



VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU
VASA YRKESHÖGSKOLA
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Milla Vesala

JÄLKISUODATUSYKSIKÖN KEMI-
KAALIEN JA OLOSUHTEIDEN
OPTIMOINTI

Tekniikka ja liikenne
2014

TIIVISTELMÄ

| | |
|--------------------|---|
| Tekijä | Milla Vesala |
| Opinnäytetyön nimi | Jälkisuodatusyksikön kemikaalien ja olosuhteiden optimointi |
| Vuosi | 2014 |
| Kieli | suomi |
| Sivumäärä | 48 + 1 liite |
| Ohjaaja | Pekka Steñ |

Pättin jäteveden puhdistamolla otettiin käyttöön vuonna 2012 tyypeä poistava jälkisuodatuslaitos. Jälkisuodatuksessa on DynaSand-hiekkasuodattimia, jotka poistavat puhdistettavasta jätevedestä typen lisäksi fosforia ja kiintoainetta. Hiilenlähteeksi denitrifikaatiobakteereille syötetään metanolia ja saostuskemikaalia käytetään kiintoaineen sekä fosforin poistoon. Työn tarkoituksena oli optimoida kemikaalien määriä ja olosuhteita jälkisuodatuslaitoksessa.

Saostuskemikaalina jälkisuodatusyksikköön kokeiltiin astiakokeiden perusteella ferrisulfaattia (PIX-105), kun laitoksen käyttöönoton jälkeen saostuskemikaalina on käytetty polyalumiinikloridi (PAX-XL100). Metanolin annostusta yritettiin optimoida sopivaksi. Neljän metrin paksuiselle hiekkapatjalle haettiin myös toimivaa pesuaikaa, jolla saataisiin parhaat puhdistustulokset.

PIX ei toiminut saostuskemikaalina halutulla tavalla ja sen tilalla jatkettiin PAX:in käyttöä saostuskemikaalina. PIX:iä syötetään esiselkeytykseen, jossa se toimii hyvin. Metanolin määrää säädetään rajoittamalla orgaanisen hiilen pitoisuus 20 mg/l tasolle, jolloin lupaehtojen mukaiset BOD_{7ATU} -arvot pysyvät alle 10 mg/l. Hiekkapatjan pesuajaksi on säädetty tällä hetkellä 35 minuutin pesu ja 25 minuuttia hiekkapatja lepää ennen uuden pesusyklin alkamista.

ABSTRACT

| | |
|--------------------|---|
| Author | Milla Vesala |
| Title | Optimising Chemicals and Conditions in the After-treatment Unit |
| Year | 2014 |
| Language | Finnish |
| Pages | 48 + 1 Appendix |
| Name of Supervisor | Pekka Steñ |

A nitrogen removal after-treatment unit was introduced in the Pääts wastewater treatment plant in 2012. There are DynaSand-sand filters in the after-treatment unit, which removes nitrogen, phosphorus and suspended solids from the wastewater. Methanol is fed as a carbon source for the de-nitrification bacteria and precipitation chemical is used for the removal of phosphorus and suspended solids. The aim of this thesis was to optimize the amounts of chemicals and the conditions in the after-treatment unit.

As a precipitation chemical was used ferric sulphate, (PIX-105), on the basis of jar tests. When the after-treatment unit was introduced in 2012, polyaluminium chloride, (PAX-XL100), was used as precipitation chemical. The dosage of methanol was tried to optimize suitable. The optimum operative time for the washing was sought for the four meters thick sand bed to get the best cleaning results.

The use of PIX as a precipitation chemical did not work as desired. Instead of PIX PAX is used as a precipitation chemical as it was used earlier. PIX is fed into the presedimentation, where it works well. The dosage of methanol is regulated in amount of total organic carbon. Amount of total organic carbon level should be 20 mg/l, when the permitted BOD_{7ATU} levels remain below 10 mg/l. Suitable washing time for the sand bed at the present time is 35 minutes to wash and another 25 minutes the sand bed rests until the new wash cycle begins.

| | |
|----------|---|
| Keywords | After-treatment, DynaSand, nitrification, de-nitrification, flocculation chemical |
|----------|---|

