mitä etuja tai haittoja hyödyntämisestä voi olla, ja millä tavalla hyödyntäminen vaikuttaa 5, 15 ja 30 vuoden kuluttua. Työn tuloksena tunnistettiin useita tapoja hyödyntää käytöstä poistuvan jätevedenpuhdistamon rakenteita. Aiheeseen liittyvän teorian ja haastatteluiden aineiston analysoinnin perusteella puhdistamon altaita voi sellaisenaan hyödyntää viemäriverkoston tasaus- tai varoaltaina. Pienempien laitteiden ja materiaalien osalta hyödyntämistä voidaan teorian mukaan toteuttaa urban mining -idean mukaisesti. Tällöin on mahdollista löytää käytöstä poistuvista rakenteista esimerkiksi varaosia tai kierrättää esimerkiksi turhiksi jääviä teräsrakenteita materiaalina. Haastattelujen perusteella myös prosessilaitteiden hyödyntäminen voi olla mahdollista, vaikkakin sitä pidettiin usein haasteellisena laitteiden lyhyemmän elinkaaren takia. Lisäksi haastatteluissa mainittiin vanhojen puhdistamorakennusten muuttaminen esimerkiksi korjaamoksi, varastoksi tai autotalliksi olevan yksi keino hyödyntää niitä.

Käytöstä poistuvan jätevedenpuhdistamon rakenteiden hyödyntämisestä tunnistettiin useita etuja vesilaitokselle. Yksi selkeä etu liittyi verkoston toimintavarmuuden parantamiseen altaiden hyödyntämisen vaikutuksena. Mahdollisuus viivyttää jätevettä vanhoissa altaissa tuo lisää toiminta-aikaa esimerkiksi huolto- ja vikatilanteisiin. Lisäksi puhdistamon altaiden hyödyntäminen voi auttaa hallitsemaan kevään virtaamahuippuja, jos verkostoon pääsee paljon vuotovesiä. Työssä tunnistetut altaiden hyödyntämisen edut eivät rajoittuneet pelkästään viemäriverkostoa operoivan vesilaitoksen toimintaan, vaan tapauksen mukaan ne voivat vaikuttaa myös keskuspuhdistamon toimintaan. Keskuspuhdistamon toimintaa hyödyttää, jos tulovirtaamaa ja kuormitusta saadaan tasattua.

Käytöstä poistuvan jätevedenpuhdistamon rakenteiden hyödyntämisessä on useita yhtymäkohtia kiertotalouteen. Vanhan jätevedenpuhdistamon rakenteiden hyödyntäminen voidaan nähdä eräänä keinona saavuttaa esimerkiksi VVY:n strategian kestävän kehityksen ja kiertotalouden tavoitetta, sillä hyödyntämällä nykyiset rakenteet ne säilyvät käytössä pidempään ja parhaassa tapauksessa esimerkiksi uusia rakennuksia ei tarvitse rakentaa ollenkaan. Rakenteita hyödyntämällä voi siten olla mahdollista vähentää neitseellisten raaka-aineiden kulutusta ja sitä kautta saavuttaa säästöjä.

Yksi sekä teorian pohjalta että haastatteluista tunnistettu rakenteiden hyödyntämisestä saatava etu on mahdollisuus pienentää jäteveden pumppauksen energiankulutusta ja

siitä aiheutuvia kustannuksia. Pumppauksen energiankulutuksen pienentämisen todettiin olevan mahdollista, kun pumppaamon yhteydessä on tasauskapasiteettia ja pumppuja ohjataan taajuusmuuntajalla. Tällöin pumpun toiminta pysyy kauemmin sille mitoitetulla optimitoiminta-alueella, jolloin pumppu toimii parhaalla hyötysuhteella. Tämän työn puitteissa ei kuitenkaan tutkittu, kuinka suuri tasauskapasiteetti vähintään tarvitaan pumppujen toiminnan optimoimiseksi. Jatkotutkimuksena olisi mielenkiintoista tutkia tasauslaitaiden vaikutusta pumppujen sähkönkulutukseen mallintamalla taajuusmuuntajalla ohjatun pumpun toimintaa ja vertaamalla suuren tasausaltaan omaavan pumppaamon tuloksia normaaliin pumppaamoon, jossa ei ole juurikaan tasauskapasiteettia. Pumppaamoa operoivalle vesilaitokselle olisi hyödyllistä löytää optimaalinen ajotapa tällaiselle ainutlaatuiselle pumppaamolle. Siten tasauskapasiteetista voitaisiin saada entistä suurempi hyöty myös taloudellisesti.

Varsinaisesti pelkän rakenteiden hyödyntämisen ei tunnistettu aiheuttavan merkittäviä haittoja, mikäli hyödyntäminen suunnitellaan huolellisesti ja esimerkiksi tarvittavat kunnottotutkimukset toteutetaan. Jo käytetyissä rakenteissa piilee kuitenkin aina jonkin suuruisen riski sellaisten hyödyntämiseen vaikuttavien tekijöiden löytymiseen, joita ei esimerkiksi altaan normaalissa käytössä ole huomattu. Lisäksi säästöjä tavoittelemalla ei saa tinkiä viemäriverkoston toimivuudesta. Tietyntylaisena haittana voidaan pitää myös suurempaa lämmitysenergian tarvetta, mikä liittyy rakennusten ja katettujen altainen hyödyntämiseen. Esimerkiksi tapaustutkimuksen mukaisesti ilmastusrakennuksen hyödyntäminen uutena pumppaamotilana aiheuttaa noin 4 kertaa suuremman lämmitysenergian tarpeen verrattuna uuteen vastaavaan pumppaamoon.

Toteutetun kustannusarvion perusteella vanhan puhdistamon rakenteiden hyödyntäminen oli taloudellisesti järkevää ainakin tapaustutkimuksen puhdistamalla. Erot rakenteita hyödyntävien tutkimusskenaarioiden kustannusten ja uuden linjapumppaamon rakentamisen kustannusten välillä olivat merkittävät, koska nykyiset rakenteet olivat hyväkuntoisia ja uuden rakennuksen rakentamiselta vältyttiin kokonaan. Taloudellisen hyödyn saaminen edellyttää, että nykyisille rakenteille ei tarvitse tehdä merkittäviä kunnostustoimenpiteitä ennen hyödyntämistä.

