



jamk

Jätevedenpuhdistamon hiekanerotus- taan toiminnan optimointi

Kalle Puttonen

Opinnäytetyö, AMK
Huhtikuu 2023
Energia- ja Ympäristötekniikka

Puttonen, Kalle

Jätevedenpuhdistamon hiekanerotusaltan toiminnan optimointi

Jyväskylä: Jyväskylän ammattikorkeakoulu. **Huhtikuu 2023**, 46 sivua.

Energia- ja ympäristötekniikan tutkinto-ohjelma. Opinnäytetyö AMK.

Julkaisun kieli: suomi

Julkaisulupa avoimessa verkossa: kyllä

Tiivistelmä

Opinnäytetyö toteutettiin Jyväskylän Seudun Puhdistamo Oy:n toimeksiantona, jossa tutkittiin toimeksiantajan hiekanerotusaltan toimintaa ja nykytilaa. Työn tavoitteena oli selvittää, miksi hiekanerotuksen ohi pääsee virtaamaan hiekkaa muualle prosessin osiin jätevedenpuhdistamolla.

Työn vaiheet suoritettiin ottamalla eri prosessin osista hiekanäytteitä hiekan raekoon selvittämiseksi, tarkastelemalla hiekanerotuksen ilmastuksen laitteistoa, sekä tekemällä mitoitustarkastelua altaille. Työhön haastateltiin myös kahta alan ammattilaista.

Työn tuloksena selvisi, että hiekanerotuksen ohi pääsee virtaamaan isorakeista hiekkaa, minkä olisi pitänyt pystyä laskeuttamaan hiekanerotusaltasiin. Ilmastuksen tarkastelussa huomattiin kompressorin tuottaman ilmamäärän olevan riittämätön altaiden kokoon nähden. Mitoitustarkastelussa havaittiin altaiden leveys/syvyys -suhteen olevan poikkeava tyyppillisistä arvoista.

Altaiden optimoimiseksi ilmastuksen määrää tulee lisätä, minkä vuoksi ilmastuslinjojen kapasiteettia tulee tutkia tarkemmin. Hiekan kertymistä muihin prosessin osiin, etenkin ulkoaltasiin, tulee alkaa seuraamaan allashuoltojen yhteydessä, jotta läpi virtaavan hiekan määrästä saadaan tarkempaa tietoa. Hiekanerotusaltaiden toimintaa mallintavaa tietokoneohjelmaa tulee harkita, jotta altaiden toimintaa voidaan tarkastella erilaisten virtausnopeuksien ja ulottuvuuksien kanssa.

Avainsanat (asiasanat)

Hiekanerotus, Ilmastus, Jätevedenpuhdistus, Sedimentaatio

Muut tiedot (salassa pidettävät liitteet)

-

Puttonen, Kalle

The optimization of the grit removal chamber in a sewage treatment plant

Jyväskylä: JAMK University of Applied Sciences, April 2023, 46 pages.

Degree Programme in Energy and Environmental Technology. Bachelor's thesis.

Permission for open access publication: Yes

Language of publication: Finnish

Abstract

Thesis was commissioned by Jyväskylän Seudun Puhdistamo Oy. Thesis investigates the operation and current state of the contractor's grit removal chamber. Goal of thesis was to find out why grit was flowing through the grit removal chamber and to the other parts of the process at the wastewater treatment plant.

The stages of thesis were carried out by taking sand samples from different parts of the process, examining the grit removal chamber's aeration equipment, and performing dimensioning inspection for the grit chambers. Two industry professionals were also interviewed for thesis.

Thesis' result was that large-grained grit flowed past the grit removal chambers, which should have been able to settle into the grit removal chambers. When examining the aeration, it was noticed that the amount of air produced by the compressor was insufficient for the size of the chambers. During the dimensioning inspection it was found that the width to depth ratio of the chambers deviated from the typical values.

To optimize the chambers, the amount of aeration must be increased, which is why the capacity of the aeration lines must be examined more closely. The accumulation of grit in other parts of the process, especially in the outside pools, should begin to be monitored in connection with pool maintenance to obtain more accurate information about the amount of grit flowing through the chambers. A computer program that models the operation of grit removal chambers should be considered so that the operation of the chambers can be examined with different flow rates and dimensions.

Keywords/tags (subjects)

Aeration, Grit removal, Sedimentation, Sewage treatment

Miscellaneous (Confidential information)

-

Sisältö

1	Johdanto	3
2	Tutkimusmenetelmä ja työn rajaus	3
3	Tiedonhankinta ja lähdeaineisto	4
4	Jyväskylän Seudun Puhdistamo Oy	5
5	Jätevedenkäsittelyprosessi	6
6	Lietteenkäsittelyprosessi	8
7	Jäteveden puhdistuksen yksikköprosessit	9
7.1	Fysikaaliset yksikköprosessit	9
7.2	Kemialliset yksikköprosessit	10
7.3	Biologiset yksikköprosessit	10
8	Jäteveden esikäsittely	11
8.1	Tulopumppaus ja tulevan jäteveden koostumus	11
8.2	Karkeavälppäys	11
8.3	Hiekanerotus	14
8.4	Hienovälppäys	21
9	Menetelmät	22
9.1	Hiekanäytteet	22
9.2	Hiekanäytteiden käsittely	23
9.3	Ilmastuksen tarkastelu	26
9.4	Haastattelut	27
9.5	Mitoitustarkastelu	29
10	Tulokset	34
10.1	Hiekanäytteiden koostumus ja raekoko	34
10.2	Hiekanerotuksen ilmastuksen nykytila ja mitoitustarkastelun tulokset	38
11	Pohdinta ja kehitysehdotukset	39
12	Tutkimustulosten luotettavuus ja eettisyys	40
	Lähteet	41
	Liitteet	43
	Liite 1. Aerzen GM10S-kompressorin toimintakäyrät	43
	Liite 2. Jyväskylän Seudun Puhdistamo Oy:n esikäsittelyn hydraulinen profiili	44
	Liite 3. Hiekanerotusaltaan mittoja	45
	Liite 4. Hiekanerotusaltaan pohjan mittoja	46

Kuviot

Kuvio 1. Kuntien osuus Jyväskylän Seudun Puhdistamo Oy:stä	5
Kuvio 2. Nenäinniemen puhdistamon prosessikaavio	6
Kuvio 3. JSP:n prosessin toiminnan tulokset vuonna 2022	8
Kuvio 4. KUHN-valmistajan mekaanisesti puhdistettava välppä	12
Kuvio 5. Sutromittauspadon leikkauskuva	15
Kuvio 6. Vorteksierotin.....	16
Kuvio 7. Ilmastetun hiekanerotusaltaan poikkileikkaus	17
Kuvio 8. Ilmastettu hiekanerotusallas spiraalivirtauksella	18
Kuvio 9. Karkeavälppänäytteen pesu.....	24
Kuvio 10. Hiekkänäytteet kuivauksen alussa	25
Kuvio 11. Seulontaan käytettiin Biotalousinsituutin betoniseulaa.....	26
Kuvio 12. Mädättämön seulottu hiekkänäyte 0.5 mm < 0.25 mm mikroskoopin alla.	35
Kuvio 13. Mädättämön näyte < 0.125 mm. Makrokuva.	35
Kuvio 14. Biologisen ilmastusaltaan hiekkänäyte 0.5 mm < 0.25 mm. Makrokuva.	36
Kuvio 15. Biologisen ilmastusaltaan näyte < 0.125 mm. Makrokuva.	37
Kuvio 16. Karkeavälppän hiekkänäyte < 0.125 mm mikroskoopin alla.	38

Taulukot

Taulukko 1. Erimuotoisten välppäsaurojen muotokertoimet	13
Taulukko 2. Pallonmuotoisten kivennäisainehiukkasten (tiheys 2.65 kg/m ³) laskeutumisnopeksia liikkumattomassa vedessä. T = 10°C	20
Taulukko 3. Tyypillisiä ilmastetun hiekanerotuksen mitoitusarvoja	21
Taulukko 4. Ilmastuksen kompressorin nimellisarvoja	27
Taulukko 5. Ilmastuksen kompressorin toiminta-arvoja	27
Taulukko 6. Hiekanerotusaltaiden mitat	29
Taulukko 7. JSP:lle tulevan jäteveden virtausta kuvaava pysyvyysskäyrä ajalta 1.1.2020–15.3.2023.	30
Taulukko 8. Prosessista löytyneiden hiekkänäytteiden raekoot	34

1 Johdanto

Tämä opinnäytetyö toteutettiin toimeksiantona Jyväskylän Seudun Puhdistamo Oy:lle, myöhemmin opinnäytetyössä viitattuna lyhenteellä JSP, ja opinnäytetyön tarkoituksena on kehittää jätevedenpuhdistamon hiekanerotusaltan toimintaa ja tutkia mahdollisia kehitysideoita prosessin parantamiseksi. Tavoitteena oli löytää syy siihen, miksi hiekkaa virtaa hiekanerotusaltan läpi ja löytää ratkaisuja tämän ongelman korjaamiseksi.

Tämän ongelman ratkaiseminen säästäisi Jyväskylän Seudun Puhdistamo Oy:ltä kunnossapitokustannuksia, sillä altaisiin ja mädättämöihin kertyneet hiekat joudutaan poistamaan imuautolla, mikä tilataan ulkopuoliselta yritykseltä. Hiekan väheneminen prosessin osissa myös ehkäisee pumppujen ja kanavien vikaantumista tulevaisuudessa.

Hiekanerotusaltaasta virtaa läpi hiekkaa muihin prosessin osiin, mikä voi aiheuttaa mekaanista kulumista pumpuissa, putkistoissa ja kanavissa, sekä hiekan kertyminen selkeytys- ja biologisten ilmastusaltaiden pohjiin lisää kunnossapidollisia toimenpiteitä (Karttunen 2004, 503). JSP:llä on käytössä ilmastettu hiekanerotusallas, jonka pitäisi erotella suurin osa JSP:lle tulevasta hiekasta ja sorasta, minkä vuoksi on syytä epäillä hiekanerotusaltan toiminnassa ongelmia. Läpi kulkeutuvat hiekkapartikkelit voivat olla myös liian pieniä ja kevyitä, jolloin nämä partikkelit eivät kerkeä laskeutumaan hiekanerotusaltan pohjalle. Tämän takia otettiin hiekanäytteitä prosessin eri osista, jotta saatiin selville prosessiin kertyneen hiekan raekokoja. Altaan nykytilaa myös arvioitiin, minkä ohella tutkittiin altaan ilmastuksen toimintaa ja analysoitiin altaan mittoja suunnittelun näkökulmasta.

2 Tutkimusmenetelmä ja työn rajaus

Opinnäytetyö suoritettiin tapaustutkimuksena, koska haluttiin tarkastella JSP:n hiekanerotuksen toimintaa yksikkönä (Tapaustutkimus 2015). Tällä tavoin saatiin yksityiskohtaista tietoa hiekanerotuksen toiminnasta ja tätä tietoa voitiin verrata kirjallisuudesta saatavaan teoretiseen tietoon hiekanerotuksesta, sekä muiden jätevedenpuhdistamoiden hiekanerotusten toiminta-arvoihin (Tutkijan ABC

2015). Hiekanerotuslaitteet suunnitellaan jätevedenpuhdistamolle tulevan jätevesivirtaaman mukaan, jolloin eri puhdistamoiden hiekanerotuslaitteiden mitoitus eroaa toisistaan (Burton, Stensel & Tchobanoglous 2003, 391). Tämän takia tapauskohtainen tutkimus on tämän opinnäytetyön kannalta käytännöllisin.

Tämä opinnäytetyö tutki pelkästään hiekanerotuslaitteita ja sen osien toimintaa. Tämä rajaus tehtiin, jotta työn määrä ei kasvaisi merkittävästi työn edetessä, jos ongelman aiheuttaja prosessissa sijaitisi muualla kuin hiekanerotuslaitteissa tai sen toiminnallisessa läheisyydessä. Tapaustutkimuksen kannalta työn rajaus hiekanerotusprosessiin on luontaista, koska halutaan saada yksityiskohtaista tietoa vain hiekanerotuksen toiminnasta (Tapaustutkimus 2015).

3 Tiedonhankinta ja lähdeaineisto

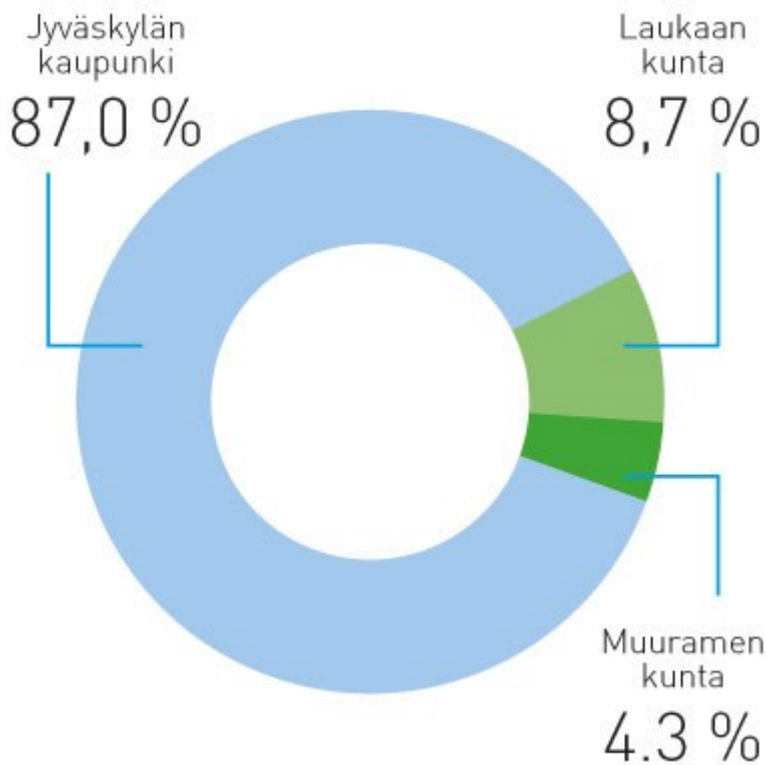
Tämän opinnäytetyön tietoperustan lähdeaineisto koostuu suomalaisesta vesihuoltoalan kirjallisuudesta, JSP:n omista nettisivuista ja monista kansainvälisistä kirjoista, artikkeleista ja nettisivuista, jotka käsittelevät jätevesilaitoksien toimintaa ja suunnittelua. Käytettyjen kirjojen painokset ovat viimeisimpiä ja on pyritty käyttämään mahdollisimman tuoreita artikkeleita tukemaan kirjallisuutta. Tiedonhankintaan on käytetty hyväksi Jyväskylän Ammattikorkeakoulun Janet-tietokantaa, Google Scholaria ja toimeksiantajalta saatua kirjallisuutta.

Opinnäytetyö pohjautuu suurimmaksi osaksi Karttusen (2004), sekä Burtonin ja muiden (2003) teoksiin, joista saa erittäin kattavan kuvan hiekanerotuksen tavoitteesta prosessissa ja miten sen kuuluisi toimia optimaalisesti. Teokset sisältävät myös tyypillisiä suunnitteluarvoja optimaalisesti toimiville hiekanerotusratkaisuille. Teoksissa on kuvailtu samanlaista hiekanerotusratkaisua, mikä on ollut JSP:llä käytössä 90-luvulta asti. Tietoperusta hyödyntää laajalti laadullisia aineistoja, sekä kvantitatiivisia aineistoja (Tutkijan ABC 2015).