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

LYHENNE- JA TERMILUETTELO

KUVIO- JA TAULUKKOLUETTELO

| | | |
|---|---|----|
| 1 | JOHDANTO | 10 |
| 2 | PÄTTIN JÄTEVEDENPUHDISTAMO | 11 |
| | 2.1 Kuvaus puhdistamon toiminnasta | 12 |
| | 2.2 Ympäristölupaehdot | 14 |
| | 2.3 Päivittäinen käytönvalvonta | 14 |
| 3 | TYPENPOISTO | 16 |
| | 3.1 Nitrifikaatio | 16 |
| | 3.2 Denitrifikaatio | 18 |
| | 3.3 Denitrifikaation vaatimat hiilen lähteet | 20 |
| 4 | DENITRIFIOIVAT BIOLOGISET SUODATTIMET | 21 |
| | 4.1 Suodatintyypit | 21 |
| | 4.2 Käyttökustannukset | 22 |
| 5 | DYNASAND-TYPENPOISTOLAITTEET | 23 |
| | 5.1 Dynasand-typenpoistolaitteet Suomessa ja ulkomailla | 23 |
| | 5.2 Dynasand-suodattimen toiminta | 25 |
| | 5.3 Hiekkapatjan pesu | 27 |
| | 5.3.1 Hiekan raekoko | 27 |
| | 5.3.2 Pesuvesivirtaus | 28 |
| | 5.3.3 Hiekan kierto | 28 |
| 6 | KEMIKAALIEN KÄYTTÖ JÄLKISUODATUSYKSIKÖSSÄ | 30 |
| | 6.1 Metanoli | 30 |
| | 6.2 Saostuskemikaalit | 31 |
| | 6.2.1 Ferrisulfaatti, PIX | 33 |
| | 6.2.2 Polyalumiinikloridi, PAX | 34 |

| | | |
|-----|--|----|
| 7 | KEMIKAALIEN OPTIMOINTIA JA MUITA VAIKUTTAVIA TEKIJÖITÄ | |
| | | 36 |
| 7.1 | PIX-PAX-kokeet..... | 36 |
| 7.2 | PIX saostuskemikaalina jälkisuodatuksessa | 38 |
| 7.3 | Vaikutukset typen-, fosforin- ja kiintoaineenpoistoon..... | 40 |
| 7.4 | Näytteet hiekkapatjan eri kerroksista | 41 |
| 7.5 | Happipitoisuuksien vaikutus | 42 |
| 7.6 | Hiekkapatjan pesuaika | 43 |
| 8 | TULOSTEN TARKASTELU JA JOHTOPÄÄTÖKSET..... | 45 |
| | LÄHTEET..... | 47 |
| | LIITTEET | |

LYHENNE- JA TERMILUETTELO

| | |
|-------------------|--|
| BOD_{7ATU} | Orgaanisen aineen hapettamiseen kuluva hapen määrä seitsemän vuorokauden aikana |
| COD_{Cr} | Kemiallinen hapenkulutus mittaa vedessä olevien kemiallisesti hapettuvien orgaanisten aineiden määrää |
| Alkaliteetti | Veden kyky vastustaa pH:n muutosta happoa lisätessä |
| Kokonaistyyppi | Veden kokonaistyyppipitoisuus sisältäen kaikki typen esiintymismuodot |
| Nitrifikaatio | Biologinen prosessi, jossa nitrifikaatiobakteerit hapettavat ammoniumtyyppiä nitraattitypeksi. Typenpoiston ensimmäinen vaihe |
| Denitrifikaatio | Biologinen prosessi, jossa anaerobiset bakteerit pelkistävät nitraatti- ja nitriittitypen typpikaasuksi. Typenpoiston toinen vaihe |
| PIX | Ferrisulfaatti, saostuskemikaali, jota käytetään saostamaan vedestä fosforia ja kiintoainetta |
| PAX | Polyalumiinikloridi, saostuskemikaali, jota käytetään saostamaan vedestä kiintoainetta ja fosforia |
| DynaSand-suodatin | Suodattimessa suodatusmateriaalina on hiekka, jota pestään jatkuvatoimisesti kierrättämällä hiekkaa mammuttipumppauksen avulla |
| Mammut-pumppu | DynaSand-suodattimessa oleva pumppu, joka pesee hiekkaa |