Rakenteiden hyödyntämisen vaikutukset tulevaisuudessa ovat työn perusteella kohtuullisesti ennakoitavissa, mitä tulee esimerkiksi rakennusten ja altainen kuntoon. 30 vuoden aikavälillä on erittäin todennäköistä, että esimerkiksi rakennuksille täytyy tehdä jotain kunnostustoimenpiteitä. Näin olisi kuitenkin myös uuden pumppaamon tapauksessa. Jos päädytään hyödyntämään joitain laitteita, on huomattava niiden arvioitu jäljellä oleva käyttöikä. Hyödynnettävien laitteiden kohdalla vaikutukset kohdistuvat lähinnä 5 ja 15

vuoden aikajännteille, sillä useimpien laitteiden elinkaari osuu tälle välille. Myös lämmityksessä käytettävän energiamuodon hinta vaikuttaa siihen, mikä ratkaisu on edullisin toteuttaa etenkin pitkällä aikajännteellä. Energian hinnanmuutoksia on vaikea arvioida, joten päätöksenteon tueksi on suositeltavaa laskea useita versioita eri hinnoilla. Tiivistettynä voisi todeta esimerkiksi rakennuksen tai altaan hyödyntämisen nopeuttavan tarvetta jonkinlaiselle saneeraukselle tai kunnostukselle verrattuna uuteen rakentamiseen.

Vanhan jätevedenpuhdistamon rakenteiden hyödyntäminen on aina tapauskohtaista ja se tulee harkita tarkkaan. Työn tulosten perusteella vanhan jätevedenpuhdistamon rakenteiden hyödyntämistä on kannattavaa vähintään tarkastella, kun suunnitellaan uutta keskusjätevedenpuhdistamo tai uutta jätevedenpuhdistamo. Mahdollisuus vanhan jätevedenpuhdistamon rakenteiden hyödyntämiseen tulisi ottaa huomioon jo siinä vaiheessa, kun suunnitellaan esimerkiksi alueellista keskuspuhdistamo yhtenä vaihtoehtona tulevaisuuden jätevesien käsittelyyn. Hyödyntäminen on työn perusteella kannattavinta silloin, kun hyödynnettävät rakenteet ovat hyvässä kunnossa, vanha jätevedenpuhdistamo sijaitsee uuteen tilanteeseen nähden hyödyllisellä alueella, alueelle ei ole tiedossa maankäytön muutoksia ja vesilaitoksen toimintaa säilyy muutenkin edes osittain vanhalla puhdistamoalueella.

LÄHTEET

- Ahdelma, J. (2023). Kenkäveron vanha putsari puretaan ensi vuonna – nyt mietitään, jätetäänkö siitä osa kertomaan alueen historiasta. Mikkelin Kaupunkilehti. 22.2.2023. Saatavilla: <https://www.mikkelinkaupunkilehti.fi/paikalliset/5738847> (Viitattu 22.11.2023)
- Airamaa, M. (2023). Yksi aika päättyy Suomenojalla – jätevedenpuhdistamon purku alkaa alkuvuodesta 2024, tilalle hulpea asuinalue. Länsiväylä. 31.8.2023. Saatavilla: <https://www.lansivayla.fi/paikalliset/6177178> (Viitattu 22.11.2023).
- Arora, M., Raspall, F., Fearnley, L. & Silva, A. (2021). Urban mining in buildings for a circular economy: Planning, process and feasibility prospects. Resources, Conservation & Recycling. Volume 174.
- Arto, K., Martinsuo, M. & Kujala, J. (2006). Projektiliiketoiminta. WSOY Oppimateriaalit Oy, Helsinki. s. 151–153.
- Arup, Ellen MacArthur Foundation & Antea Group. (2019). Water and Circular Economy – A Whitepaper.
- Barry, J. A. (2007). Watergy: Energy and Water Efficiency in Municipal Water Supply and Wastewater Treatment. Cost-effective Savings of Water and Energy. The Alliance to Save Energy.
- Castren, J. (2015). Selvitys jätevesiohituksista. Suomen Vesilaitosyhdistys ry. Vesilaitosyhdistyksen monistesarja nro 35. Saatavilla: https://www.vvy.fi/site/assets/files/4907/selvitys_jatevesiohituksista_2015.pdf
- Davis, M.L. (2020). Water and Wastewater Engineering: Design Principles and Practice, Second Edition. McGraw-Hill Education. 1349 p.
- Di Maria, A., Eyckmans, J. & Van Acker, K. (2018). Downcycling versus recycling of construction and demolition waste: Combining LCA and LCC to support sustainable policy making. Waste Management. Volume 75. pp. 3-21.
- EEA European Environment Agency. (2022). Beyond water quality – Sewage treatment in a circular economy. EEA Report No 05/2022. Saatavilla: <https://www.eea.europa.eu/publications/beyond-water-quality-sewage-treatment>
- Ellen MacArthur Foundation. (2024). What is a circular economy? Saatavilla: <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/topics/circular-economy-introduction/overview> (Viitattu 11.1.2024)
- Espoon kaupunki. (2023). Suomenojan puhdistamoalueen muuttaminen asumiselle. Saatavilla: <https://www.espoo.fi/fi/hankkeet/suomenojan-puhdistamoalueen-muuttaminen-asumiselle#aloitus-3595> (Viitattu 15.12.2023)
- Euroopan komissio. (2022). Euroopan vihreän kehityksen ohjelma: Komissio ehdottaa sääntöjä puhtaamman ilman ja veden turvaamiseksi. Lehdistötiedote. Saatavilla: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/fi/ip_22_6278