Aineistonkeruun menetelminä opinnäytetyötä varten kerättiin dataa prosessiin kertyneen hiekanraekoosta, hiekanerotuksen ilmastuksen ilmastuksen ilmastuksen määrästä, pituusmitoista altaiden piirustuksista ja tulevan jäteveden virtausnopeuksista JSP:n omasta tietokannasta. Aineistoja käsiteltiin suurimmaksi osaksi numeerisina eli tutkimusaineisto oli pääasiassa kvantitatiivista ja johtopäätökset on laadittu näiden kvantitatiivisten tulosten perusteella (Tutkijan ABC 2015).

4 Jyväskylän Seudun Puhdistamo Oy

Jyväskylän Seudun Puhdistamo Oy on jätevedenpuhdistamo, joka perustettiin vuonna 1971, minkä jälkeen toiminta on alkanut vuonna 1973. Alkuperäiset omistajat puhdistamolla olivat Jyväskylän kaupunki, Jyväskylän maalaiskunta ja Jyväskylän keskussairaala. Nykyään yhtiön omistus jakaantuu Jyväskylän kaupungille, Muuramen kunnalle ja Laukaan kunnalle (ks. kuvio 1). Yhtiö ei tuota voittoa, vaan nolaa vuosittaisen tuloksen tilinpäätöksen yhteydessä. JSP:n tehtävänä on käsitellä omistajakuntien viemäriverkostoista johdettuja jätevesiä, sekä hoitaa myös sako- ja umpikaivolietteen vastaanoton ja puhdistuksen. (Jyväskylän Seudun Puhdistamo n.d.)



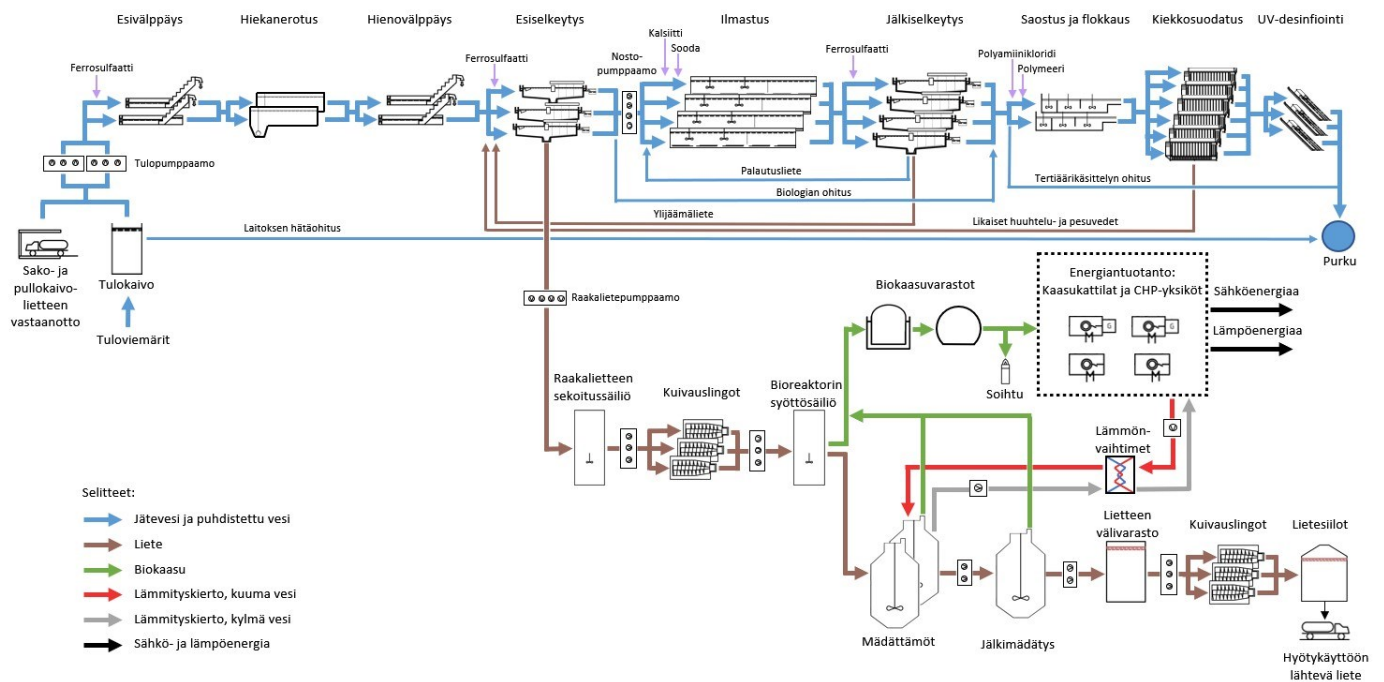
Kuvio 1. Kuntien osuus Jyväskylän Seudun Puhdistamo Oy:stä (Jyväskylän Seudun Puhdistamo Oy n.d.)

JSP:llä on kaksi puhdistamoa Keski-Suomessa, mitkä sijaitsevat Nenäinniessä ja Korpilahdella, Jyväskylässä. Nenäinniemen puhdistamo käsittelee Jyväskylän kaupunkialueen, Muuramen kunnan, Uuraisten ja Laukaan kunnan jätevedet ja Korpilahden puhdistamo hoitaa Korpilahden keskustaajaman alueen ja kahden vesiosuuskunnan jätevedet. Korpilahden puhdistamo on kokoluokaltaan pienempi kuin Nenäinniemen puhdistamo. Puhdistamot yhteensä käsittelevät yli 160 000

asukkaan jätevedet ja keskimääräinen vuorokausivirtaama on 35 600 m³ Nenäinniemen puhdistamolla ja 525 m³ Korpilahden puhdistamolla. (Puhdistamot n.d.)

5 Jätevedenkäsittelyprosessi

JSP:n Nenäinniemen jätevedenpuhdistamo on konventionaaliseen aktiivilieteprosessiin ja rinnakkaissaostukseen perustuva puhdistamo ja laitoksen kokonaisprosessi koostuu jäteveden käsittelyprosessista ja lietteenkäsittelyprosessista. Kuviossa 2 on esitelty JSP:n Nenäinniemen puhdistamon prosessikaavio, jossa on visualisoitu laitoksen koko prosessi. Jätevedenkäsittely alkaa tulopumpapaamosta, josta puhdistamolle johdettu jätevesi pumpataan esikäsittelyrakennukseen kahteen kanaan, josta se jatkaa matkaa karkeavälppäykseen. Ennen karkeavälppäystä jäteveeseen syötetään ferrosulfaattia, joka saostaa jätevedessä olevaa fosforia. (Nenäinniemen Puhdistamo 2017.)



Kuvio 2. Nenäinniemen puhdistamon prosessikaavio (Nenäinniemi JSPBio+ Esittelykaavio 2021)

Karkeavälppäyksessä jätevedestä poistetaan suurimmat roskat ja partikkelit, mitkä jäävät 15 mm tankovälillä varustettuun välppään (Pyykkönen 2023). Välpistä erotettu jäte ohjataan sitten välpepesureille, jossa siitä puhdistetaan orgaaninen aines pois. Pesty orgaaninen aines kulkeutuu jäteveden mukana hiekanerotuksen kautta esiselkeytykseen. (Nenäinniemen Puhdistamo 2017.)

Hiekanerotus koostuu JSP:llä kahdesta pitkästä, poikkileikkaukseltaan V-muotoisesta altaasta, joiden pohjaan jätevedessä olevat hiekka- ja sorapartikkelit laskeutetaan. Hiekanerotusallas on ilmastettu, jolloin orgaaninen aines pysyy veden pinnalla ja raskaammat partikkelit vajoavat altaan pohjalle. Altaan pohjalla oleva hiekkavaunu auraa altaan pohjaan kertyneen hiekan altaan alkupään pumppusyvennykseen, josta hiekat pumpataan hiekkapesureille. Pesty hiekka toimitetaan jätteenkäsittelyyn Mustankorkean jätteenkäsittelykeskukselle. (Nenäinniemen Puhdistamo 2017.)

Hiekanerotuksesta jätevesi virtaa hienovälppäykseen, mikä koostuu kahdesta reikälevyvälpistä. Jätevesi virtaa hienovälppäyksessä 6 mm suuruisten reikien läpi ja täten erottelee tehokkaasti ruoantähteitä. Hienovälpeen välpejäte johdetaan välpepesureille. (Nenäinniemen Puhdistamo 2017.)

Aikaisemmat vaiheet kuuluvat jäteveden esikäsittelyyn, minkä jälkeen jätevesi kulkeutuu esiselkeytykseen, mikä koostuu Nenäinniemen puhdistamolla kolmesta esiselkeytysaltaasta. Altaiden tilavuus on yhteensä 5800 m³. Esiselkeytyksessä saostunut fosfori ja myös osa kiintoaineksesta laskeutuu altaan pohjalle, josta altaan pohjalla pyörivä pohjalaaja auraa laskeutuneen lietteen lietesyvennykseen, josta se pumpataan lietteen sakeutukseen. (Nenäinniemen Puhdistamo 2017.)

Esiselkeytetty vesi johdetaan seuraavaksi biologisiin ilmastusaltaisiin omalla nostopumppaamalla. Ilmastusaltaat koostuvat neljästä eri linjasta ja näiden kokonaistilavuus on 29 000 m³. Jokaisen linjan pohjalla on hienokuplailmaisimia, jotka ilmastavat altaita mikrokuplilla. Ilma, joka johdetaan, on matalapaineista ja tuotetaan viidellä turbokompressorilla. (Pyykkönen 2023.) Ilman mukana altaisiiin liukenee happea, mikä kasvattaa jätevedessä olevista mikrobeista ja pieneliöistä aktiivilietettä, joka käyttää ravintonaan jätevedessä olevaa orgaanista ainesta, kuten valkuaisaineita ja rasvoja. Kun mikrobit syövät orgaanista ainetta, se muuttuu solumassaksi, jolloin se on mahdollista laskeuttaa jälkiselkeytyksessä. (Nenäinniemen Puhdistamo 2017.) Alempana kuviossa 3 voidaan

nähdä kuinka tehokkaasti mm. ilmastusaltaassa tapahtuva nitrifikaatio vähentää vedessä olevan ammoniumtyypen määrää.

Laskentajakso	BOD7-ATU		COD Cr		Kiintoaine		P kok		N kok		NH4	
	mg/l	%	mg/l	%	mg/l	%	mg/l	%	mg/l	%	mg/l	Nitrifikaatio %
Jakso 1	1,9	99	28	98	3,7	99	0,09	99	67	24	0,5	99
Jakso 2	1,7	99	27	97	3,3	99	0,09	99	45	38	0,6	99
Jakso 3	2,2	99	31	97	2,3	99	0,10	99	43	54	0,5	99
Jakso 4	2,1	99	30	98	3,4	99	0,09	99	57	36	0,5	99
Kok.vuosi	1,9	99	29	97	3,2	99	0,09	99	53	38	0,5	99
Raja-arvo	10	96	80	90	10	90	0,30	96	-	-	4	80

Kuvio 3. JSP:n prosessin toiminnan tulokset vuonna 2022 (Hynynen 2022)

Ilmastusaltaiden jälkeen jätevesi kulkeutuu jälkiselkeytysaltaille, joita puhdistamolla on neljä kappaletta (Nenäinniemen jätevedenpuhdistamo 2022). Jälkiselkeytyksessä laskeutetaan ilmastusaltaissa syntynyt aktiiviliete altaiden pohjalle, josta pieni osa lietteestä johdetaan ylijäämälietteenä lietteen käsittelyyn ja suurin osa palautetaan ilmastusaltaisiin palautuslietteenä (Pyykkönen 2023). Lopuksi jälkiselkeytetty vesi virtaa ylivuotona tertiäärikäsittelyyn, missä varmistetaan hyvä kiintoaineen ja fosforin poisto kiekkosuotimissa, minkä jälkeen vesi johdetaan purkuputkea pitkin Päijänteeseen. Avovesikautena lähtevä jätevesi UV-hygienisoidaan ennen järveen päätymistä. (Nenäinniemen jätevedenpuhdistamo 2022.)

6 Lietteenkäsittelyprosessi

Lietteenkäsittelyn tarkoituksena on saada lietteen koostumus mahdollisimman kuivaksi, jotta lietteen mädätys olisi mahdollisimman energiatehokasta. Etuselkeytyksessä syntyvä raakaliete ja bioliete ilmastuksesta muodostavat prosessissa sekalietteen, joka johdetaan gravitaatiosakeuttimille, joiden avulla lietteen kuiva-ainepitoisuus saadaan 4–5 % luokkaan. (Pyykkönen 2023; Nenäinniemen Puhdistamo 2017.) Tällä hetkellä gravitaatiosakeuttimet ovat vielä käytössä, mutta Nenäinniemen puhdistamolla on meneillään JSPBIO+ -hanke, jossa muun muassa gravitaatiosakeuttimet korvataan nykyaikaisilla linkosakeuttimilla, mikä tulee pienentämään biokaasulaitoksen lämmitysenergian tarvetta lähes kolmanneksen nykyisestä (Nenäinniemen jätevedenpuhdistamo parantaa lietteenkäsittelyn ja biokaasulaitoksen energiatehokkuutta JSPBIO+ hankkeella 2021).

Sakeutuksen jälkeen liete pumpataan mädättämöön, missä liete lämmitetään 38 °C, hapettomassa tilassa. Tämän seurauksena lietteeseen syntyy anaerobinen mikrobikanta. Mikrobit käyttävät ravintonaan lietteen orgaanista ainesta ja aineenvaihduntansa tuotoksena tuottavat hiilidioksidia ja metaanikaasua. Syntyvä kaasu on biokaasua ja sen metaanipitoisuus on 60–65 %. (Nenäinniemen Puhdistamo 2017.)

Mädätyksen jälkeen seuraava vaihe on lisätä lietteeseen polymeeriä ja johtaa liete lietelingolle, jossa lietteen kuiva-ainepitoisuus saadaan 27–29 % pitoisuuteen. Liete halutaan mahdollisimman kuivaksi ja pieneen tilaan, jotta säilytys ja kuljetus kompostointilaitokselle olisi mahdollisimman vaivatonta. (Nenäinniemen Puhdistamo 2017.) Liete varastoidaan lietesiiiloihin, joista se puretaan ajoneuvojen lavoille ja kuljetetaan Mustankorkealle, jossa se kompostoidaan. Kompostoidusta lietteestä valmistetaan multatuotteita. (Pyykkönen 2023.)

Mädätyksellä tuotettu biokaasu hyödynnetään laitoksen energiantuotannossa CHP-yksiköllä (combined heat & power), jolla tuotetaan lämpöä ja sähköä puhdistamolle. Puhdistamolla on myös kaksi biokaasulla toimivaa kaasukattilaa, mitkä tuottavat lämpöä puhdistamolle varsinkin talviaikaan. CHP-yksikön, kaasukattiloiden ja biokaasutuotannon ansiosta puhdistamo on lämmitykseltään omavarainen. (Nenäinniemen Puhdistamo 2017.) CHP-yksikkö tuottaa noin 20 % puhdistamon tarvittavasta sähköenergiasta (Pyykkönen 2023).