KUVIO- JA TAULUKKOLUETTELO

KUVIOT

| | | |
|------------------|--|------|
| Kuvio 1. | Påttin puhdistamo | s.11 |
| Kuvio 2. | Påttin puhdistamon prosessikaavio | s.13 |
| Kuvio 3. | Jälkisuodatuslaitos | s.24 |
| Kuvio 4. | Mammut-pumppu | s.26 |
| Kuvio 5. | Hiekkapesuri ja sen ympärillä olevat hiekan- mittauspisteet | s.29 |
| Kuvio 6. | Metanolin syötön asetusarvot | s.30 |
| Kuvio 7. | Alumiinin liukoisuuskuvaaja | s.32 |
| Kuvio 8. | Raudan liukoisuuskuvaaja | s.33 |
| Kuvio 9. | PIXin syötön asetusarvot | s.34 |
| Kuvio 10. | PAX:in syötön asetusarvot | s.35 |
| Kuvio 11. | PIX-PAX-kokeiden tuloksista kuvia | s.37 |
| Kuvio 12. | Online-mittaustuloksia jälkisuodatusyksikössä | s.39 |
| Kuvio 13. | Tammikuussa (1.–7.1.2014) jälkisuodatusyksikössä mitattuja pitoisuuksia | s.40 |
| Kuvio 14. | Typenpoiston tehokkuus ja lämpötilojen vaikutukset | s.41 |

TAULUKOT

| | |
|---|------|
| Taulukko 1. Lupaehdot 1.7.2012 alkaen. | s.14 |
| Taulukko 2. Liuenneen hapen pitoisuudet ja vaikutukset nitrifikaatioon | s.17 |
| Taulukko 3. Lämpötila ja vaikutukset nitrifikaatioon | s.18 |
| Taulukko 4. Saostuskokeen kemikaalit ja määrät | s.36 |
| Taulukko 5. Käyttölaboratoriossa analysoidut tulokset astiakokeiden näytteistä | s.38 |
| Taulukko 6. Happipitoisuudet jälkisuodatusyksikön tulokanavassa ja altaiden pinnalla | s.42 |

LIITELUETTELO**LIITE 1.** Näytteet hiekkapatjan eri kerroksista

1 JOHDANTO

Työn tarkoituksena oli selvittää, miten Pättin jätevedenpuhdistamon jälkisuodatusyksikössä tapahtuvaa denitrifikaatiota voisi optimoida kemikaaliannostelun ja vallitsevien olosuhteiden mukaan. Jälkisuodatuksessa on Dynasand-hiekka-suodattimia, jotka poistavat puhdistettavasta jätevedestä fosforia ja kiintoainetta. Lisäksi jälkisuodatusyksikössä tapahtuu myös biologinen typenpoisto, denitrifikaatio. DynaSand DENI -suodattimissa nitraatti pelkistetään bakteerien toimesta typpikaasuksi, jolloin käsiteltävästä vedestä saadaan poistettua typpeä ennen kuin puhdistettu vesi johdetaan mereen.

Jälkisuodatuksessa veteen lisätään saostuskemikaalia liukoisen fosforin ja kiintoaineen poistoa varten sekä lisäksi metanolia, joka toimii hiilenlähteenä denitrifikaatiossa. Saostuskemikaalina jälkisuodatusyksikössä käytettiin polyalumiinikloridia, joka vaihdettiin vuoden 2014 alussa rautakemikaaliin. Saostuskemikaalin määrää yritettiin säätää prosessin toiminnan kannalta parhaaksi. Lisäksi metanolin määrää yritettiin optimoida prosessiin sopivaksi. Rautakemikaalin syöttö jälkisuodatuksen yhteyteen ei toiminut halutulla tavalla ja sen annostelu siirrettiin jo esiselkeysvaiheeseen, jossa sen käyttö osoittautui toimivammaksi. Polyalumiinikloridia syötetään jälkisuodatuksen tarvittaessa.