- Europump, Hydraulic Institute & U. S. Department of Energy. (2001). Pump Life Cycle Costs: A Guide to LCC Analysis for Pumping Systems. 19 s.
- Fecarotta, O., Carravetta, A., Morani, M. C. & Padulano, R. (2018). Optimal Pump Scheduling for Urban Drainage Under Variable Flow Conditions. *Basel. Resources* 2018, Vol. 7 issue 4.
- Fecarotta, O. & Cimorelli, L. (2021). Optimal scheduling and control of a sewer pump under stochastic inflow pattern. *Urban Water Journal*. Vol 18, No 6. pp. 383-393.
- Gerardi, M.H. (2016). Operator's Guide to Biological Nutrient Removal (BNR) in the Activated Sludge Process. Chemical Publishing Company. s. 58–68.
- Grundfos. (julkaisuvuosi ei tiedossa). The sewage pumping handbook. Saatavilla Grundfosilta.
- Grundfos. (2024). Asennusvalmiit pumppaamot. Saatavilla: <https://www.grundfos.com/fi/learn/ecademy/all-courses/prefabricated-pumping-stations> (Viitattu 25.1.2024)
- Helsingin seudun ympäristöpalvelut. (2020). Pumppaamoiden suunnittelu, käyttö ja huolto. 53 s. Saatavilla: <https://www.hsy.fi/globalassets/ymparistotieto/projektisivustot-ja-hanke-esittelyt/kuvat/vippa/vippa-pumppaamoraportti-liitteinen.pdf>
- Hewlett, P. (2003). *Lea's Chemistry of Cement and Concrete*. 4th edition. Oxford Elsevier Science. 1092 p.
- Hirsjärvi, S. & Hurme, H. (2022). Tutkimushaastattelu: teemahaastattelun teoria ja käytäntö. Helsinki, Gaudeamus. Verkkoaineisto. (Viitattu 29.8.2023)
- lisalmen kaupunki. (2022). Pitkälahden jätevedenpumppaamo ja viemärit, urakkatarjouspyyntö. Saatavilla: <https://www.hankintailmoitukset.fi/fi/public/procurement/75995/notice/110614/overview>
- IPCC. (2021). Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Masson-Delmotte, V., Zhai, P., Pirani, A., Connors, S.L., Péan, C., Berger, S., Caud, N., Chen, Y., Goldfarb, L., Gomis, M.I., Huang, M., Leitzell, K., Lonnoy, E., Matthews, J.B.R., Maycock, T.K., Waterfield, T., Yelekçi, O., Yu, R. and Zhou, B. (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 3–32.
- Jones, G. M. (2008). *Pumping station design*. Revised 3rd edition. Elsevier.
- Juuti, P., Katko, T. & Rajala, R. (2017). *Sata vuotta vesihuoltoa Suomessa 1917–2017*. Suomen yliopistopaino Oy – Juvenes Print, Tampere 2017.
- Karttunen, E., Tuhkanen, T. & Kiuru, H. (2004). *Vesihuolto II*. 124-2-2004. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.
- Keskuspuhdistamo Oy. (2023). Hankekuvaus. Saatavilla: <https://www.keskuspuhdistamo.fi/hankekuvaus/> (Viitattu 19.10.2023)
- Koivuranta, E., Suopajärvi, T., Hattuniemi, J., Stoor, T. & Illikainen, M. (2017). The effect of seasonal variations on floc morphology in the activated sludge process. *Environmental Technology*. Vol. 38 No 24, s. 3209–3215.

- Koutamanis, A., van Reijn, B. & van Bueren, E. (2018). Urban mining and buildings: A review of possibilities and limitations. *Resources, Conservation & Recycling*. Volume 138.
- Kuntaliitto. (2023). Kaupunkien ja kuntien lukumäärä ja väestötiedot. Saatavilla: <https://www.kuntaliitto.fi/kuntaliitto/tietotuotteet-ja-palvelut/kaupunkien-ja-kuntien-lukumaarat-ja-vaestotiedot> (Viitattu 14.8.2023)
- Laitinen, J., Nieminen, J., Saarinen, R. & Toivikko, S. (2014). Yhdyskuntien jätevedenpuhdistamot. Paras käyttökelpoinen tekniikka (BAT). Ympäristöministeriö. Saatavilla: <https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/handle/10138/43199>
- Laitinen, J., Juntunen, J., Kotamäki, N., Laukka, V., Siimes, K., Laikari, A., Dubovik, M., Rinta-Hiiro, V., Wendling, L., Miettinen, I. T. & Meriläinen, P. (2022). Yhdyskuntajätevesien satunnaispäästöjen merkitys ja vaikutukset vastaanottavissa vesistöissä. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 2022:22. Valtioneuvoston kanslia, Helsinki. 101 s.
- Lempäälän Vesi Oy. (2023). Jäteveden käsittely. Saatavilla: <https://www.lempaalanvesi.fi/toiminta/jateveden-kasittely/>
- Meriläinen, P., Lanki, T., Miettinen, I., Hokajärvi, A-M., Simola, A., Tiittanen, P. & Ylituomi, T. (2019). Ilmastonmuutos ja vesihuolto – varautuminen ja terveysvaikutukset. Suomen Ilmastopaneeli. Raportti 10/2019. Saatavilla: https://www.ilmastopaneeli.fi/wp-content/uploads/2019/12/Ilmastonmuutos-ja-vesihuolto_final.pdf
- Metcalf & Eddy. (2014). *Wastewater Engineering: Treatment and Resource Recovery*. McGraw-Hill Education.
- Motiva. (2011). Energiatehokkaat pumput. 32 s. Saatavilla: https://www.motiva.fi/ajankohtaista/julkaisut/kaikki_julkaisut/energiatehokkaat_pumput.9236.shtml
- Motiva. (2018). Energiatehokas jäteveden pumppaus. Saatavilla: https://www.motiva.fi/julkinen_sektori/vesihuoltolaitos/veden_tuotanto_ja_jakelu/jateveden_pumppaus
- Nguyen, T. K. L., Ngo, H. H., Guo, W., Nguyen, T. L. H., Chang, S. W., Nguyen, D. D., Varjani, S., Lei, Z. & Deng, L. (2021). Environmental impacts and greenhouse gas emissions assessment for energy recovery and material recycle of the wastewater treatment plant. *Science of the Total Environment*. Volume 784.
- Owolabi, T. A., Mohandes, S. R. & Zayed, T. (2021). Investigated the impact of sewer overflow on the environment: A comprehensive literature review paper. *Journal of Environmental Management*. Volume 301.
- Paavilainen, J. (2019). Vesihuoltolaitoksen omaisuudenhallinnan käsikirja. Suomen Vesilaitosyhdistys ry. Vesilaitosyhdistyksen monistesarja nro 55. Saatavilla: https://www.vvy.fi/site/assets/files/2945/vesihuoltolaitoksen_omaisuudenhallinnan_kasikirja2019.pdf
- Pipelife. (2024). Räätelöidyt pumppaamot kunnallistekniikkaan. Saatavilla: <https://www.pipelife.fi/tuotteet-ja-ratkaisut/infratekniikka/pumppaamot.html> (Viitattu 25.1.2024)
- Pistocchi, A., Andersen, H. R., Bertanza, G., Brander, A., Choubert, J. M., Cimbritz, M., Drewes, J. E., Koehler, C., Krampe, J., Launay, M., Nielsen, P. H., Obermaier, N.,