7 Jäteveden puhdistuksen yksikköprosessit

7.1 Fysikaaliset yksikköprosessit

Fysikaaliset yksikköprosessit tai -yksikköoperaatiot ovat menetelmiä, joissa veteen kohdistuva laadunmuutos saadaan aikaiseksi fysikaalisten luonnonilmiöiden avulla (Karttunen 2004, 17; Burton, Stensel & Tchobanoglous 2003, 313). Fysikaaliset yksikköoperaatiot perustuvat havaintoihin luonnosta, joten nämä olivat myös ensimmäisiä käytettyjä keinoja jäteveden puhdistuksessa (Burton, Stensel & Tchobanoglous 2003, 313). Karttunen (2004, 53) tähdentää, että näiden operaatioiden tarkoitus on joko mekaanisesti poistaa vedestä kiintoainetta tai lisätä sitä sinne, esimerkkinä hiekanerotus jätevedestä tai hapen lisääminen veteen ilmastuksella.

Fysikaalisiin yksikköoperaatioihin kuuluu jäteveden puhdistuksessa välppäys, siivilöinti, sekoitus, ilmastus, laskeutus, flotaatio, sentrifugit, suodatus, kalvot, tislaukset ja kiteytys (Karttunen 2004, 53). Tämä opinnäytetyö tulee keskittymään suurimmaksi osaksi laskeutukseen ja ilmastukseen.

7.2 Kemiaalliset yksikköprosessit

Kemiaallisissa yksikköprosesseissa jäteveten lisätään kemikaaleja tai hyödynnetään kemiaallisia reaktioita (Karttunen 2004, 18). Kemiaallisia prosesseja käytetään yhdessä fysikaalisten- ja biologisten prosessien kanssa, jotta voidaan saavuttaa haluttu puhdistustulos (Burton, Stensel & Tchobanoglous 2003, 476).

Esimerkkejä kemiaallisista yksikköprosesseista on saostus ja desinfiointi (Karttunen 2004, 18). Burton ja muut (2003, 477) luettelevat kohteita, joissa kemiaallisilla reaktioilla voidaan edistää prosessin toimintaa kuten, poistaa jätevedestä raskasmetalleja, pelkistää fosforia ja puhdistaa putkistoja hapolla.

7.3 Biologiset yksikköprosessit

Biologiset yksikköprosessit koostuvat biologisista ilmiöistä ja niiden käytöstä jäteveden puhdistuksessa. Yleisin ja tunnetuin biologinen prosessi on aktiivilieteprosessi, jossa biologisen ilmastusaltaan mikrobikanta saadaan pidettyä toimintakykyisenä syöttämällä altaaseen orgaanista ainetta sisältävää lietettä, jota tulee jäteveden mukana puhdistamolle. (Karttunen 2004, 18.)

Biologisten yksikköprosessien tarkoitus on hajottaa biohajoavat tuotteet helposti käsiteltäviksi lopputuotteiksi ja sitoa laskeutumiseen kyvyttömiä kiintoaineita biomassaksi (Burton, Stensel & Tchobanoglous 2003, 548). Yhdyskuntavesien käsittelyssä biologisia prosesseja käytetään esimerkiksi typpien ja fosforin poistoon, jotta nämä ravinteet eivät pääse luontoon rehevöittämään järviä (Karttunen. 2004, 165; Burton, Stensel & Tchobanoglous 2003, 548).

8 Jäteveden esikäsittely

8.1 Tulopumppaus ja tulevan jäteveden koostumus

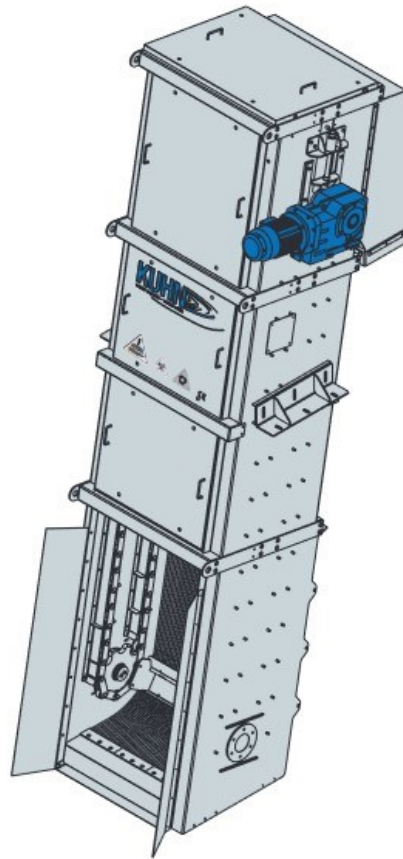
Tulopumppaus tarkoittaa tulevan jäteveden pumppausta viemäriverkostosta jätevedenpuhdistamolle, minkä jälkeen vesi kuljetetaan prosessissa eteenpäin, ensimmäisenä esikäsittelyn läpi. Jäteveden virtaaminen eteenpäin prosessissa voidaan suorittaa joko painovoimaisesti tai pumppamalla, riippuen verkoston ja puhdistamon korkeusasemista. (Pyykkönen 2023.) Tulopumppaus suoritetaan JSP:llä nostamalla kuudella pumpulla tuleva jätevesi kahteen kanavaan, mistä vesi jatkaa matkaansa eteenpäin prosessissa (Pyykkönen 2023; Nenäinniemen puhdistamo 2017).

Karttusen (2003, 261–262) mukaan tulevasta jätevedestä on vaikea selvittää hetkellistä analytiikkaa koskien jäteveden koostumusta ja eri komponenttien ja partikkelien määriä, sillä jäteveden laatu on hyvin vaihtelevaa eri vuorokausien aikana ja vaihtelee myös suuresti vuodenajan ja paikkakunnan mukaan. Erityisesti sulamisvedet keväällä vaikuttavat tulevan jäteveden koostumukseen ja virtaukseen, sekä useat veden ominaisuudet riippuvat teollisuus- ja asumavesien osuuksista viemäriverdessä.

8.2 Karkeavälppäys

Ensimmäinen vaihe jätevedenpuhdistuksessa on yleensä suurien kiinteiden partikkeleiden ja epäpuhtauksien poisto jätevedestä karkeavälppäyksellä. Vesi johdetaan ahtaiden rakojen tai aukkojen läpi, jolloin aukkoja suuremmat hiukkaset jäävät laitteeseen kiinni. Tämän prosessin luonteeseen kuuluu, että tulokseen ei vaikuta muu kuin virtausaukkojen ja hiukkasten keskinäinen suhteellinen suuruus. (Karttunen 2004, 53.) Karkeavälppäyksellä myös veden puhdistamisen lisäksi on tarkoitus estää muun prosessin laitteiston vahingoittuminen, lisätä vedenpuhdistusprosessin luotettavuutta ja tehokkuutta, sekä estää vesiteiden kontaminaatiota (Burton, Stensel & Tchobanoglous 2003, 313). Uusissa jätevedenpuhdistamoissa ei yleensä ole karkeavälppäystä, vaan se on korvattu suoraan hienovälppäyksellä, mikä estää tehokkaammin välppeen päätymistä hiekanerotukseen (Pyykkönen 2023).

Välppät ovat laitteita, joissa virtausaukko on yhdensuuntaisten välppäsauvojen välinen rako. (Karttunen 2004, 53). Välppiä vedenpuhdistamoilla on yleensä kahdenlaisia; karkeavälppiä ja hienovälppiä. Näiden ero on välppäsauvojen välinen rako, mikä on karkeavälpissä 6–150 mm ja hienovälpissä alle 6 mm. Karkeavälppät voidaan myös jakaa käsin puhdistettaviin, sekä mekaanisesti puhdistaviin malleihin (ks. kuvio 4). (Burton, Stensel & Tchobanoglous 2003, 315.)



Kuvio 4. KUHN-valmistajan mekaanisesti puhdistettava välppi (KUHN Water experts - world wide n.d.)

Tavallisesti välppät asetetaan 30–60° kulmaan vaakasuoraan tasoon nähden. Jäteveden virtausnopeus ei saisi ylittää 1 m/s nopeutta, sillä suuremmalla nopeudella vedestä erotettava materiaali voi puristua välppän rakojen läpi. Karkeissa välpissä käytetään muovattuja profiilitankoja, koska ne vähentävät virtausvastusta, joka on välppän normaalilla tukkeutumisasasteella 2–5 cm ja nämä tangot suunnitellaan tietyn tarkoituksen mukaisesti, mikä riippuu välppään koosta. Erilaisten välppäsauvojen kokoja on lueteltu alempana Taulukossa 1. Tukkeutumisasasteella tarkoitetaan sitä, kuinka

suuri osa vapaasta virtauspoikkileikkauksesta on välppöiden sulkema ennen puhdistusta. (Karttunen 2004, 54–55.)

Karttunen (2004, 55) esittää välppöiden aiheuttaman padotuksen laskettavan Kirschmerin kaavalla. Kaavan toiminta voidaan nähdä yhtälöstä 1.

$$h = \beta \cdot \left(\frac{w}{b}\right)^{\frac{4}{3}} \cdot h_v \sin \theta \quad (1)$$

missä h = padotus

β = välppöiden muotokerroin

w = välppöiden suurin leveys (m)

b = vapaan sauvavälin pienin leveys (m)

h_v = tulovirtauksen (v) nopeuskorkeus = $v^2/2g$ (m)

θ = välppöiden ja vaakatason välinen kulma

Taulukko 1. Erimuotoisten välppöiden muotokertoimet (Karttunen 2004, 55)

Sauvan poikkileikkaukset	Muotokertoimet
Täysin pyöristämätön suorakaide	2,42
Suorakaide, etureuna puoliympyrä	1,83
Ympyrä	1,79
Suorakaide, etu- ja takareuna puoliympyrä	1,67
Venytetty pisara, virtaviivainen	0,76

Karkeavälppöistä suunniteltaessa on tärkeää ottaa huomioon mahdolliset huollot ja vikatilanteet, minkä vuoksi karkeavälppiä kannattaa asentaa vedenpuhdistamolle kaksi tai enemmän, riippuen

puhdistamon koosta (Burton, Stensel & Tchobanoglous 2003, 320). Karttunen (2004, 53–55) painottaa tulvatilanteiden ottamista suunnittelussa huomioon, jotta välpät eivät pääse vahingoittumaan. Suurien vesivirtauksien varalta tulisi suunnittelussa kehittää ylivuotokanava, joka avautuu automaattisesti veden pinnan noustessa liian korkeaksi.

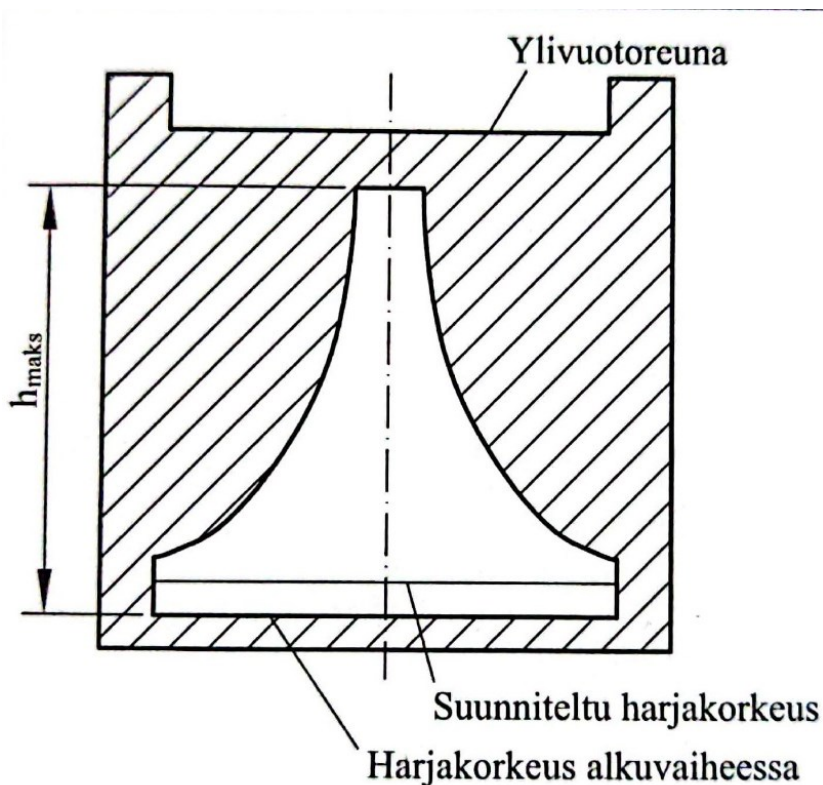
8.3 Hiekanerotus

Hiekanerotus on jäteveden puhdistuksen prosessin osa, missä tulevasta jätevedestä erotetaan hiekka ja sora, jotta nämä eivät pääse eteenpäin prosessissa vahingoittamaan pumppuja ja putkistoja. Hiekan ja soran kulkeutuminen puhdistamon altaisiin yritetään hiekanerotuksella estää, koska altaista hiekan pois saaminen on hankalaa ja usein vaatii altaan tyhjennyksen. (Karttunen 2004, 503.)

Hiekanerotus on välttämätön toimenpide vedenpuhdistamoilla, joihin tulee jätevettä sekajärjestelmän viemäreistä (Karttunen 2004, 503). Burton, Stensel ja Tchobanoglous (2003, 384), sekä Karttunen (2004, 503) sijoittavat hiekanerotusaltaat esikäsittelyprosessissa yleensä karkeavälppien jälkeen, jolloin hiekanerotus toimii tehokkaammin ja huoltotoimenpiteet on helpompi suorittaa, koska suurimmat välpejätteet eivät pääse tukkimaan hiekanerotuksen hiekkapumppuja.

Hiekanerotusaltaita on olemassa kolmea päätyyppiä: suorakulmainen tai neliön muotoinen horisontaalin virtauksen allas, ilmastusallas, sekä vorteksiallas (Burton, Stensel & Tchobanoglous 2003, 385). Tässä luvussa käydään nämä kolme päätyyppiä läpi, mutta keskitytään ilmastusaltaaseen, sillä JSP:n hiekanerotusallas on varustettu ilmastuksella.