2 PÄTTIN JÄTEVEDENPUHDISTAMO

Vaasan Palosaarella sijaitsevassa Pättin puhdistamossa puhdistetaan koko Vaasan jätevedet sekä lisäksi osa Mustasaaren ja Maalahden jätevesistä. Vuoden 2013 alusta lähtien myös Vähäkyrö kuuluu Vaasaan, mutta Vähäkyrössä puhdistetaan kunnan jätevedet omalla puhdistamolla. Pättin puhdistamolla käsiteltiin jätevettä vuonna 2013 6 768 503 m³ ja päivittäinen laitokselle tuleva virtaama oli noin 17000 m³. Laitokselle tulevaan päivittäiseen virtaamaan vaikuttaa olennaisesti sääolot, sillä sateet sekä keväällä lumien sulamisvedet kasvattavat huomattavasti virtaamaa.

Päivi Pelkonen kuvasi vuonna 2008 tekemässään diplomityössä Pättin jäteveden puhdistamolla tapahtuvat vesienkäsittelyprosessit varsin kattavasti /20/. Tämän jälkeen prosessissa on tapahtunut joitakin muutoksia. Puhdistamoa on saneerattu ja prosessiin on tullut lisäksi esiselkeytysvaihe, joka otettiin käyttöön keväällä 2011 sekä vuoden 2012 kesällä tyypeä poistava hiekkasuodatus. Saneerauksiin ovat vaikuttaneet muun muassa uusi ympäristölupa sekä kasvava jätevesien määrä.



Kuva 1. Pättin puhdistamo. (Vaasan Vesi)

2.1 Kuvaus puhdistamon toiminnasta

Pättin puhdistamolla käytössä oleva prosessi koostuu seuraavista vaiheista: tulopumppaus, esikäsitely, esiselkeytys, ilmastus, jälkiselkeytys, hiekkasuodatus, floataatio ja lietteenkuivaus.

Laitokselle tulee tulopumppaamon kautta kaksi kolmasosaa jäteveden kokonaisuudesta. Loput jätevedet tulevat Fennon ja Onkilahden pumppaamoiden kautta suoraan prosessiin. Pumppaamolta laitokselle saapuva jätevesi johdetaan esikäsitelyyn, jossa jätevedestä poistetaan kiinteät jätteet porrasvälillä ja hiekka, rasvat ja öljyt hiekanerotusaltaissa. Hiekanerotusaltaissa on pohjassa ilmastus, jolla rasvat ja öljyt saadaan erotettua tulevasta jätevedestä ja hiekka laskeutuu pohjalle.

Tästä jätevesi johdetaan esiselkeytysaltaisiin, jossa tarkoitus on rauhoittaa veden virtaamaa siten, että vedessä olevaa kiintoainetta saadaan laskeutumaan altaan pohjalle. Osa laitokselle tulevasta kuormasta saadaan poistettua tässä vaiheessa. Pinnalle jäävä esiselkeytetty vesi johdetaan seuraavaan osaprosessiin. Pohjalle laskeutunut liete johdetaan tiivistämöön lietteenkäsittelyä varten. Biologisen prosessin ylijäämäliete ja jälkikäsitely-yksikön hiekan pesuvesi johdetaan myös esiselkeytykseen. Esiselkeytystä voidaan tarvittaessa tehostaa saostuskemikaalilla