- Stanev, S. & Thornberg, D. (2022). Treatment of micropollutants in wastewater: Balancing effectiveness, costs and implications. *Science of The Total Environment*. Volume 850.
- Porvoon kaupunki. (2023). Kokkonniemen jätevedenpuhdistamon purkaminen käynnissä. 15.6.2023. Saatavilla: <https://www.porvoo.fi/uutiset/kokkonniemen-jatevedenpuhdistamon-purkaminen-kaynnissa/> (Viitattu 22.11.2023).
- Raghuvanshi, S., Bhakar, V., Sowmya, C. & Sangwan, K.S. (2017). Wastewater treatment plant life cycle assessment: treatment process to reuse of water. *Procedia CIRP*. Vol. 61. p.761-766.
- Rathnayake, U. & Faisal Anwar, A.H.M. (2019). Dynamic control of urban sewer systems to reduce combined sewer overflows and their adverse impacts. *Journal of Hydrology*, 579.
- Reif, R., Omil, F. & Lema, J.M. (2013). Removal of Pharmaceuticals by Membrane Bioreactor (MBR) Technology. *Comprehensive Analytical Chemistry*. Volume 62. pp. 287–317.
- RIL. (2010a). Vesihuoltoverkkojen suunnittelu. Perusteet ja toiminnallisuus. RIL 237-1-2010. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.
- RIL. (2010b). Vesihuoltoverkkojen suunnittelu. Mitoitus ja suunnittelu. RIL 237-2-2010. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.
- Saagi, R., Flores-Alsina, X., Fu, G., Butler, D., Gernaey, K. V. & Jeppsson, U. (2015). Catchment & sewer network simulation model to benchmark control strategies within urban wastewater systems. *Environmental Modelling & Software* 78. pp. 16–30.
- Saaranen-Kauppinen, A. & Puusniekka, A. (2006). KvaliMOTV – Menetelmäopetuksen tietovaranto. Tampere: Yhteiskuntatieteellinen tietoaarkisto. Verkkoaineisto. Saatavilla: https://www.fsd.tuni.fi/menetelmaopetus/kvali/L6_3_2.html (Viitattu 29.8.2023)
- Siintoharju, P. (2017). Jätevedenpumppaamoiden ylivuotojen ja jätevedenpuhdistamoiden ohitusten ympäristöriskit ja hallinta Pirkanmaalla. Pirkanmaan elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus. Raportteja 11 | 2017.
- Silfverberg, P. (2017). Vesihuollon suuntaviivat 2020-luvulle. Suomen Vesilaitosyhdistys ry. Vesilaitosyhdistyksen monistesarja nro 44. Saatavilla: <https://www.vvy.fi/verkko-kauppa/tuotteet/vesihuollon-suuntaviivat-2020-luvulle-pdf/>
- Sitra. (2019). Yrityksen pelistrategiassa ovat uudet kiertotalouden liiketoimintamallit. Saatavilla: <https://www.sitra.fi/artikkelit/yrityksen-pelistrategiassa-uudet-kiertotalouden-liiketoimintamallit/> (Viitattu 1.2.2024)
- Speth, C. (2015). *The SWOT analysis: A Key Tool for Developing Your Business Strategy*. Lemaitre Publishing. 34 p.
- Suomen Vesilaitosyhdistys ry. (2024). VVY:n strategia. Saatavilla: <https://www.vvy.fi/vesilaitosyhdistys/vvy-n-strategia/> (Viitattu 11.1.2024)
- Sweco. (2022). Yleissuunnitelma - Lempäälän jätevedenpuhdistamon lähtöpumppaamo.

SYKE. (2021). Vesienhoidon toimenpiteiden suunnittelun ohjeistus 2022–2027. Yhdyskunnat, haja-asutus ja teollisuus. Verkkoaineisto. Saatavilla: <https://www.ymparisto.fi/fi/luonto-vesistot-ja-meri/vedet-ja-vesistot/vesien-ja-merensuojelu/vesien-ja-merenhoidon-suunnitteluoppaat-asiantuntijoille#Taustadokumentteja%202022-2027> (Viitattu 14.9.2023)

Tampereen kaupunki. (2024). Viinikanlahti. Saatavilla: <https://www.tampere.fi/kaupunkisuunnittelu/kaupunkiymparisto-uudistuu/viinikanlahti> (Viitattu 19.1.2024)

Tukker, M., Kooij, K. & Pothof, I. (2016). Hydraulic Design and Management of Wastewater Transport Systems. IWA Publishing.

Valkonen, K., Lindqvist, P. & Syväälä, R. (2021). Viemäriverkoston ylivuotojen ja jätevedenpuhdistamo-ohitusten hallinnan ratkaisut Itämeren alueella. Itämeriyhteistyöllä ilmastokestävyyttä -hankkeen osaraportti. ELY-keskuksen raportteja 6 | 2021.

Vienonen, S., Rintala, J., Orvomaa, M., Santala, E. & Maunula, M. (2012). Ilmastonmuutoksen vaikutukset ja sopeutumistarpeet vesihuollossa. Suomen Ympäristökeskus. 24 | 2012.

VVY. (2022). Ukrainassa on pula myös vesihuollon tarvikkeista ja kalustosta. Verkkoaineisto. Saatavilla: <https://www.vvy.fi/ajankohtaista/uutiset/ukrainassa-on-pula-myo-ve-sihuollon-tarvikkeista-ja-kalustosta/> (Viitattu 16.2.2024)

Wilcoxson, D. & Badruzzaman, M. (2013). Optimization of Wastewater Lift Stations for Reduction of Energy Usage and Greenhouse Gas Emissions. Water Environment Research Foundation.