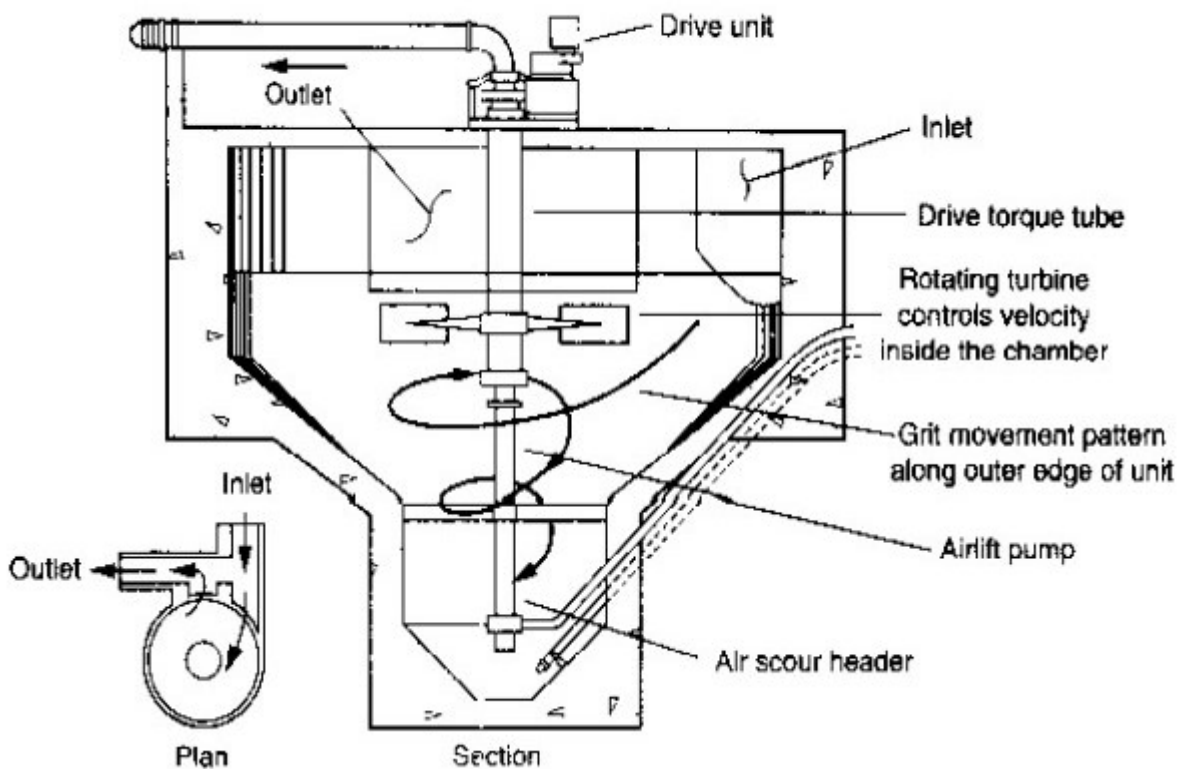
Horisontaalin virtauksen altaassa tuleva jätevesi virtaa altaan halki, jolloin hiekka laskeutuu painovoimaisesti altaan pohjalle, mistä se sitten lapioidaan pois tai pumpataan hiekkapumpuilla hiekkapesureille. Altaissa on yleensä asennettuna hiekka-aura, mikä auraa altaan pohjaan laskeutuneen hiekan altaan etupäässä sijaitsevaan monttuun, mistä hiekka voidaan helposti pumpata pois. Altaan loppupään virtausaukko rakennetaan yleensä sutromittauspadon muotoiseksi (ks. kuvio 5). (Karttunen 2004, 503.)



Kuvio 5. Sutromittauspadon leikkauskuva (Karttunen 2004, 503)

Sutromittauspato laajenee ylhäältä alaspäin ja sen tehtävä on tasoittaa tulevan jäteveden virtausnopeutta. Toiminta horisontaalin virtauksen hiekanerotusaltaissa perustuu siihen, että tulevan veden virtausta pienennetään 0.3–0.5 m/s, jolloin 0.2 mm suuremmat hiekka- ja sorapartikkelit laskeutuvat altaan pohjalle. Haasteena hiekanerotuksessa on pitää yllä virtauksella vakionopeutta, sillä muuttuvilla nopeuksilla kevyemmät partikkelit valuvat raskaamman soran ja hiekan mukana pohjalle. Tämän vuoksi monissa hiekanerotusaltaissa käytetään apuna jatkuvaa ilmastusta, millä saadaan kevyempi orgaaninen materia pysymään altaan pinnalla, samalla kun raskaammat partikkelit laskeutuvat pohjalle. (Karttunen 2004, 503.)

Vorteksityyppisessä hiekanerotuksessa (ks. kuvio 6) hiekka ja sora poistetaan pyörteen muotoisen virtauksen avulla. Jätevesi tulee ja lähtee erottimesta tangentialisesti. Erottimessa pyörivä turbiini pitää yllä jatkuvaa virtausta ja sen säädettävät nousuterät tehostavat orgaanisen aineen erotusta hiekasta ja sorasta. (Burton, Stensel & Tchobanoglous 2003, 392.)



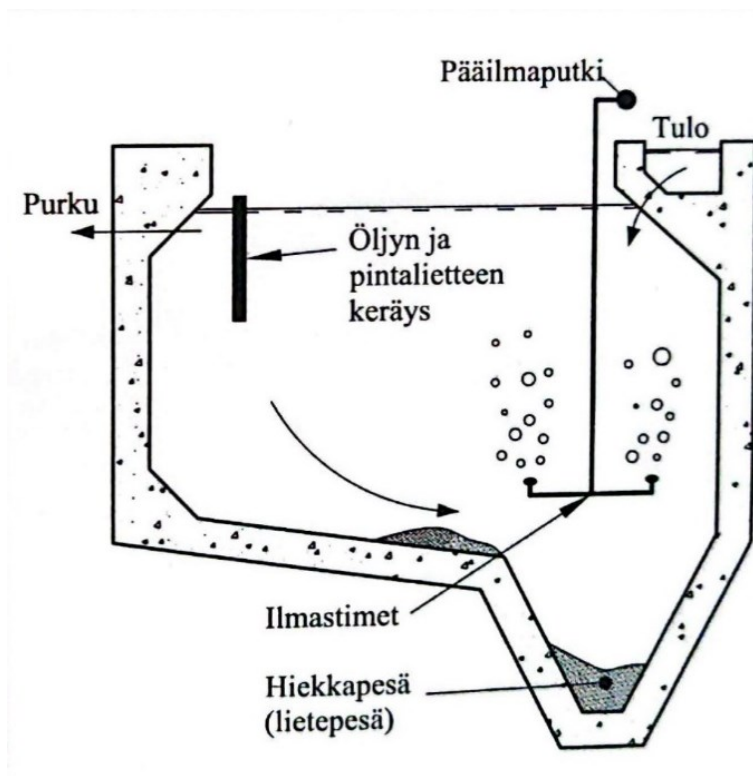
Kuvio 6. Vorteksierotin (Burton, Stensel & Tchobanoglous 2003, 393)

Hiekkapartikkelit laskeutuvat painovoimaisesti suppiloon yhden kierroksen aikana. Hiekka lopuksi pumpataan hiekkapumpuilla pois erottimen suppilosta. (Burton, Stensel & Tchobanoglous 2003, 392.)

Ilmastetussa hiekanerotusaltaassa altaaseen syötetään ilmaa altaan sivusta, mikä auttaa pitämään orgaanista ja kevyempää materiaa veden pinnalla, kun raskaammat hiekat ja sorat laskeutuvat altaan pohjalle. Ilmastus auttaa erottelemaan hiekasta myös siihen sitoutunutta orgaanista materiaa pois, mikä takaa paremman tuloksen hiekan puhtaudelle hiekkapesureilla. (Karttunen 2004, 503; Burton, Stensel & Tchobanoglous 2003, 386.)

Ilmastettuja hiekanerotusaltaita voidaan suunnitella eri tavoilla ja tavanomaisimmassa ilmastetussa hiekanerotusaltaassa veden kiertoliike ja sen kautta sopiva virtausnopeus saadaan aikaan ilmastuksen avulla (ks. kuvio. 7). Veden tulisi viipyä altaassa vähintään 1.5 minuuttia huippuvirtaaman aikana, kuitenkin optimiarvon ollessa 6–7 minuuttia. Ilmastuksen tulee olla karkeakuplaista ja

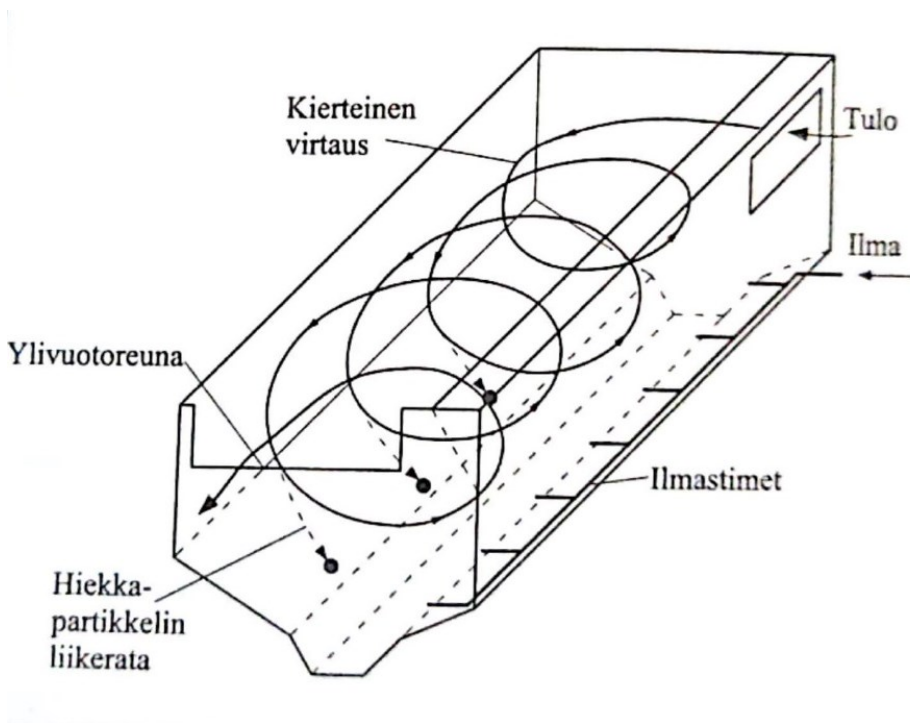
ilman purkautumiskohta altaassa noin 0.6 metriä altaan pohjan yläpuolella. Öljy ja pintaliete kerätään hiekanerotusaltaalta ja viedään välpepesureiden kautta hienovälpile. (Karttunen 2004, 503–503.) Ilmastetut hiekanerotusaltaat varustetaan horisontaalin virtauksen altaiden tapaan myös hiekka-auralla, joka auraa pohjaan laskeutuneen hiekan hiekkamonttuun altaan alkupäähän (Burton, Stensel & Tchobanoglous 2003, 388).



Kuvio 7. Ilmastetun hiekanerotusaltaan poikkileikkaus (Karttunen 2004, 503)

Ilmastetun hiekanerotuksen voi suunnitella spiraalimaisen virtauksen altaalla, minkä toimintaperiaatteet näkyvät kuviossa 8. Altaaseen tuleva jätevesi tulee altaan yläreunaan sijoitetusta tuloaukosta, jolloin virtaus saa spiraalimaisen muodon (Burton, Stensel & Tchobanoglous 2003, 388). Altaan toiminta ei kuitenkaan edellytä tuloaukon sijoittamista altaan

yläreunaan, sillä spiraalimainen virtaus voidaan saada aikaiseksi pelkän ilmastuksen avulla (Sahlstedt 2023).



Kuvio 8. Ilmastettu hiekanerotusallas spiraalivirtauksella (Karttunen 2004, 504)

Altaan pituus pitää suunnitteluvaiheessa määrittellä tarpeeksi pitkäksi, jotta vesi tekee altaassa vähintään kolme spiraalia huippuvirtausten aikana (Burton, Stensel & Tchobanoglous 2003, 388). Ilmastimet sijoitetaan altaan toiselle reunalle (Karttunen 2004, 504). Veden virtausnopeus ei saa olla liian nopea tai liian hidas, muuten hiekka kulkeutuu altaan läpi muualle prosessiin tai orgaaninen materia valuu altaan pohjalle. Spiraalivirtauksen altaassa ilmalla voidaan säädellä spiraalivirtauksen nopeutta, joka vaikuttaa eri suuruisten partikkeleiden erottelutehokkuuteen altaassa. Spiraalivirtausaltaalla voidaan saavuttaa jopa 100 % erotus yli 0.21 mm suurille partikkeleille. (Burton, Stensel & Tchobanoglous 2003, 386.)

Hiekanerotusaltaan virtaus on turbulentsista, minkä seurauksena virtauksen molekyylit pystyvät kulkeutumaan mihin tahansa suuntaan nettoliikkeen pysyessä virtauksen suuntaisena. Nicholisin (2009, 44–45) mukaan turbulenssin suuruus voidaan määrittellä Reynoldin luvulla, joka on esitetty yhtälössä 2.

$$Re = v \times \frac{l}{\nu_k} \quad (2)$$

missä Re = Reynoldin luku

v = virtauksen nopeus (m/s)

l = kanavan pituus (m)

ν_k = nesteen kinemaattinen viskositeetti (m²/s)

Virtaus altaassa on laminaarista, kun Reynoldin luku on alle 500, jolloin veden molekyylit liikkuvat virtaussuuntaan nähden samaan suuntaan. Turbulenttisen virtauksen aikana Reynoldin luku on välillä 500–2000. (Nichols 2009, 45.)

Hiekanerotus perustuu pääosin partikkelien sedimentaatioon eli laskeutumiseen vedessä altaan pohjalle (Karttunen 2004, 77). Karttusen (2004, 77) mukaan vettä raskaampi hiukkanen laskeutuu vedessä ensin kiihtyvällä nopeudella, kunnes veden aiheuttama vastus vastaa hiukkasen painoa, minkä jälkeen laskeutumisnopeus on tasainen, mihin Patil (n.d.) lisää vielä, että erotettaviin partikkeleihin suhtaudutaan erillisinä partikkeleina, jotka laskeutuvat erilaisilla nopeuksilla ja laskeutumisnopeus riippuu hiekan tai erotettavan partikkelin koosta, sen tiheydestä ja jäteveden viskositeetista.

Laskeutuksen tehokkuus on riippuvainen hiukkasten laskeutumisnopeudesta, ja täten on riippuvainen veden viskositeetista ja lämpötilasta. Yksittäisen hiukkasen muoto ja keskinäinen etäisyys ovat myös laskeutumisnopeuteen vaikuttavia tekijöitä. ”Mitä enemmän hiukkasen muoto poikkeaa pallosta, sitä hitaammaksi laskeutumisnopeus muuttuu vastaavan painoiseen palloon verrattuna”. (Karttunen 2004, 78–79.) Taulukossa 2 on lueteltu erilaisten pallonmuotoisten kivennäispartikkeleiden laskeutumisnopeuksia.