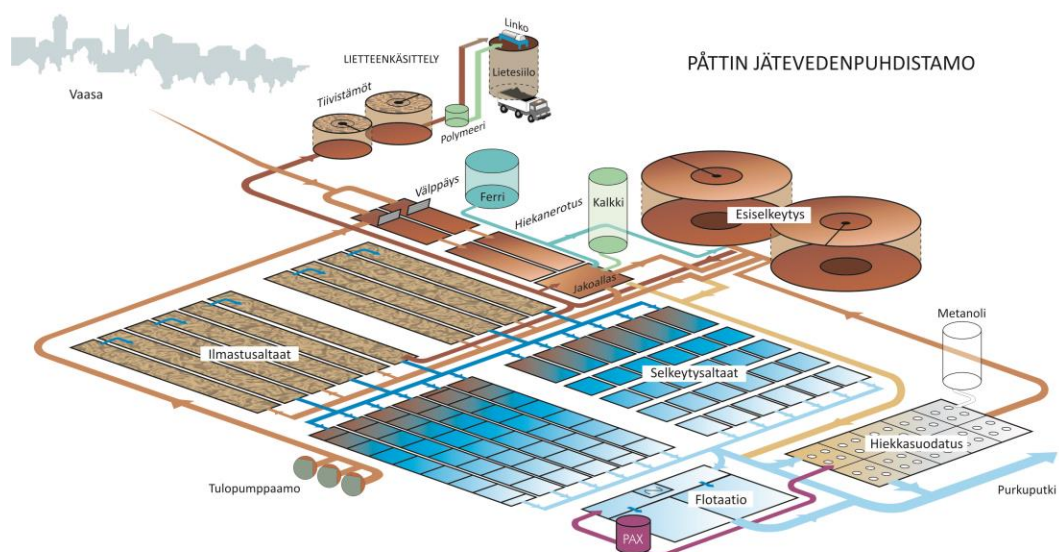
Esiselkeytyksestä vesi johdetaan ilmastusaltaisiin, jossa tapahtuu jäteveden biologinen käsittely. Ilmastusaltaissa bakteerit ja alkueläimet hajottavat orgaanisia lika-aineita ja typpibakteerit hapettavat ammoniumtyyppiä nitraattitypeksi. Saostuskemikaalia voidaan lisätä ilmastukseen menevään veteen, mutta esiselkeytysvaiheen valmistuttua sitä on käytetty vain tarvittaessa.

Ilmastuksen jälkeen jätevesi ohjataan selkeytysaltaisiin, jossa liete vajoaa pohjalle ja pintaan jää puhdistettu vesi. Palautusliete johdetaan esikäsitelyrakennukseen, josta se jaetaan ilmastusaltaisiin esikäsitellyn ja esiselkeytetyn veden mukana. Ylijäämäliete pumpataan suoraan ilmastusaltaasta tai palautuslietekanavasta esiselkeytykseen ja sieltä raakalietteen mukana lietteenkäsittelyyn.

Tämän jälkeen vesi pumpataan jälkikäsittely-yksikköön, jossa on tyypeä poistava hiekkasuodatin. Hiekkapatjan paksuus on 4 metriä ja laitos koostuu 40:stä toisiinsa liitetystä suodatinyksiköistä, joissa jokaisessa on hiekkaa pesevät mammut-pumput. Jälkisuodatusyksikköön menevään veteen lisätään metanolia, joka toimii hiilen lähteenä denitrifikaatiossa. Tarvittaessa voidaan lisätä myös saostuskemikaalia esimerkiksi polyalumiinikloridia. Hiekkasuodatin poistaa puhdistetusta jätevedestä tehokkaasti loput kiintoaineet ja siihen kiinnittyneet epäpuhtaudet sekä lisäksi se tehostaa fosforin poistoa.

Prosessia täydentää flotaatiolaitos, jota käytetään vain ongelmatilanteissa esimerkiksi sade- ja sulamisvesien kuormittaessa laitosta. Flotaatiossa veteen lisätään saostuskemikaalia ja dispersioivettä, jolloin liete saadaan nostettua pintaan ja alapuolella oleva vesi päästetään mereen.

Laitoksella käsitellään myös liete, jota pumpataan esiselkeytysaltaista ja flotaatiosta tiivistämöön. Tiivistettyyn lietteeseen lisätään polymeeria ylimääräisen veden poistamiseksi ja tämän jälkeen liete lingotaan. Lingottu liete kuljetetaan Stormosenin jätteenkäsittelylaitokselle mädätettäväksi, jossa lietteestä tehdään biokaasua /8; 27/.



Kuva 2. Pättin puhdistamon prosessikaavio. (Vaasan Vesi)

2.2 Ympäristölupaehdot

Uudet ympäristölupaehdot astuivat voimaan 1.7.2012, joiden mukaan tiettyjen päästösuureiden puhdistustehovaatimukset ja enimmäispitoisuudet kiristyivät. Biologisen hapenkulutuksen enimmäismäärä laskee 10 mg/l:aan ja puhdistustehon on oltava 95 % vuositasolla. Kemiallisen hapenkulutuksen puhdistusteho täytyy olla vuositasolla 85 %. Fosforin enimmäispitoisuus saa olla 0,3 mg/l ja puhdistustehon on oltava 95 % vuositasolla. Kokonaistypenpoisto tuli uutena vaatimuksena lupaehtoihin; 70 % puhdistustehoon vuositasolla. Taulukossa 1. on esitetty voimassa olevat lupaehdot.