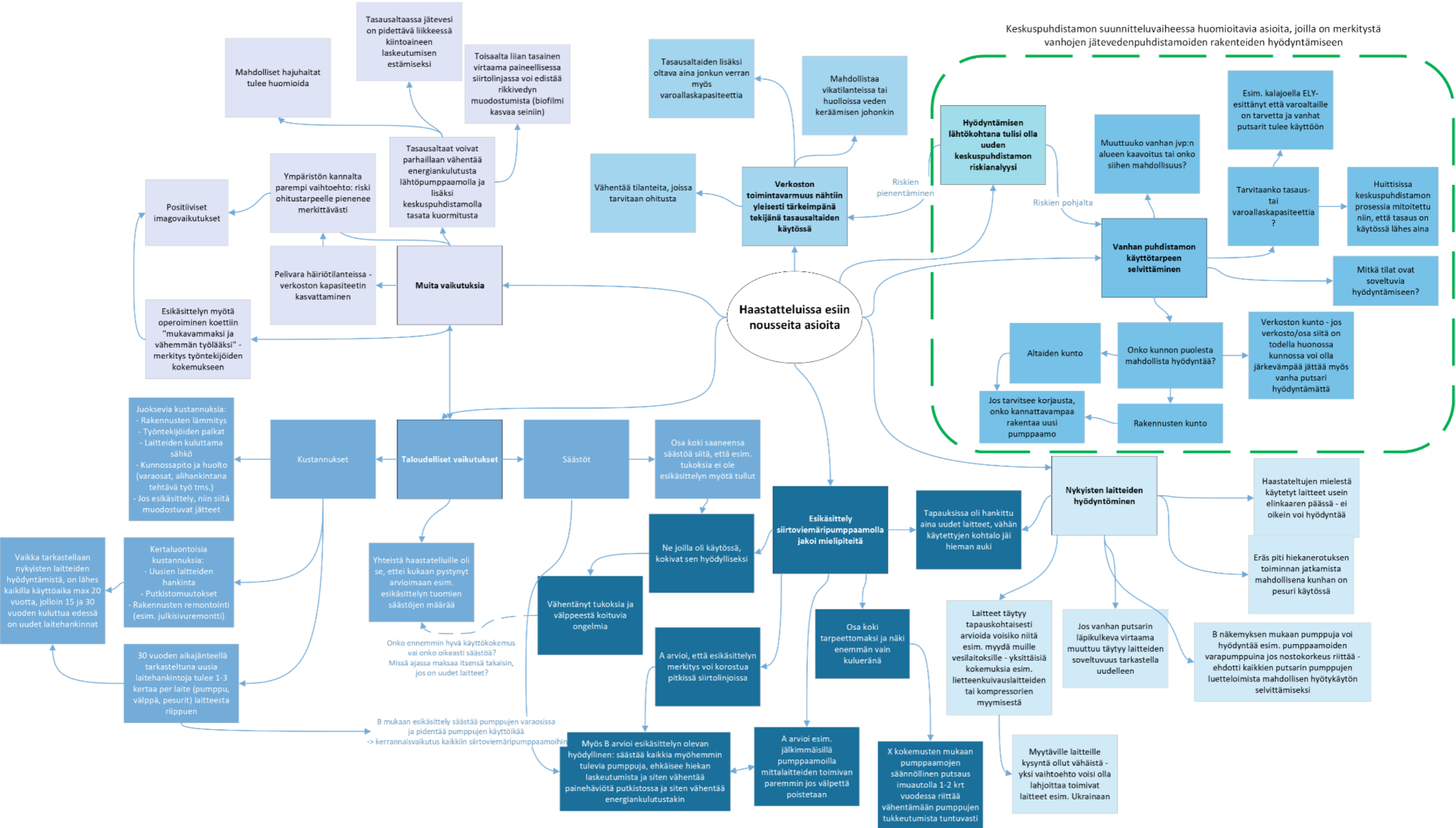
WWAP United Nations World Water Assessment Programme. (2014). The United Nations World Water Development Report 2014: Water and Energy. Volume 1. UNESCO.

Xavier, L. H., Ottoni, M. & Abreu, L. P. P. (2023). A comprehensive review of urban mining and the value recovery from e-waste materials. Resources, Conservation and Recycling. Volume 190.

Ympäristöministeriö. (2018). Energiatehokkuus – Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta. Saatavilla: https://ym.fi/documents/1410903/38439968/Ohje---Rakennuksen-energiankulutuksen-ja-lammitystehontarpeen-laskenta-20-12-2017-4332AA81_75E1_4CA0_B208_B0ACB60A267F-133692.pdf

Ympäristöministeriö. (2024). Jätteet. Saatavilla: <https://ym.fi/jatteet> (Viitattu 2.2.2024)

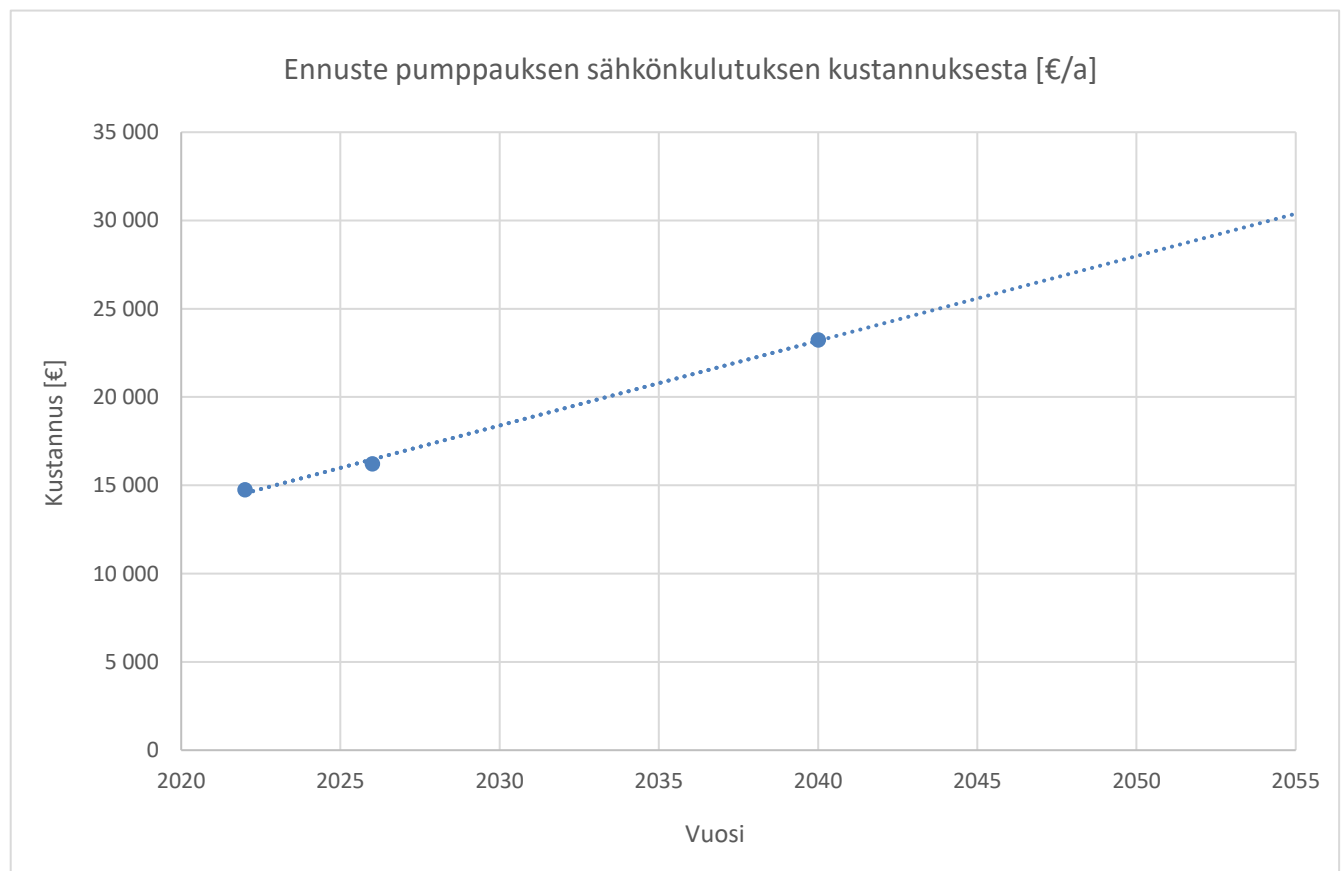
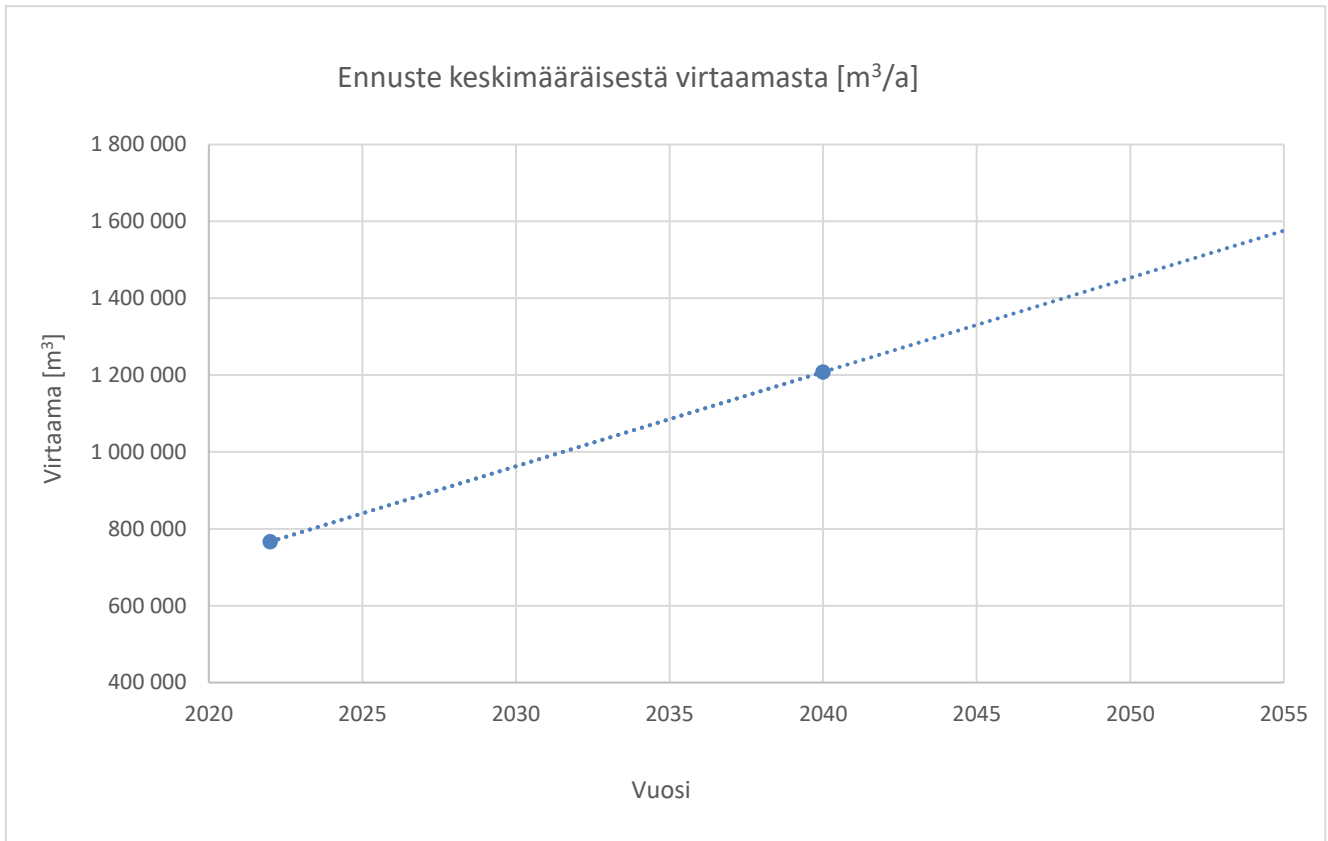
LIITE A: HAASTATTELUISTA MUODOSTETTU KÄSITEKARTTA