Taulukko 2. Pallonmuotoisten kivennäisainehiukkasten (tiheys 2.65 kg/m^3) laskeutumismopeksia liikkumattomassa vedessä. $T = 10^\circ\text{C}$ (Karttunen 2004, 79)

	Halkaisija (mm)	Laskeutumismopeus (cm/s)	Laskeutumis aika metrin pituisella matkalla
Sora	10.0	100.0	1.0 s
Karkea hiekka	1.1	10.0	10.0 s
Hieno hiekka	0.1	0.8	2 min 5 s
Hieta	0.01	0.0154	1 h 48 min
Savi	0.001	0.00000154	2 v 20 d

Ilmastetun hiekanerotuksen suunnittelussa tulee ottaa huomioon puhdistamolle tulevan virtauksen nopeus ja määrittellä sen mukaan suunnittelussa käytettävä virtauksen nopeuden huippuarvo. Suunnittelussa käytetyn virtauksen nopeuden huippuarvon saa laskettua yhtälöllä 3. (Burton, Stensel & Tchobanoglous 2003, 391.)

$$v_D = v_{avg} \times P.F. \quad (3)$$

missä v_D = Suunnittelussa käytetyn veden virtaaman huippuarvo (m^3/h)

v_{avg} = Puhdistamolle tulevan jäteveden keskimääräinen virtausnopeus (m^3/h)

P.F. = Huipputekijä (Peak factor)

Huipputekijän saa laskettua yhtälöllä 4 (Design Guideline For Wastewater Facilities. 2013).

$$P.F. = \frac{v_{peak}}{v_{avg}} \quad (4)$$

missä P.F. = Huipputekijä (Peak factor)

v_{peak} = Puhdistamolle tulevan jäteveden päivittäinen huippuvirtausnopeus tai ennustettu huippuvirtaus (m^3/h)

v_{avg} = Puhdistamolle tulevan jäteveden keskimääräinen virtausnopeus (m^3/h)

Ilmastetun hiekanerotuksen suunnittelussa käytetään tiettyjä leveys-/pituussuhteita, leveys-/syvyysuhteita ja muita ulottuvuusmittoja, mitkä on todettu toimiviksi hiekanerotuksessa (ks. taulukko 3). Suunnittelussa tulee myös ottaa huomioon ilmamäärän säätely ja mittaus, jotta hiekanerotusta voidaan säätää tarkemmin haluttuun suuntaan (Burton, Stensel & Tchobanoglous 2003, 392). Kolsosvka (2022, 70–71) toteaa kuitenkin, että ilmastetun hiekanerotuksen suunnittelukriteerit ovat hyvin vakiintuneet, mutta suunnitteluideat ja altaat eroavat toisistaan laajasti, varsinkin altaiden muotojen kohdalla. Suunnittelutekijöiden suhteita toisiinsa ei myöskään ymmärretä kokonaisuudessaan.

Taulukko 3. Tyypillisiä ilmastetun hiekanerotuksen mitoitusarvoja (Karttunen 2004, 505)

Mitoitustekijä	Yksikkö	Vaihteluväli	Tyypillinen arvo
Viipymä	min	2-5	3
Altaan syvyys	min	2,1-4,9	3
Altaan pituus	min	7,6-19,8	12,2
Altaan leveys	min	2,4-7,0	3,7
Leveys/syvyysuhde	Suhdeluku	1:1-5:1	1,5:1
Pituus/leveysuhde	Suhdeluku	3:1-5:1	4:1
Ilmamäärä pituusmetriä kohti	$\text{m}^3/\text{m}^*\text{h}$	18-42	30
Hiekkamäärä	$l/1000\text{m}^3$	4-202	15

8.4 Hienovälppäys

Hienovälppäyksen toimintaperiaate on lähes sama kuin karkeavälppäyksellä, mutta välppien raot ovat pienempiä. Yleisesti hienovälppien rakojen koot vaihtelevat 0.2 millimetristä kuuteen millimetriin. (Burton, Stensel & Tchobanoglous 2003, 322.) Hienovälppiä on erilaisia malleja, kuten rumpuvälppä, porraskvälppä ja reikälevyvälpä. JSP:llä on käytössä reikälevyvälpä.

Reikälevyvälpä toimii padottamalla välpettä rei'itetyille levynauhalle. Reikälevyvälpän etu muihin välpämalleihin on välpän yläosaan sijoitettu vastakkaiseen suuntaan pyörivä harja, mikä ei vaadi erillistä pyörivää kaavinta. Tällä tavoin saavutetaan hyvä puhdistustehokkuus välpän levyille.

(HUBER Levynauhavälpä EscaMax® Reikälevyvälpä n.d.) Välpäyksen jälkeen hienovälpe kulkeutuu välpepuristimeen tai välpepesureille, riippuen kumpi laite on asennettu jätevedenpuhdistamolle (Pyykkönen 2023). Hienovälpän läpi virrannut jätevesi jatkaa matkaansa prosessissa esiselkeytykseen (Burton, Stensel & Tchobanoglous 2003, 322–324).

9 Menetelmät

Tämän opinnäytetyön ideana on miettiä syitä sille, miksi hiekkaa pääsee hiekanerotuksen ohi muualle prosessiin ja kertymään altaisiin. Tämän takia on syytä selvittää läpi pääsevän hiekan raekoko, mikä kertoo, onko läpi virtaava hiekka niin hienoa, että hiekanerotus ei pysty sitä erottelemaan. Optimaalista olisi myös saada virtaavasta jätevedestä hiekkänäytteitä hiekanerotuksen jälkeen, mutta tämä on hyvin hankala toteuttaa, ellei jopa mahdotonta kanavien suurien leveyksien takia. Näytteitä kuitenkin otetaan virtaavasta jätevedestä karkeavälpiltä ja hienovälpiltä padottamalla, jos hiekkaa sitoutuisi välppeeseen. Raekoko, mitä etsitään prosessista, on yli 0.21 millimetriä halkaisijaltaan, koska JSP:n hiekanerotusaltaan pitäisi teoriassa pystyä erottelemaan tätä kokoa isommat hiekkapartikkelit (Burton, Stensel & Tchobanoglous 2003, 386).

Altaiden ilmaston tilaa tullaan tutkimaan ja analysoimaan, jotta saadaan selville virtaako altaisiin liikaa tai liian vähän ilmaa. Liian suuri ilmamäärä voi vaikeuttaa hiekan laskeuttamista ja liian vähäinen ilma johtaa kevyen orgaanisen materian laskeutumiseen altaan pohjalle.

Hiekanerotusaltalle tehdään myös mitoitustarkastus siltä varalta, että voidaan poissulkea mahdolliset suunnittelussa tehdyt virheet tai kompromissit. Tarkastuksessa tullaan käyttämään olemassa olevan altaan mittoja ja verrataan niitä mahdollisiin muihin vaihtoehtoihin. Tähän osioon liittyen tullaan myös pitämään henkilöhaastatteluja.

9.1 Hiekkänäytteet

Hiekkänäytteitä otettiin Nenäinniemen puhdistamolla 9.1.2023-13.1.2023. Ensimmäisenä näyte otettiin biologisen ilmastusaltaan pohjalta Delete Group Oyj:n avustuksella. Delete imi imuautolla

altaan pohjasta vettä, minkä jälkeen vesisäiliö tyhjennettiin ja säiliöön kertynyt hiekka päästiin lapioidaan säiliön pohjalta pois.

10.1–13.1 näytteitä otettiin aamulla ja päivällä karkeavälpiltä ja hienovälpiltä. Aamulla puhdistamon tulopumppaamalla suoritetaan ”hörppyajo”, jolloin välppien läpi virtaa normaalia suuremmalla virtauksella vettä. Tämän aikana padotimme välppiä, jolloin välppiin kertyi reilusti välpettä, jolloin näyte saatiin otettua helposti. Kahtena aamuna otimme karkeavälpästä näytteen ja kahtena aamuna hienovälpästä. Samoin päivänäytteitä oli hieno- sekä karkeavälpiltä kaksi kappaletta. Päivällä otetut näytteet otettiin normaalitasoisen virtaaman aikaan noin kahdentoista aikaan.

Viimeinen näyte otettiin perjantaina 13.1 mädättämöstä. Mädättämöstä laskettiin lietettä mädättämön selkeytsaltaaseen letkua pitkin, minkä jälkeen seassa olevan hiekan annettiin laskeutua altaan pohjalle. Laskeutumisen jälkeen altaan pohjalta kaavittiin hiekkaa sisältävä lietenäyte.

Näytteet laitettiin säilöön Nenäinniemen puhdistamon näytejääkaappiin odottamaan laboratorio-käsittelyä.

9.2 Hiekkänäytteiden käsittely

Näytteet käsiteltiin Saarijärvellä Jyväskylän Ammattikorkeakoulun Biotalousinstituutin laboratoriossa aikavälillä 1.2-8.2.2023. Näytteiden käsittelyn ensimmäinen vaihe oli näytteiden peseminen ylimääräisestä materiasta, mikä koostui pääosin orgaanisesta lietteestä.

Pesu tehtiin näytteille suodattamalla näytteet siivilän ja kahden seulan läpi. Seulojen reikäkoot olivat 0.25 mm ja 0.125 mm. Seulojen koot valittiin tyypillisten hiekkarakeiden halkaisijoiden perusteella. Kevyt ja kelluva orgaaninen materia erotettiin näytteistä ylivuodon avulla eli virtaavan veden mukana näyteastiasta kevyt materia huuhtoutui pois ja pohjalle jäivät raskaat kivet, hiekka ja sora (ks. kuvio 9). Lopuksi näytteitä pestiin siivilän ja seulojen läpi niin kauan, että vesi kirkastui. Mädättämön ja biologisen ilmastusaltaan näytteistä pesun jälkeen jäljelle jäi kosteat hiekkakasat, jotka olivat valmiita kuivaukseen.



Kuvio 9. Karkeavälppänäytteen pesu.

Välpenäytteistä vain yhteen hörppyajon aikana otettuun karkeavälppänäytteeseen oli kerääntynyt soraa ja hiekkaa. Muut karkeavälppä- ja hienovälppänäytteet eivät sisältäneet yhtään hiekkaa tai soraa, vaan koostuivat välpejätteestä. Hiekkapesurin jälkeisestä hiekkakasasta otettua näytettä ei tarvinnut pestä tai seuloa ennen kuivausta.

Hiekkänäytteet laitettiin 7.2.2023 uuniin kuivaukseen 105 °C lämpötilaan, jolloin näytteissä oleva vesi saatiin haihdutettua pois. Näytteet levitettiin laaja-alaisesti alumiinivuokaan, jolloin taattiin näytteille nopein ja tehokkain kuivumisaika (ks. kuvio 10). Alkuperäisistä näytteistä kuivaukseen päätyi neljä näytettä: mädättämö-, ilmastus-, karkeavälppä- ja hiekkakasanäyte.



Kuvio 10. Hiekkänäytteet kuivauksen alussa

Kuivatetut hiekkänäytteet olivat valmiita seulontaan ja tarkasteluun 8.2.2023. Kukin näyte seulottiin vuorollaan ja näytteiden välissä seulat puhdistettiin. Seulakokoina käytettiin 1 mm, 0.5 mm, 0.25 mm ja 0.125 mm, jolloin saatiin hyvä kuva hiekan koostumuksesta ja siitä, kuinka hyvin nämä erilaiset raekoot laskeutuvat hiekanerotuksessa altaan pohjalle (ks. kuvio 11).



Kuvio 11. Seulontaan käytettiin Biotalousinsituutin betoniseulaa.

Näytteiden pienen koon takia erilaisten raekokojen massaa ei voitu luotettavasti selvittää, koska vaaka ei olisi antanut tarkkaa tulosta. Painolla ei kuitenkaan tämän tutkimuksen kannalta ole suurta merkitystä, koska tarkoituksena on tutkia minkä kokoista hiekkaraetta prosessiin kertyy. Jos hiekan kertymistä haluttaisiin tarkkailla ja mitata, tulisi näytteitä ottaa suuria määriä kerralla ja keksiä luotettava keino saada hiekkaa talteen hiekanerotuksen jälkeen.

Seulonnan jälkeen näytteitä tarkasteltiin mikroskoopin avulla, jolloin voitiin päätellä näytteen olevan hiekkaa tai muuta orgaanista materiaa. Hiekkaa sisältävä näyte näyttää mikroskoopin alla kalsalta pieniä kiviä, kun taas orgaanista ainetta sisältävässä näytteessä näkyy erilaisia kuituja.

9.3 Ilmastuksen tarkastelu

Ilmastetun hiekanerotuksen yksi tärkeimmistä osista on altaan ilmastus. JSP:llä ei ole ilmastuksen tuottamista ilmamääristä mittausta, joten tuottoarvot luetaan suoraan valmistajan kompressorin toimintaa kuvaavasta käyrästä (ks. liite 1).

Ilma tuotetaan hiekanerotukseen yhdellä Aerzenin GM10S-kompressorilla ja varalla on kaksi samanlaista kompressoria vikatilanteita varten. Taulukosta 4 voidaan nähdä kompressorin nimellisarvoja. Lähtötietoina ilmastuksen kompressorista on kierrosluku, maksimiteho ja kompressorin tuottama paine. Kompressorin tuotot on ilmoitettu FAD-lukemana (free air delivery), mikä ilmoittaa tuoton määrän ”vapaassa ilmassa” (Atlas Copco Compressed Air Manual 2019, 13).

Taulukko 4. Ilmastuksen kompressorin nimellisarvoja (Aerzen Positive Displacement Blowers n.d., 9)

Kompressori	Aerzen GM10S
Nimellinopeus	4400 RPM
Nimellistuotto	10.9 m ³ /min
Nimellisimupaine (abs)	1.0 Bar
Nimellisylipaine (max)	1.0 Bar

Taulukossa 5 on kompressorin nykytilaa esittävät arvot, jotka on luettu kompressorin toimintakäyrältä. Kompressorin tuottama ilmamäärä 4178 Rpm nopeudella on noin 9.85 m³/min eli 591 m³/h. Tämä ilmamäärä jakaantuu molempiin hiekanerotusaltaisiin, jolloin yksittäiseen altaaseen virtaa ilmaa 295.5 m³/h eli 9.8 m³/h allasmetriä kohden.

Taulukko 5. Ilmastuksen kompressorin toiminta-arvoja

Kompressori	Aerzen GM10S
Nopeus	4178 RPM
Tuotto	9.85 m ³ /min
Imupaine	1.0 Bar
Paine	0.5 Bar
Teho (max)	15 kW

9.4 Haastattelut

Tähän opinnäytetyöhön liittyen suoritettiin henkilöhaastattelut Kristian Sahlstedtin ja Jukka Tyrväisen kanssa. Sahlstedt on Helsingin seudun ympäristöpalveluiden, lyhennettynä HSY, osastonjohtaja ja on aikaisemmin ollut Pöyryllä tekemässä prosessisuunnittelua jätevedenpuhdistamoille. Tyrväinen on Alvan tuotantopäällikkö ja ollut suunnittelemassa JSP:n hiekanerotusta.

Haastatteluissa käytiin läpi teoriaa hiekanerotuksesta ja yritettiin selvittää syitä JSP:n hiekanerotuksen nykytilaan. JSP:n hiekanerotusaltaissa veden tuloaukko on sijoitettu horisontaalisesti altaan alkupäähän, kun taas kirjallisuudessa veden tuloaukko sijoitettaisiin altaan alkupäässä sivulle. Sahlstedt (2023) kertoi nähneensä kyseessä olevia suunnittelukuvia, mutta ei ole koskaan nähnyt tällaista allasta käytännössä. Epäili myös, että sivulla oleva vedentuloaukko voisi tehdä veden virtauksesta enemmän turbulenttista, mikä häiritsisi virtauksen etenemistä välppäkanavaan. Spiraalivirtaus on kuitenkin Sahlstedtin (2023) mukaan mahdollista saada aikaan, vaikka tuloaukko olisi horisontaalisesti sijoitettu altaaseen.