Taulukko 1. Lupaehdot 1.7.2012 alkaen. Suluissa vanhat vaatimukset.

| Päästösuure | Enimmäismäärä (mg/l) | Puhdistusteho (%) |
|--------------------------|----------------------|-------------------|
| <i>BOD</i> ₇ | 10 (15) | 95 (92) |
| <i>COD</i> _{Cr} | 75 | 85 (75) |
| Fosfori | 0,3 (1) | 95 (92) |
| Typpi | - | 70 |

2.3 Päivittäinen käytönvalvonta

Puhdistamolla on myös oma käyttölaboratorio, jossa tehdään päivittäin tietyt analyysit jätevedestä. Päivittäiset analyysit tehdään vuorokauden kokoomänäytteestä, joita otetaan sisään tulevasta ja lähtevästä jätevedestä. Näytteenotto tapahtuu tulovirtaukseen suhteutetusti siten, että jokaista tulevaa 100 m³ kohden otetaan 10 millilitran näyte.

Kahdesti viikossa analysoidaan myös esiselkeytyksestä lähtevä jätevesi sekä jälkisuodatusyksikköön menevä jätevesi. Vesistä analysoidaan pH, johtokyky, COD_{Cr}, kiintoaine, kokonaistyyppi, ammoniumtyppi, nitraattityppi, kokonaisfosfori, liukoi-

nen fosfori sekä alkaliteetti. Lisäksi ilmastusaltaiden lietteistä analysoidaan kiintoainepitoisuudet sekä 30 minuutin laskeuma päivittäin.

Vaasan kaupungin ympäristölaboratoriossa jätevesistä tehdään velvoiteanalyysit kaksi kertaa kuukaudessa. Velvoiteanalyysien lisäksi ympäristölaboratoriossa analysoidaan ylimääräisiä näytteitä noin kaksi kertaa kuukaudessa. Näytteistä tehdään samoja perusmäärityksiä kuin puhdistamon käyttölaboratoriossa sekä näiden lisäksi BOD_{7ATU} , raskasmetallit, bakteerit ja jäännösrauta.

Laitoksella on runsaasti jatkuvatoimisia mittalaitteita prosessin eri vaiheissa, joilla voidaan tarkkailla muun muassa pH:ta, sameutta, lämpötilaa, lietepitoisuutta, kiintoainepitoisuutta, nitraattipitoisuutta, liukoisen ja kokonaisfosforin pitoisuutta ja orgaanisen hiilen määrää.

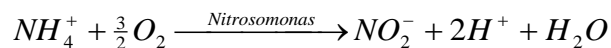
3 TYPENPOISTO

Käsittlemättömässä jätevedessä typpi on orgaanisiin yhdisteisiin, etupäässä valkuaisaineisiin ja virtsa-aineiseen sitoutuneena (50 %) ja ammoniumioneina (50 %). Vesistöihin tulee huomattavasti enemmän typpeä maataloudesta ja sateiden mukana kuin asumajätevesistä tai teollisuudesta. Typpeä tulee asumajäteveteen noin 12–15 grammaa asukasta kohden vuorokaudessa./28, 89/. Käsittlemätön jätevesi sisältää hyvin vähän nitriittiä tai nitraattia. Jätevesien typenpoisto voidaan toteuttaa erilaisilla kemiallisilla, fysikaalisilla sekä biologisilla menetelmillä/21, 18/. Typpiyhdisteet eivät muodosta saostuvia suoloja, joten ne voidaan poistaa biologisesti /13, 91/. Biologinen nitrifikaatio-denitrifikaatio on yksi typen poiston käytetyimmistä menetelmistä. Biologiset typenpoistoprosessit toteutetaan yleensä joko aktiivilietemenetelmään perustuvina, suodatinmenetelmään perustuvina tai näiden yhdistelminä /21, 18/.