LIITE B: ARVIOITU VIRTAAMAN KASVU JA SIIHEN PERUSTUVA SÄHKÖNKULUTUS

Keltaisella korostetut arvot ovat Lempäälän Veden materiaaleista. Vuoden 2022 osalta kyse toteutuneesta virtaamasta tulevan pumppaamoalueen pumppaamoilta. Seuraavalla sivulla ovat kuvaajat, joista alla olevan taulukon lukuarvot on saatu.

Vuosi	Q _{av} [m ³ /a]	Kustannus [€/a]
2022	766 500	14 748
2023	791 500	15 000
2024	816 500	15 500
2025	841 500	16 000
2026	866 500	16 211
2027	891 500	17 000
2028	916 500	17 500
2029	941 500	18 000
2030	966 500	18 500
2031	991 500	19 000
2032	1 016 500	19 500
2033	1 041 500	20 000
2034	1 066 500	20 500
2035	1 091 500	21 000
2036	1 116 500	21 500
2037	1 141 500	22 000
2038	1 166 500	22 500
2039	1 191 500	23 000
2040	1 208 004	23 243
2041	1 233 004	23 743
2042	1 258 004	24 243
2043	1 283 004	24 743
2044	1 308 004	25 243
2045	1 333 004	25 743
2046	1 358 004	26 243
2047	1 383 004	26 743
2048	1 408 004	27 243
2049	1 433 004	27 743
2050	1 458 004	28 243
2051	1 483 004	28 743
2052	1 508 004	29 243
2053	1 533 004	29 743



LIITE C: UUDEN PUMPPAAMORAKENNUKSEN LÄMMITYSENERGIAN TARPEEN LASKEMINEN

Rakennusten lämmitysenergian tarve on laskettu kaavalla: $Q = \sum U_i A_i (T_s - T_u) \Delta t / 1000$. Laskuissa on käytetty m³ kohti tarvittavaa energiamäärää ja kerrottu rakennuksen tilavuus sillä. Tämä arvo on kerrottu kaukolämmön hinnalla 0,08 €/kWh, jolloin on saatu lämmityskustannus.