Ilmastusmäärät altaissa on mitoitettu HSY:llä 1–1.3 m³/h allaskuutiota kohti. Sahlstedtin (2023) mukaan JSP:n nykyiset toteutuneet ilmamäärät ovat liian pienet ja ensisijaisesti kannattaisi korkeilla ilmastuksen lisäämistä altaaseen, ennen mitään suurempia toimenpiteitä. Tyrväinen (2023) oli asiasta myös samaa mieltä, mutta tätä varten JSP:n hiekanerotuksen ilmastusputkistojen kapasiteettia tulee tutkia tarkemmin. Kapasiteetin ollessa liian vähäinen haluttu ilmamäärä ei päädy altaaseen, vaan työntyy ulos varoventtiilin kautta.

Tyrväisen (2023) kanssa käytiin enemmän läpi altaan suunnittelua ja onko mahdollisesti jouduttu tekemään kompromisseja altaan suunnittelun suhteen. JSP:n hiekanerotusaltaiden syvyys on n. 5.5 metriä ja tämä syvyys ei ole leveys/syvyys -suhteen mukainen. Tyrväistä (2023) lainaten: ”Jos oikein muistan, rakennuksen hiekanerotusosasta oli jonkun toisen laitoksen piirroksia, joita venytettiin käytettävissä olevaan tilaan ja virtaussuuntiin sopiviksi.”, täten altaiden mitat eivät ole välttämättä suunniteltu vastaamaan tarkasti haluttua virtaama-arvoa. Tyrväinen (2023) tähdentää, että nykyisten mittojen ei pitäisi aiheuttaa ongelmia, mutta toteaa kuitenkin, että nykyisillä altaan mitoilla toiminta ei ole optimaalinen. Jos suurempia korjauksia tai toimenpiteitä tehtäisiin hiekanerotukselle, voisi altaan pohjan nostamista harkita. Altaan simuloiminen tietokoneella olisi Tyrväisen (2023) mielestä hyvä idea, sillä silloin voitaisiin tarkastella tarkemmin altaiden mittojen suhdetta vedenvirtaukseen ja saataisiin tarkempaa tietoa ilman aiheuttaman spiraalivirran synnystä ja ylläpitämisestä.

9.5 Mitoitustarkastelu

Hiekanerotusaltaille tehdään tässä kappaleessa mitoitustarkastelu, minkä ideana on antaa kuva siitä, ovatko altaiden ulottuvuudet sopivia JSP:lle tulevaan jätevesimäärään. Liitteistä 2 ja 3 saadaan selville altaiden pituudet, leveydet ja syvyys. Nämä arvot on esitetty taulukossa 6.

Taulukko 6. Hiekanerotusaltaiden mitat

Hiekanerotusaltaiden mitat	
Pituus (m)	30.1
Leveys (m)	3.6
Syvyys (m)	5.5

Nämä arvot kerrottuna keskenään antavat meille karkean arvion yhden altaan tilavuudesta, koska allas on V-muotoinen. Liitteestä 4 selviää V-muodon mitat, jotka tarkistettiin AutoCad DWG-TrueView-ohjelmalla. Nämä V-muodon pinta-alat kerrotaan altaan pituudella, josta on vähennetty hiekkasyvennyksen pituus, jolloin saadaan tilavuusmitat, jotka vähennetään altaan kokonaistilavuudesta. Lopuksi vielä tilavuuteen lisätään altaan alkupäässä sijaitsevan hiekkasyvennyksen tilavuus. Lopullinen yhden altaan tilavuus on n. 540 m³.

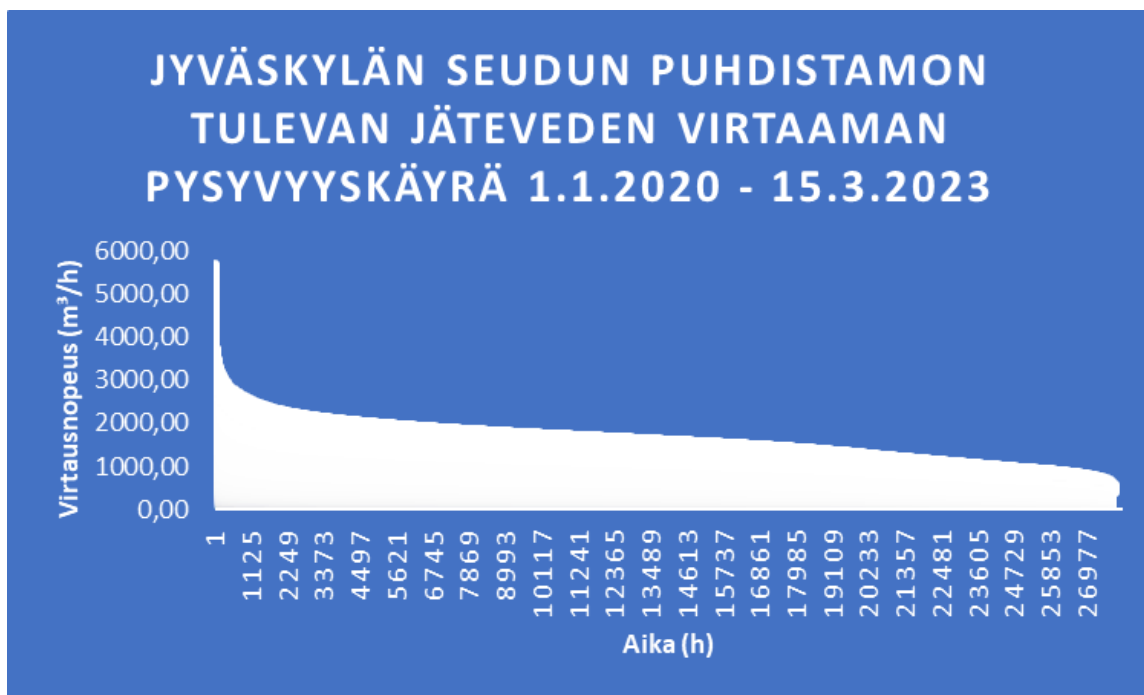
Taulukosta 3 nähdään, että tyypillinen pituus-/leveyssuhde ilmastetulla hiekanerotusaltaalla on 4:1. JSP:n altaalla tämä suhde on lähemmäs 8:1. Pituudella ei kuitenkaan ole suurta merkitystä, sillä altaan pitää olla kuitenkin tarpeeksi pitkä, jotta spiraalivirtaus altaassa tekee huippuvirtaaman aikana vähintään kolme kierrettä. Leveys-/syvyysuhde myös pitäisi Taulukko 3:n mukaan olla 1:1–5:1 välillä, kun taas JSP:n altaan suhde on 0.58. Altaan mitoista oltiin yhteydessä Hydropress Huber Ab:lle, jotka ovat aikaisemmin antaneet tietoa hiekanerotuksen toiminnasta. Heidän puoleltansa saatiin vastaus, että leveys-/syvyysuhde pitäisi olla 0.8–1.0 välillä (Wentus 2023).

Katsottuna Taulukosta 3 selviää, että ilmastuksen tarve altaassa on 18–42 m³/h altaan pituusmetriä kohden ja tyypillinen arvo on 30 m³/h. Altaan pituus on 30.1 metriä, jolloin yhden altaan ilmastustarve on minimissään 541.8 m³/h. Wentuksen (2023) viestien mukaan Saksassa rakennettujen

ilmastettujen hiekanerotuslaitteiden ilmastustarve on 1.0–1.3 m³/h allaskuutiota kohden, jolloin tämän mitoituksen mukaan JSP:n hiekanerotukseen pitäisi virrata yhteen altaaseen minimissään ilmaa 540 m³/h.

Seuraavaksi suunnitellaan uudet mitat hiekanerotuslaitteille, johon tarvitaan avuksi jäteveden virtausdataa. JSP:n tulevan jäteveden virtausarvoja voidaan tarkastella taulukosta 7. Hiekanerotuslaitteiden mitoituksessa käytetään huippuvirtaama-arvoa määrittelemään altaan tilavuutta.

Taulukko 7. JSP:lle tulevan jäteveden virtausta kuvaava pysyvyyskäyrä ajalta 1.1.2020–15.3.2023.



Pysyvyyskäyrän huippuarvot sijoittuvat yli 5000 m³/h alueelle, mutta näin suurta virtaamaa JSP:llä ei nähdä usein, minkä takia suunnittelussa tullaan käyttämään arvoa, mikä kattaa yleisimmät virtaamat. Huippuvirtausarvoksi valitaan tässä tapauksessa 3800 m³/h eli 1.056 m³/s. JSP:n jäteveden keskimääräiseksi virtaamaksi taulukko 7:n virtausdatan avulla saatiin 1609 m³/h eli 0.47 m³/s.

Burtonin ja muiden (2003, 391–392) suunnitteluohjeiden mukaan ensin määritellään altaan tilavuus. Altaan tilavuuden laskemisessa käytetään JSP:n tämänhetkisen altaan viipymää, mikä on 6 minuuttia yhdessä altaassa. Tilavuus lasketaan yhtälöllä 5.

$$V = \frac{1}{2} \times v_{peak} \times t \times 60 \text{ s/min} \quad (5)$$

missä V = altaan tilavuus (m³)

v_{peak} = jäteveden huippuvirtaama (m³/s)

t = viipymä (min)

Laskelman perusteella altaan tilavuus olisi 190.08 m³.

Seuraavaksi lasketaan pituus ja leveys altaalle. Syvyys päätetään itse, jolloin syvyys meillä määräytyy tyypillisen arvon mukaan, mikä on kolme metriä. Käytämme leveys-/syvyysuhteena 1:1. Pituus ja leveys lasketaan yhtälöllä 6 ja 7.

$$W = R \times D \quad (6)$$

missä W = leveys (m)

R = leveys-/syvyysuhde

D = syvyys (m)

$$L = \frac{V}{W \times D} \quad (7)$$

missä L = pituus (m)

V = altaan tilavuus (m³)

W = altaan leveys (m)

$D = \text{altaan syvyys (m)}$

Näiden laskujen perusteella altaan leveys on 3 metriä ja pituus on 21.12 metriä.

Altaan viipymä keskiarvovirtaamalla lasketaan seuraavaksi ja viipymän laskemisessa käytetään JSP:n keskiarvovirtaamaa, mikä on $0.47 \text{ m}^3/\text{s}$. Viipymä lasketaan yhtälöllä 8.

$$t = \frac{V}{v_{avg}} \quad (8)$$

missä $t = \text{viipymä (s)}$

$V = \text{altaan tilavuus (m}^3\text{)}$

$v_{avg} = \text{jäteveden keskiarvovirtaama (m}^3\text{/s)}$

Laskelman tuloksena selviää, että keskiarvovirtauksella veden viipymä yhdessä altaassa on n. 404.43 sekuntia eli 6 minuuttia ja 44 sekuntia, ja koska altaita on kaksi, kokonaisviipymä on yhteensä 13 minuuttia ja 28 sekuntia. Ideaalitulanteessa tulevan jäteveden virtaus jakaantuu tasaisesti molempiin hiekanerotusaltaisiin, mutta pienellä virtauksella ei välttämättä ole tarvetta pumppata vettä molempiin altaisiin.

Seuraavaksi lasketaan altaan ilmantarve ja tässä laskelmassa käytetään Taulukko 3:n mukaista minimiarvoa ilmamäärälle eli $18 \text{ m}^3/\text{h}$ allasmetriä kohden. Tämä lasketaan kertomalla valittu ilmamäärä lasketulla altaan pituudella, mikä on 21.12 metriä, jolloin ilmantarve yhteen altaaseen on $380.16 \text{ m}^3/\text{h}$ eli yhteensä $760.32 \text{ m}^3/\text{h}$ molempiin altaisiin. Altaaseen voidaan mitoittaa ilmastus myös allaskuutioiden mukaan, jolloin käytämme arvoa $1.0 \text{ m}^3/\text{h}$ ilmaa allaskuutiota kohti (Wentus 2023). Tällöin ilmastuksen arvo yhdessä altaassa on $190.08 \text{ m}^3/\text{h}$ ja yhteensä $380.16 \text{ m}^3/\text{h}$. Näiden kahden mitoitusarvon ero on suhteellisen iso, mutta Karttusen (2004, 505) mitoituslukemat eivät

olet tuoreinta tietoa, minkä vuoksi on syytä mitoittaa ilmastus alemman arvon mukaan ensisijaisesti. Altaan toimintaa tulisi tästä syystä seurata käytännössä, jolloin ilmamäärää voidaan säätää suuremmaksi tarpeen vaatiessa.

Lopuksi on syytä tarkistaa altaiden pinnan ylivuotonopeus ja verrata sitä yleisen pienen partikkelin laskeutumisnopeuteen. Ghangrekarin (n.d., 3–5) mukaan, jos ylivuotonopeus on hitaampi kuin partikkelin laskeutumisnopeus, on altaan suunnitelma turvallinen. Ylivuotonopeutta verrataan hiukkaseen, jonka laskeutumisnopeus on 2.4 cm/s. Ylivuotonopeus lasketaan yhtälöllä 9.

$$v_{SOR} = \frac{v_{peak}}{(2 \times W \times L)} \quad (9)$$

missä v_{SOR} = ylivuotonopeus (m/s)

v_{peak} = jäteveden huippuvirtaama (m³/s)

W = altaan leveys (m)

L = Altaan pituus

Laskelman tuloksena ylivuotonopeuden arvoksi saatiin 0.0083 m/s eli 0.83 cm/s, mikä tarkoittaa altaan suunnittelun olevan turvallinen.

Laskemalla voidaan myös arvioida tulevan hiekan ja erotettavien partikkeleiden määrä huippuvirtaaman aikana, jolloin saadaan karkea arvio altaan tehokkuudesta. Laskennassa käytetään hiekkamäärän tyypillistä arvoa eli 15 litraa hiekkaa 1000 vesikuutiota kohden (ks. taulukko 3). Päiväkohtainen hiekan määrä lasketaan yhtälöllä 10.

$$V_h = v_{peak} \times 86\,400 \text{ s} \times \frac{V_{hiekkaa}}{1000 \text{ m}^3} \quad (10)$$

missä V_h = päiväkohtainen hiekkamäärä huippuvirtaaman aikana (m³/d)

V_{peak} = jäteveden huippuvirtaama (m^3/s)

$V_{\text{hiekkä}}$ = hiekan määrä (m^3)

Laskennan tuloksena voidaan arvioida, että altaisiin virtaa hiekkää 1.37 m^3 hiekkää päivässä. Tämä on kuitenkin vain karkea arvio, eikä välttämättä vastaa todellisuutta, koska hiekan kulkeutumiseen liittyviä muuttujia on paljon, kuten kevään sulamisvedet ja hiekoitushiekat.

10 Tulokset

10.1 Hiekanäytteiden koostumus ja raekoko

Hiekanäytteiden analysoinnin tuloksena selvisi, että hiekkää kerääntyy prosessissa ainakin mädättämöön ja biologiseen ilmastusaltaaseen. Hiekkojen raekoot olivat myös osaltaan sen kokoisia, että hiekanerotuksen olisi pitänyt pystyä nämä erottelemaan (ks. taulukko 8).

Taulukko 8. Prosessista löytyneiden hiekanäytteiden raekoot

Hiekan Raekoko	Mädättämö	Biologinen ilmastusallas	Karkeavälpä	Prosessissa pesty hiekkä	Hienovälpä
> 1 mm	X	X	X	X	
1 mm < 0.5 mm	X	X	X	X	
0.5 mm < 0.25 mm	X	X	X	X	
0.25 mm < 0.125 mm	X	X	X	X	
< 0.125 mm			X	X	

Mädättämön näytteessä suurimmat partikkelit eivät olleet hiekkää tai kiviä, vaan kovettunutta rasvaa, mitä syntyy jätevedenkäsittelyssä. Selvimät hiekanäytteet olivat 0.125–0.5 mm välissä, mutta näiden seassakin oli paljon orgaanista materiaa (ks. kuvio 12). Raekoon pienuuden takia ei voida varmaksi sanoa, kuinka suuri osa tästä hiekasta olisi voitu hiekanerotuksessa erotella. Alle 0.125 mm partikkeleita mädättämön näytteestä löytyi, mutta se ei sisältänyt merkittävää määrää hiekkää, vaan kuivunutta mädättämölietettä ja muuta orgaanista ainesta (ks. kuvio. 13).



Kuvio 12. Mädättämön seulottu hiekkänäyte 0.5 mm < 0.25 mm mikroskoopin alla.



Kuvio 13. Mädättämön näyte < 0.125 mm. Makrokuva.

Biologisen ilmastusaltaan näytteet olivat erittäin hiekkapitoisia ja hiekkaa löytyi 0.125–1 mm väliltä. Suurimmat hiekkapartikkelit ovat mahdollisesti hiekoitushiekkaa tai altaaseen pudonnutta tavaraa, joten näiden osalta näyte ei välttämättä pidä paikkaansa. Hienoa hiekkaa kuitenkin löytyi näytteestä merkittävästi ja yli 0.25 mm suuruista raekokoa suurin osa (ks. kuvio. 14), mistä voidaan päätellä tämän hiekan päätyneen altaan pohjalle prosessin mukana. Alle 0.125 mm raekokoa löytyi myös, mutta sisälsi pelkästään orgaanista materiaa, luultavasti kuollutta bakteerimassaa (ks. kuvio 15).



Kuvio 14. Biologisen ilmastusaltaan hiekkänäyte 0.5 mm < 0.25 mm. Makrokuva.



Kuvio 15. Biologisen ilmastusaltaan näyte < 0.125 mm. Makrokuva.

Karkeavälpän näyte oli yllättävä, sillä se sisälsi eniten hiekkaa jokaisella raekoolla. Karkeavälpän näytteessä ei mikroskoopillakaan näkynyt melkein ollenkaan orgaanista materiaa. Tällä näytteellä ei ole merkitystä tutkimuksen tulokseen, vaan on kuva siitä millaista hiekkaa puhdistamolle voi kulkeutua jäteveden mukana. Merkittävin löytö oli alle 0.125 mm raekoon hiekkaa, mitä ei löytynyt ollenkaan mädättämön tai ilmastuksen näytteistä (ks. kuvio. 16).



Kuvio 16. Karkeaväljän hiekkänäyte < 0.125 mm mikroskoopin alla.

Hiekkänäyte prosessissa pestystä hiekasta sisälsi kaikkia raekoon tyyppisiä, eikä sisältänyt orgaanista materiaa, niin kuin ei pitäisikään. Tämän näytteen ideana oli, että näemme mitä kaikkea hiekanerotusallas tällä hetkellä pystyy erottelemaan. Jokaista seulottua raekokoa löytyi näytteestä ja pienimpien raekokojen kohdalla kyseessä on orgaaniseen lietteeseen sitoutunutta hiekkaa, mikä ei altaassa vapaassa laskeutumisessa olisi pohjaan asti päässyt laskeutumaan.

10.2 Hiekanerotuksen ilmastuksen nykytila ja mitoitustarkastelun tulokset

Hiekanerotuksen ilmastus ei toimi optimaalisesti tällä hetkellä. Altaisiin pitäisi minimissään virrata ilmaa 1080 m³/h, mutta tällä hetkellä yhden kompressorin ilmantuotto altaisiin on 591 m³/h. Ilmantuottoa altaisiin voitaisiin lisätä kytkemällä toinen varalla olevista kompressoreista päälle nykyisen rinnalle, mutta JSP:n ilmastuslinjat eivät tällä hetkellä välttämättä pysty käsittelemään noin suurta ilmamäärää, jolloin ylimääräinen ilma virtaa ulos varoventtiilin kautta. Jotta ilman tuottoa voidaan lisätä altaisiin, pitää ensin tutkia ilmastuslinjat ja niiden kapasiteetti. Ilmavirran absoluuttisesta määrästä ei voida olla myöskään varmoja mittauksen puuttumisen vuoksi. Ilmavirtauksen lisääminen altaisiin parantaa mahdollisesti hiekanerotusta altaissa.

Mitoitustarkastelussa ilmeni altaan olevan leveyteen suhteutettuna liian syvä. Verrattuna teoreettisesti laskettuun altaaseen, riittäisi JSP:n altaan syvyydeksi kolme metriä, jolloin pituus altaassa myös voisi olla lyhyempi. Altaan syvyyden muuttaminen kolmeen metriin viidestä metristä myös tehostaisi partikkeleiden laskeutumista altaan pohjalle laskeutumismatkan lyhentyessä.

11 Pohdinta ja kehitysehdotukset

Tutkimusten tuloksena JSP:n hiekanerotusaltaiden nykytilasta saatiin selville puutteita altaiden toiminnassa. Isorakeista hiekkaa, mitä hiekanerotuksen pitäisi pystyä laskeuttamaan, virtaa hiekanerotuksen ohi muualle prosessiin. Altaat kuitenkin erottelevat hiekkaa, mikä näkyy hiekkapesureilta saadusta hiekanäytteestä. Hiekan määrästä prosessin muissa osissa on vaikea saada tällä hetkellä tietoa, joten tulevaisuudessa allashuoltojen yhteydessä tulisi altaisiin kertynyt hiekka kerätä ja punnita.

Hiekanerotusaltaiden ilmastus nykytilanteessa ei toimi optimaalisesti, sillä nykyinen ilmantuotto kompressorilla tuottaa noin puolet liian vähän ilmaa altaisiin. Tämän takia altaissa ei pääse välttämättä syntymään tarpeeksi tehokasta spiraalivirtausta, mihin altaan hiekanerotusprosessi lähtökohtaisesti perustuu. JSP:llä on kuitenkin mahdollisuus lisätä ilmastusta altaisiin kytkemällä toinen kompressorin päälle, jolloin altaisiin virtaava ilmamäärä olisi riittävä. Tätä varten kuitenkin on tehtävä enemmän tutkimuksia hiekanerotuksen ilmastuslinjojen kapasiteetista, jotta voidaan varmistua koko ilmavirtauksen päätyemisestä altaaseen. Jos kapasiteetti ei ole riittävä, kaikki kapasiteetin ylittävä ilmavirta puhaltuu varoventtiilin kautta ulos ja tämän ongelman ratkaiseminen vaatisi ilmastuslinjojen uusimista.

Mitoitustarkastelussa todettiin altaiden ulottuvuuksien olevan tyyppillisistä arvoista poikkeava ja tämä voi haitata altaan optimaalista toimintaa. Altaan syvyys nykytilanteessa tuottaa eniten ongelmia, koska kevyemmät hiekkapartikkelit eivät painovoimaisesti kerkeä laskeutumaan altaan pohjalle. Tämä ongelma korostuu entisestään ilmastuksen ollessa liian vähäinen. Kehitystoimenpiteet koskien altaan muokkaamista olisivat kuitenkin hyvin kalliita, eivätkä välttämättä paranna altaiden erotushyötysuhdetta, jos ilmastus altaissa saadaan optimaaliselle tasolle. Jos mahdollista, altaiden toiminnasta voitaisiin kehittää tietokonemallinnus, missä muokattavina parametreinä olisi veden ja ilman virtausnopeus, sekä altaiden ulottuvuudet. Tällä tavoin voitaisiin tarkastella helposti altaiden ulottuvuuksien suhteita veden virtaukseen ja spiraalivirran syntymistä ilmastuksen avulla.

12 Tutkimustulosten luotettavuus ja eettisyys

Tutkimustulosten luotettavuutta tukee Karttusen (2004), sekä Burtonin ja muiden (2003) teoria-tieto hiekanerotuksesta, koska hiekanerotuslaitteet ovat suunniteltu 90-luvulla näissä teoksissa esitetyn ilmastetun hiekanerotuslaitteen mukaiseksi. Myös haastattelut Tyrväisen (2023) ja Sahlstedtin (2023) kanssa tukevat opinnäytetyön tuloksia.

Hiekan virtaaminen prosessissa hiekanerotuksen läpi todettiin hiekan raekoon selvittämiseksi. Tätä tuki myös mädättämön hiekanäyte, sillä mädättämöön ei pääse prosessin ulkopuolelta hiekkaa. Näytteiden määrää olisi voinut lisätä, jolloin olisi saatu kattavampi kuva erilaisten raekokojen määrästä.

Altaiden ilmastuksen määrän tulkitseminen kompressorien toimintakäyrästä (ks. liite 1) antaa tarkan kuvan kompressorin tuottamasta ilmamäärästä. Ilmamäärän mittaus voisi helpottaa ilmamäärien tulkitsemista, mutta mittauksen luotettavuus olisi olosuhteista kiinni.

Mitoitustarkastelussa todettujen altaiden mittojen suhteissa olevia poikkeuksia on vaikea analysoida, sillä Kolvsosvka (2022, 70–71) toteaa altaiden suunnittelujen olevan hyvin yksiköllisiä. Luottamus siihen, että altaiden mittojen suhde vaikuttaa altaiden toimintaan on kuitenkin olemassa Wentuksen (2023) viestien ja Tyrväisen (2023) haastattelun perusteella.

Opinnäytetyö oli puhtaasti jätevedenpuhdistuksen prosessin tarkastelua, jolloin työhön ei liittynyt eettistä näkökulmaa tai eettisiä esteitä. Opinnäytetyö ei vaatinut tutkimuslupaa, ei kerännyt henkilödataa ja noudatti hyvää tieteellistä käytäntöä. Opinnäytetyö ei sisältänyt salassa pidettäviä osia. Lähteiden käyttö, sekä lähdeviittaukset kuvia myöten on tehty asianmukaisesti. Opinnäytetyö julkaistaan julkisena ja toimeksiantaja on tästä tietoinen.

Lähteet

Aerzen Positive Displacement Blowers. N.d. Aerzen GM10S-kompressorin käyttöohjeet ja taulukot.

Atlas Copco Compressed Air Manual. 2019. 9. Painos. Wilrijk. Atlas Copco Airpower. Viitattu 13.2.2023. <https://www.atlascopco.com/content/dam/atlas-copco/compressor-technique/compressor-technique-service/documents/Compressed-Air-Manual-9th-edition.pdf>.

Burton, F. L., Stensel, H. D. & Tchobanoglous, G. 2003. Metcalf & Eddy, Inc: Wastewater Engineering Treatment, Disposal and Reuse. 4th Edition. New York. McGraw-Hill.

Design Guideline For Wastewater Facilities. 2013. Ohjeistus jäteveden puhdistamoiden suunnitteluun. Viitattu 13.2.2023 <https://mde.maryland.gov/programs/permits/watermanagementpermits/documents/wastewaterdesignguidelines-2013.pdf>.

Ghangrekar, M. N.d. Yliopiston tehtävämoniste. Kharagpur. Indian Institute of Technology Kharagpur. Viitattu 13.2.2023. https://scetcivil.weebly.com/uploads/5/3/9/5/5395830/m13_l18-grit_chamber-contd.pdf.

HUBER Levynauhavälppä EscaMax[®] Reikälevyvälpä. N.d. JSP:llä käytetyn hienovälppän esite. Viitattu 6.4.2023. https://www.huber.fi/fileadmin/huber-fi/documents/brochures/pro_escamax-fi-2011.pdf.

Hynynen, J. 2022. Nenäinniemen jätevedenpuhdistamon käyttö- ja päästötarkkailun yhteenveto vuodelta 2022. Tutkimusraportti. KVVY Tutkimus.

Jyväskylän Seudun Puhdistamo Oy. N.d. Verkkosivut. Viitattu 2.1.2023. <https://www.js-puhdistamo.fi/yritys/>.

Karttunen, E. 2003. RIL 124-1 Vesihuolto I. E. 2. Painos 2009. Helsinki. Suomen Rakennusinsinööriliitto RIL.

Karttunen, E. 2004. RIL 124-2 Vesihuolto II. Helsinki. Suomen Rakennusinsinööriliitto RIL.

Kolsosvka, T. 2022. A Comprehensive evaluation of wastewater grit characteristics and its application in the design of a facility-specific grit removal solution. Opinnäytetyö. New Jersey. Rowan University. Viitattu 12.2.2023. <https://rdw.rowan.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=3968&context=etd>.

KUHN Water experts - world wide. N.d. Välppälaitteen käyttöohje.

Nenäinniemen jätevedenpuhdistamo. 2022. Diaesitys Nenäinniemen puhdistamosta, mikä esitettiin opiskelijaryhmän vierailun aikana syksyllä 2022.

Nenäinniemen jätevedenpuhdistamo parantaa lietteenkäsittelyn ja biokaasulaitoksen energiatehokkuutta JSPBIO+ hankkeella. 2021. Verkoartikkeli. Viitattu 17.1.2023. <https://www.js-puhdistamo.fi/2021/07/07/nenainniemen-jatevedenpuhdistamo-parantaa-lietteenkäsittelyn-ja-biokaasulaitoksen-energiatehokkuutta-jspbio-hankkeella/>.

Nenäinniemen Puhdistamo. 2017. Verkkosivu. Viitattu 2.1.2023. <https://www.is-puhdistamo.fi/puhdistamot/nenainniemen-puhdistamo/>.

Nenäinniemi JSPBio+ Esittelykaavio. 2021. Nenäinniemen puhdistamon prosessikaavio PowerPoint-esityksestä.

Nichols, G. 2009. Sedimentology and Stratigraphy, 2nd Edition. Oxford. Wiley-Blackwell.

Patil, R. N.d. Grit Chamber. Verkoartikkeli. Viitattu 14.2.2023 <https://constructionor.com/grit-chamber/>.

Puhdistamot. N.d. Verkkosivut. Viitattu 2.1.2023. <https://www.is-puhdistamo.fi/puhdistamot/>.

Pyykkönen, S. 2023. VS: Vielä viimeistellympi oppari. Sähköpostiviesti 6.4.2023. Sähköpostiviesti sisälsi päivitettyä tietoa JSP:n prosessista, jota ei ollut päivitetty nettisivuille.

Sahlstedt, K. 2023. Helsingin seudun ympäristöpalvelujen osastonjohtaja. Helsinki. Haastattelu.

Tapaustutkimus. 2015. Jyväskylän yliopiston avoimet materiaalit. Verkkosivut. Viitattu 3.4.2023. <https://koppa.jyu.fi/avoimet/hum/menetelmapolkuja/menetelmapolku/tutkimusstrategiat/tapaustutkimus>.