Ilmastusrakennuksen lämmitysenergian tarve:

Vaihe 1	Rakennuksen lämpimän tilan sisämitat [m]							
	pituus	44,30	leveys	12,50	korkeus	6,00	tilavuus	3322,50 m ³
							pinta-ala	553,75 m ²
Vaihe 2	Ikkunoiden mitat [m]							
	Malli 1	0	kpl		Malli 2	0	kpl	
	korkeus	1,20	leveys	1,02	korkeus	0,40	leveys	0,40
							pinta-ala	0,00 m ²
Vaihe 3	Ulko-ovien mitat [m]							
	Malli 1	1	kpl		Malli 2	1	kpl	
	leveys	0,90	korkeus	2,10	leveys	4,20	korkeus	3,60
							pinta-ala	17,01 m ²
Vaihe 4	Tavoitesisälämpötila [°C]							
	Kylmin ulkolämpötila talvella [°C]							15
	Astepäiväluku (Käytetty Tampereen arvoa vuodelta 2022)							-25
								4017
	Ulkoseinäpinta-ala yhteensä							681,6 m ²
	Ikkunapinta-ala yhteensä							0,00 m ²
	Ulko-ovien ala yhteensä							17,01 m ²
Tulokset:	Energiantarpeen laskenta 1 vuodelle:							
	Q Ulkoseinä	38 443		kWh	U _i	0,600	W/m ² K	
	Q ikkunat	0		kWh	U _i	2,100	W/m ² K	
	Q ovet	3 280		kWh	U _i	2,000	W/m ² K	
	Q Yläpohja	21 354		kWh	U _i	0,400	W/m ² K	
	Q Lämmön johtuminen ulos yhteensä	63 077		kWh				
				kWh				
	Q Rakenne maata vasten (johtuma)	21 354		kWh	U _i	0,400	W/m ² K	
	Q sähkölaitteiden tuoma lämpö	-1 661		kWh				
	Q lämmin vesi	0		kWh				
	Q Koneellinen ilmanvaihto	0		kWh				
		Yhteensä	82 770		kWh			
		Lisäys	10 %	8 277		kWh		
		Yhteensä	91 047		kWh			
			27		kWh/m ³			

Esiselkeytsrakennuksen lämmitysenergian tarve:

Vaihe 1	Rakennuksen lämpimän tilan sisämitat [m]							
	pituus	21,00	leveys	10,00	korkeus	6,00	tilavuus	1260,00 m ³
						pinta-ala	210,00 m²	
Vaihe 2	Ikkunoiden mitat [m]							
	Malli 1	0	kpl		Malli 2	0	kpl	
	korkeus	1,20	leveys	1,02	korkeus	0,40	leveys	0,40
						pinta-ala	0,00 m²	
Vaihe 3	Ulko-ovien mitat [m]							
	Malli 1	1	kpl		Malli 2	1	kpl	
	leveys	0,90	korkeus	2,10	leveys	4,20	korkeus	3,60
						pinta-ala	17,01 m²	
Vaihe 4	Tavoitesisälämpötila [°C]							
								15
	Kylmin ulkolämpötila talvella [°C]							
							-25	
Astepäiväluku (Käytetty Tampereen arvoa vuodelta 2022)							4017	
Ulkoseinäpinta-ala yhteensä							372	m ²
Ikkunapinta-ala yhteensä							0,00	m ²
Ulko-ovien ala yhteensä							17,01	m ²
Tulokset:	Energiantarpeen laskenta 1 vuodelle:							
Q Ulkoseinä	20 534		kWh	U _i			0,600 W/m ² K	
Q ikkunat	0		kWh	U _i			2,100 W/m ² K	
Q ovet	3 280		kWh	U _i			2,000 W/m ² K	
Q Yläpohja	8 098		kWh	U _i			0,400 W/m ² K	
Q Lämmön johtuminen ulos yhteensä	31 912		kWh					
Q Rakenne maata vasten (johtuma)	8 098		kWh	U _i			0,400 W/m ² K	
Q sähkölaitteiden tuoma lämpö	-630		kWh					
Q lämmin vesi	0		kWh					
Q Koneellinen ilmanvaihto	0		kWh					
Yhteensä	39 381		kWh					
Lisäys	10 %	3 938	kWh					
Yhteensä		43 319	kWh					
		34	kWh/m³					

Uuden erillisen pumppaamon lämmitysenergian tarve:

Vaihe 1	Rakennuksen lämpimän tilan sisämitat [m]							
	pituus	6,17	leveys	10,00	korkeus	6,00	tilavuus	370,20 m ³
							pinta-ala	61,70 m²
Vaihe 2	Ikkunoiden mitat [m]							
	Malli 1	0	kpl		Malli 2	0	kpl	
	korkeus	1,20	leveys	1,02	korkeus	0,40	leveys	0,40
							pinta-ala	0,00 m²
Vaihe 3	Ulko-ovien mitat [m]							
	Malli 1	1	kpl		Malli 2	1	kpl	
	leveys	0,90	korkeus	2,10	leveys	4,20	korkeus	3,60
							pinta-ala	17,01 m²
Vaihe 4	Tavoitesisälämpötila [°C]							
								15
	Kylmin ulkolämpötila talvella [°C]							
								-25
	Astepäivähuku (Käytetty Tampereen arvoa vuodelta 2022)							
								4017
	Ulkoseinäpinta-ala yhteensä							
								194,04 m ²
	Ikkunapinta-ala yhteensä							
								0,00 m ²
	Ulko-ovien ala yhteensä							
								17,01 m ²
Tulokset:	Energiantarpeen laskenta 1 vuodelle:							
Q Ulkoseinä	10 240		kWh	U _i	0,600	W/m ²	K	
Q ikkunat	0		kWh	U _i	2,100	W/m ²	K	
Q ovet	3 280		kWh	U _i	2,000	W/m ²	K	
Q Yläpohja	2 379		kWh	U _i	0,400	W/m ²	K	
Q Lämmön johtuminen ulos yhteensä	15 899		kWh					
			kWh					
Q Rakenne maata vasten (johtuma)	2 379		kWh	U _i	0,400	W/m ²	K	
Q sähkölaitteiden tuoma lämpö	-185		kWh					
Q lämmin vesi	0		kWh					
Q Koneellinen ilmanvaihto	0		kWh					
Yhteensä	18 094		kWh					
Lisäys	10 %	1 809	kWh					
Yhteensä		19 903	kWh					
		54	kWh/m³					

LIITE D: KUSTANNUSARVIOIDEN TULOKSET

Kustannusarviossa käytetyt lähtötiedot varsinaisten tulosten tarkastelun helpottamiseksi.

Kertakustannusten suuruus	Pumppaamo	Varoallas	Esikäsittely	Uusi pumppaamo
Rakennuskustannukset [€]	60 000	60 000	60 000	1 000 000
Putkimuutokset [€]	23 100	23 100 tai 34 900	34 900	38 100
Koneistokustannukset [€]	118 000	118 000	118 000	0
Pumput [€]	72 000	72 000	72 000	78 000
SIA-kustannukset [€]	120 000	120 000	120 000	120 000
LVI-kustannukset [€]	30 000	30 000	30 000	0
Esikäsittelylaitteisto [€]	0	0	171 000	0
Toistuvien kustannusten suuruus				
Pumppujen vuosihuolto [€/a]	13 800	13 800	13 800	13 800
Pumppujen peruskorjaus [€/krt]	36 000	36 000	36 000	39 000
Puhdistus imuautolla [€/a]	6000	6000	0	6000
Jätelavojen tyhjennys [€/a]	0	0	419	0
Rakennusten lämmitys [€/a]	7177	7177 tai 10 604	10 604	1734
Sähkö pumppaukseen [€/a]	14 748	14 748	14 748	14 748

Alla olevassa taulukossa näkyvät lukuarvot ovat kertyneitä summia esitetyn aikajakson kustannuksista tiettyä tekijää kohti. Tarkat lukuarvot ker-tainvestoinneissa johtuvat poistosuunnitelman huomioimisesta. Varoallasskenaariossa suurempi arvo kuvaa laajemman version toteuttamista ja pienempi suppeamman version toteuttamista. Taulukossa X tarkoittaa tässä työssä määrittelemätöntä lisäkustannusta, joka varmasti kohdistuu kyseiseen kustannustekijään esitetyllä aikajaksolla.