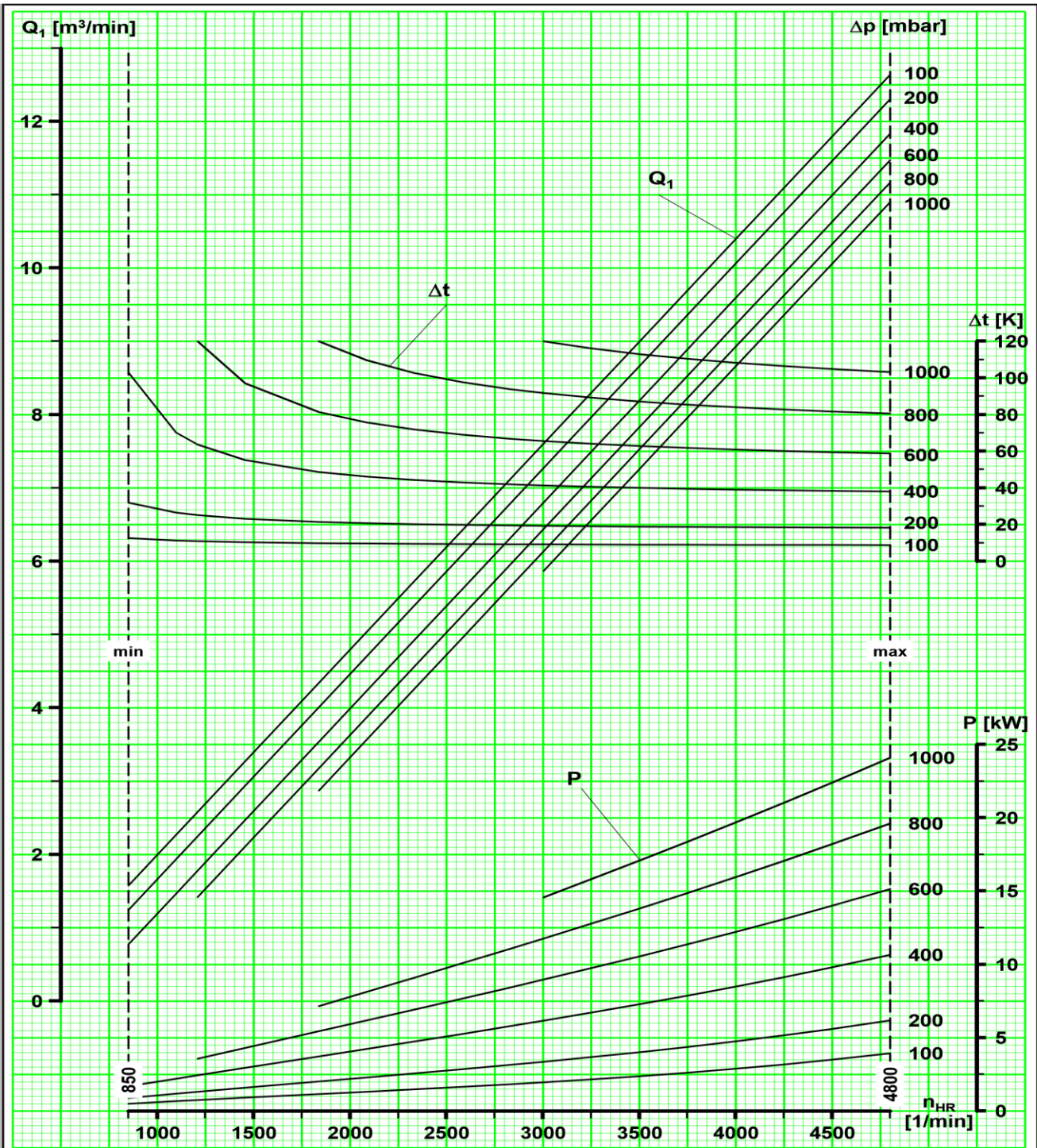
Tutkijan ABC. 2015. RajatOn. Viitattu 3.4.2023. <https://rajatontatiedekasvatusta.wordpress.com/tutkijan-abc/>.

Tyrväinen, J. 2023. Alvan tuotantopäällikkö. Jyväskylä. Haastattelu.

Wentus, N. 2023. JSP hiekanerotus. Sähköpostiviesti 24.1.2023. Vastaanottajat K.Puttonen, M.Tuohimetsä, V. Valtonen. Tietoa JSP:n hiekanerotusaltaan mitoista ja mahdollisten ongelmien syistä.

Liitteet

Liite 1. Aerzen GM10S-kompressorin toimintakäyrät



<p>Q_1 : Ansaugvolumenstrom (Luft) bei $p_1 = 1,0$ bar und $t_1 = 20^\circ\text{C}$</p> <p>n_{HR} : Hauptrotordrehzahl</p> <p>n_V : Antriebswellendrehzahl</p> <p>P : Leistungsbedarf an der Kupplung</p> <p>Δt : Temperaturerhöhung</p> <p>Δp : Druckerhöhung</p>	<p>intake volume flow (air) at $p_1 = 1.0$ bar and $t_1 = 20^\circ\text{C}$</p> <p>main rotor speed</p> <p>drive shaft speed</p> <p>power required at the coupling</p> <p>temperature rise</p> <p>pressure difference</p>	<p>débit aspiré (air) pour $p_1 = 1,0$ bar et $t_1 = 20^\circ\text{C}$</p> <p>vitesse du rotor principal</p> <p>vitesse de l'arbre d'entraînement</p> <p>puissance absorbée à l'accouplement</p> <p>élévation de température</p> <p>pression différentielle</p>
<p>Leistungsdiagramm - Überdruck - für Drehkolbengebläsestufe performance diagram - overpressure - for stage of rotary piston blower courbes de fonctionnement - fonctionnement en pression - pour étage de surpresseur à pistons rotatifs</p>		

GM 10 S

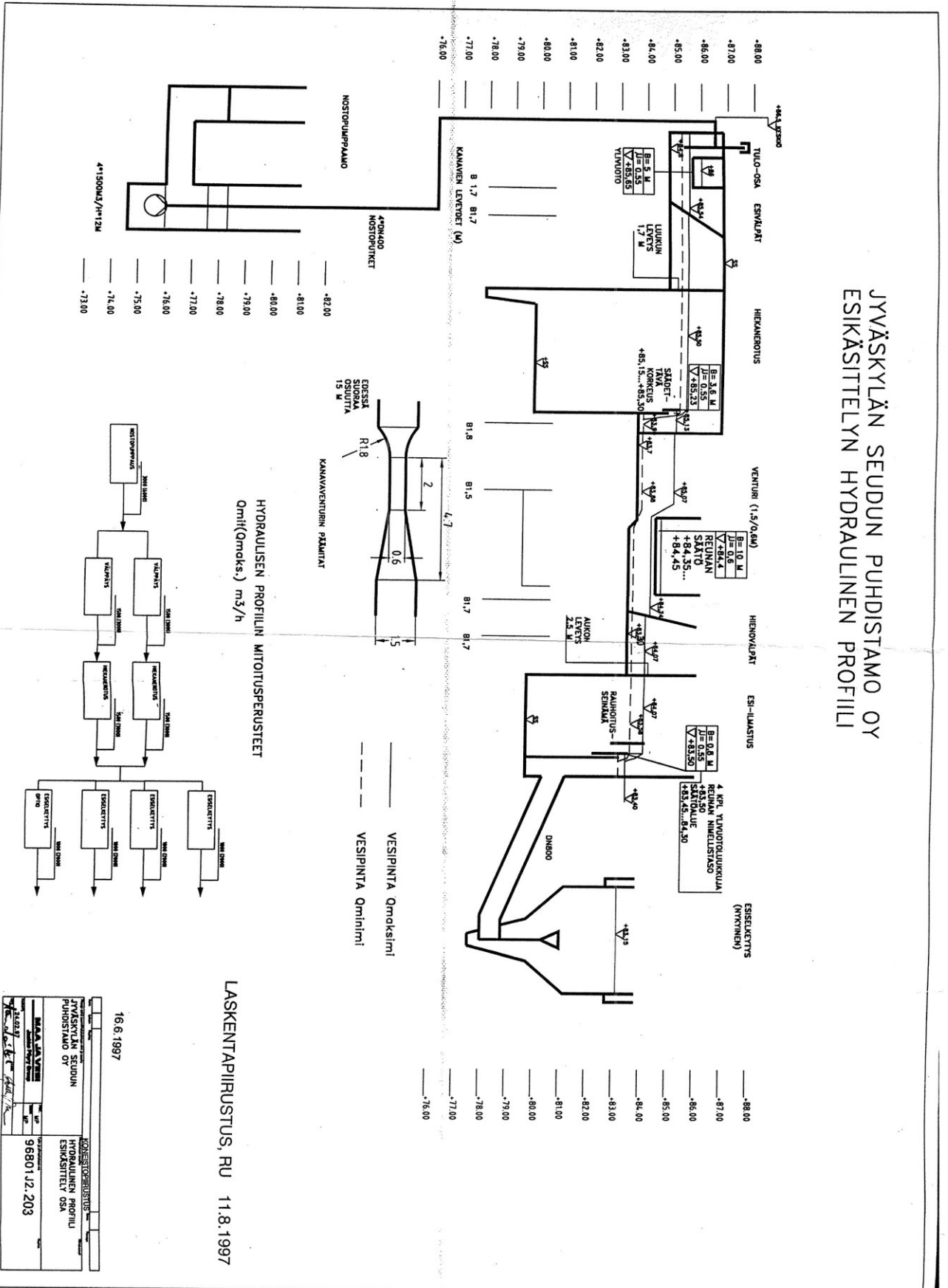
$n_V / n_{HR} = 1$	04/2016 TRD - Halleemann	G2 - 408 - XL SAP - 4000323901 - 01
--------------------	-----------------------------	--

4000323901 | ZTD | 01
Aerzener Maschinenfabrik GmbH
 Reherweg 28 - D-31855 Aerzen - Telefon (0 51 54) 81 0 - info@aerzener.de - www.aerzener.com

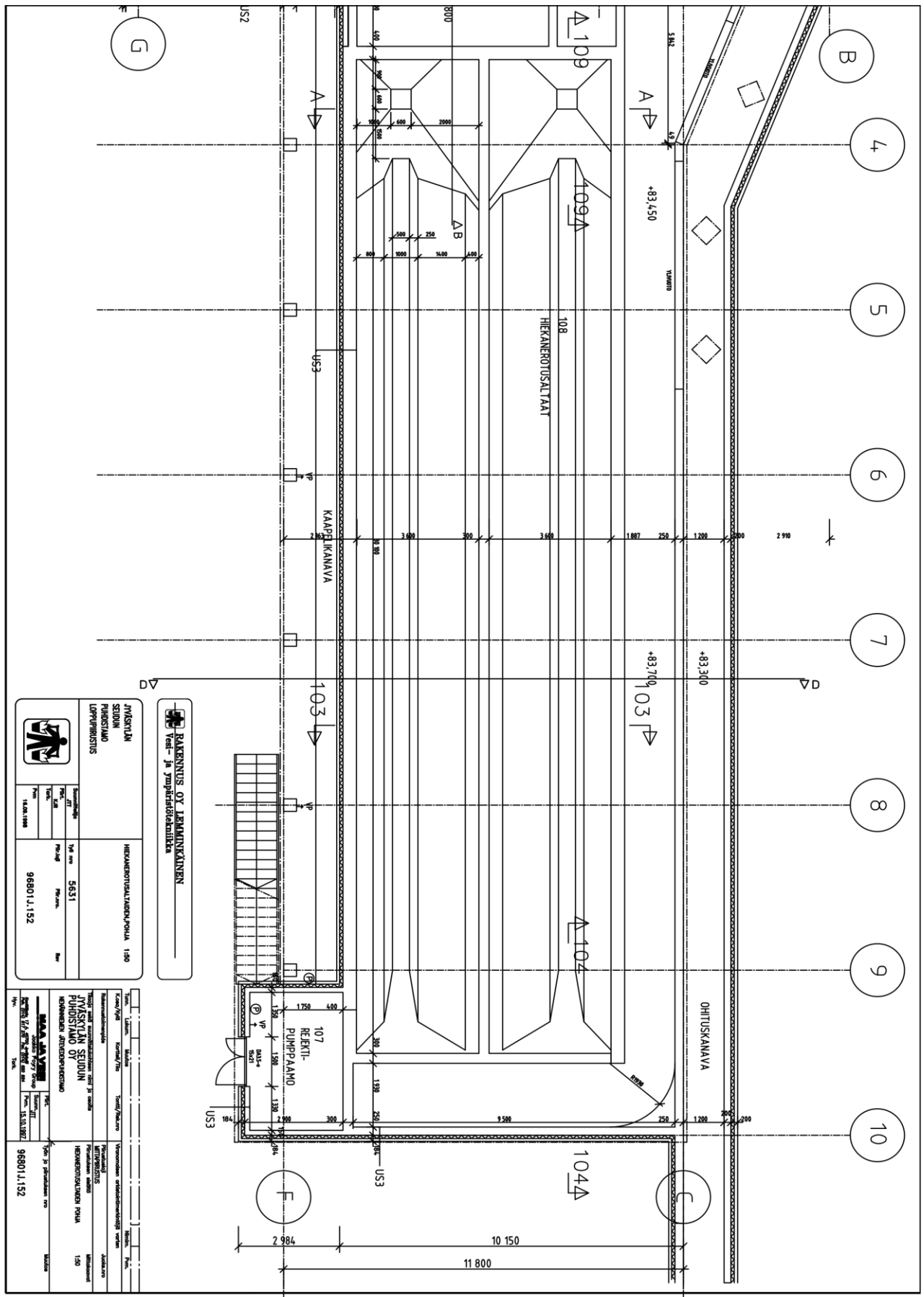



Liite 2. Jyväskylän Seudun Puhdistamo Oy:n esikäsittelyn hydraulinen profiili

JYVÄSKYLÄN SEUDUN PUHDISTAMO OY
ESIKÄSITTELYN HYDRAULINEN PROFIILI



Liite 3. Hiekanerotusaltaan mittoja



 <p>RAKENNUS OY LEMMINKÄINEN Vesi- ja ympäristötekniikka</p>		<p>YRITYKSEN SEINÄMÄN PÖHKKIÄ LÄMPÖERISTYS</p>		<p>HEIKKILÄN OY PÖHKKIÄ LÄMPÖERISTYS</p>	
<p>Yhteyshenkilö Pasi Laitinen Puh. 040 1999</p>		<p>Yht. nro. 5631</p>		<p>Proj. nro. 95801.1.152</p>	

<p>Yhtiön nimi: RAKENNUS OY LEMMINKÄINEN Yhtiön osoite: Yhtymäkatu 1, 00500 Helsinki Yhtiön puhelin: 040 1999</p>		<p>Yhtiön rekisteröintinumero: 1510000-1 Yhtiön perustamisvuosi: 1995</p>	
<p>Yhtiön johtaja: Yrjö Lemminkäinen Yhtiön tekninen johtaja: Yrjö Lemminkäinen</p>		<p>Yhtiön talousjohtaja: Yrjö Lemminkäinen Yhtiön myyntijohtaja: Yrjö Lemminkäinen</p>	

Liite 4. Hiekanerotusaltaan pohjan mittoja