Kustannustekijä	5 vuoden aikana				15 vuoden aikana				30 vuoden aikana			
	P	V	E	U	P	V	E	U	P	V	E	U
Rakennuskustannukset	18 259	18 259 4125	18 259	304 312	39 798	39 798 12 375	39 798	663 299	53 198	53 198 23 100	53 198	886 633
Putkimuutokset ulkona	4125	6232	6232	6804	12 375	18 696	18 696	20 411	23 100	34 900	34 900	38 100
Koneistokustannukset	89 998	89 998	89 998	0	116 423 +X	116 423 +X	116 423 +X	X	117 979 +X	117 979 +X	117 979 +X	X
pumput	54 914	54 914	54 914	59 490	125 952	125 952	112 663	136 448	211 704	211 704	202 767	229 346
SIA-kustannukset	91 523	91 523	91 523	91 523	118 396 +X	118 396 +X	118 396 +X	X	119 979 +X	119 979 +X	119 979 +X	X
LVI-kustannukset	22 881	22 881	22 881	0	29 599 +X	29 599 +X	29 599 +X	X	30 000 +X	30 000 +X	30 000 +X	X
Esikäsitteilylaitteisto	0	0	130 421	0	0	0	168 715 +X	0	0	0	170 969 +X	0
Pumppujen vuosihuolto	69 000	69 000	69 000	69 000	207 000	207 000	207 000	207 000	414 000	414 000	414 000	414 000
Pumppujen peruskorjaus	36 000	36 000	0	39 000	72 000	72 000	36 000	78 000	108 000	108 000	108 000	117 000
Pumppaamon puhdistus imuautolla	30 000	30 000	0	30 000	90 000	90 000	0	90 000	180 000	180 000	0	180 000
Jätelavojen tyhjennys	0	0	2096	0	0	0	6287	0	0	0	12 574	0
		35 883				107 649				215 298		
Rakennusten lämmitys	35 883	53 019	53 019	8668	107 649	159 057	159 057	26 004	215 298	318 114	318 114	52 008
Sähkö pumppaukseen	77 459	77 459	77 459	77 459	291 959	291 959	291 959	291 959	708 356	708 356	708 356	708 356
Yhteensä	530 042	530 042 tai 549 285	615 802	686 256	1 211 151 + X	1 211 151 tai 1 268 881 + X	1 304 593 + X	1 513 121 + X	2 181 614 + X	2 181 614 tai 2 296 230 + X	2 254 836 + X	2 625 443 + X

LIITE E: OPINNÄYTETUTKIMUKSEN TIETOSUOJAILMOITUS

Rekisterin nimi	Diplomityö: Käytöstä poistuvan jätevedenpuhdistamon rakenteiden hyödyntäminen vesilaitoksen toiminnassa: Tapaustutkimus Lempäälän jätevedenpuhdistamo
Päiväys	13.6.2023
Rekisterinpitäjä	Venla Aalto Puhelin: 0440265886 Sähköposti: venla.aalto@tuni.fi
Muut henkilötietoja käsittelevät henkilöt	-
Ohjaaja tai oppilaitoksen yhteyshenkilö	Marja Palmroth, marja.palmroth@tuni.fi Jukka Rintala, jukka.rintala@tuni.fi
Henkilötietojen käsittelytarkoitus ja käsittelyperuste	Henkilötietojasi käsitellään diplomityössä ja niiden avulla vastataan tutkimuskysymyksiin. Haastatteluilla on tarkoitus kartoittaa henkilön ja hänen organisaationsa kokemuksia jätevedenpuhdistamoiden infrastruktuurin hyödyntämisestä. Tutkimukseen osallistuminen on vapaaehtoista. Henkilötietojen käsittelyperusteena on: 1. suostumus. Suostumuksen voi peruuttaa milloin tahansa ilmoittamalla tästä rekisterinpitäjälle. Suostumuksen peruuttaminen ei vaikuta ennen suostumuksen peruuttamista suoritettujen käsittelyjen lainmukaisuuteen. TAI 2. yleisen edun mukainen tieteellinen tutkimus. Diplomityön ohjaajalla voi olla pääsy aineistoon työn ohjaamista ja tarkastamista varten. Tällöin rekisterinpitäjänä on Tampereen Yliopisto ja henkilötietojen käsittelyperusteena yleisen edun mukainen opetustehtävä.
Henkilötietojen säilytysaika	Aineisto säilytetään Tampereen Yliopiston OneDrivessa työn tekemisen ajan. Vain työn tekijällä ja haastatellulla on pääsy haastatteluaineistoon ja henkilötietoja käsitellään ja säilytetään ainoastaan niin kauan kuin on tarpeellista työn hyväksymistä varten.
Rekisterin tietosisältö ja tietolähteet	Kuvaus rekisterissä käsiteltävistä henkilötietotyypeistä: - Nimitiedot - Organisaation toimiala, mahdollisesti myös asema organisaatiossa - Ääni Tiedot kerätään tutkittavilta itseltään.
Henkilötietojen vastaanottajat	Henkilötietojasi ei luovuteta ulkopuolisille.
Rekisterin suojauksen periaatteet	Digitaalinen aineisto suojataan käyttäjätunnuksella ja salasanalla tai kaksivaiheisella käyttäjän tunnistuksella (MFA).
Rekisteröidyn oikeudet	Tietosuojalainsäädännön mukaisesti sinulle kuuluu oikeus saada pääsy tietoihin, oikeus tietojen poistamiseen (oikeus tulla unohdetuksi), rajoittaa tietojen käsittelyä ja vastustaa henkilötietojen käsittelyä. Jos haluat käyttää jotain oikeuttasi, ota yhteys rekisterinpitäjään.
Oikeus valittaa viranomaiselle	Sinulla on oikeus tehdä valitus henkilötietojen käsittelyä valvovalle viranomaiselle, jos epäilet henkilötietojasi käsiteltävän vastoin tietosuojalainsäädäntöä: tietosuoja.fi / sähköposti: tietosuoja@om.fi