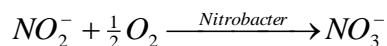
Jätevesien typenpoiston tavoitteena on estää vesistöjen rehevöitymistä, varsinkin silloin, kun typpi on minimitekijä. Lisäksi tavoitteena on vähentää hapenkulutusta vesistöissä, sillä ammoniumtypen hapettamiseen kuluu suunnilleen saman verran happea kuin mitä käsittlemättömän jäteveden biokemiallinen hapenkulutus vaatisi. Tavoitteena on myös säilyttää vesistöjen puskurikapasiteetti, koska ammoniumtypen hapettaminen kuluttaa veden alkaliteettiä /28, 89/.

3.1 Nitrifikaatio

Nitrifikaatio on aerobinen biologinen prosessi, jossa hiilidioksidia hiilen lähteenä käyttävät bakteerit hapettavat ammoniumtypen nitriitin kautta nitraatiksi /23, 11/. Nitrifikaatio on kaksivaiheinen prosessi. *Nitrosomonas*-bakteerit muuttavat ammoniakkin ja ammoniumin nitriitiksi.



Tämän jälkeen *Nitrobacter*-bakteerit muuttavat nitriitin nitraatiksi.



Nämä reaktiot kytkeytyvät yhteen ja tapahtuvat nopeasti lopputuotteen ollessa nitraattia, jolloin nitriittitaso jää varsin matalaksi /16, 695–696/. Nitrifikaatiossa kuluu noin 4,6 grammaa happea ja 0,14 mol alkaliteettia hapettunutta ammoniumtyppigrammaa kohti /23, 11/.

Nitrifioivat bakteerit tarvitsevat riittävästi liennutta vapaata happea toimiakseen. Nitrifikaatio tapahtuu yleensä aerobisissa olosuhteissa ja suotuisa liuenneen hapen pitoisuus on 1,0 mg/l tai enemmän /4/. Jos liuenneen hapen määrä putoaa tämän alle, hapestusta tulee rajoittava ravinne ja nitrifikaatio joko hidastuu tai pysähtyy /16, 341/.

Taulukko 2. Liuenneen hapen pitoisuudet ja vaikutukset nitrifikaatioon /3, 85/.

| Liuennut happi (mg/l) | Vaikutukset nitrifikaatioon |
|-----------------------|---|
| < 0,5 | Nitrifikaatio käynnissä, mutta se on merkityksetöntä |
| 0,5 – 0,9 | Nitrifikaation määrä alkaa kiihtyä |
| 1,0 – 2,0 | Nitrifikaation määrä on merkittävää |
| 2,1 – 2,0 | Nitrifikaatio on jatkuvaa |
| 3,0 | Nitrifikaation määrä on maksimaalinen |
| > 3,0 | Nitrifikaatio saattaa kohentua, mikäli organotrofiset bakteerit poistavat cBOD:tä nopeammin |

Nitrifioivat bakteerit ovat herkkiä eliöitä ja ne ovat erittäin alttiita laajalle joukolla inhibiittoreita. Erilaiset orgaaniset ja epäorgaaniset tekijät voivat estää bakteerien kasvua ja niiden eliöiden toimintaa. Suuret ammoniakki- tai typpihappopitoisuudet voivat olla tällaisia inhibiittoreita raskasmetallien ja muiden toksisten yhdisteiden lisäksi /16, 431/.

pH:n vaikutus nitrifikaatioon on merkittävä. Nitrifikaatioprosessi tuottaa happoa ja hapon muodostuminen alentaa biologisen populaation pH:ta ilmastusaltaassa. Tämä on toksista nitrifioiville bakteereille ja se saattaa vähentää bakteerien kasvunopeutta. Optimi pH-alue *Nitrosomonas*- ja *Nitrobacter*-bakteereille on 7,5 ja 8,5 välillä. Monet laitokset pystyvät kuitenkin tehokkaaseen nitrifointiin pH:n ollessa 6,5–7,0 välillä. Nitrifikaatio pysähtyy pH:n pudotessa alle arvon 6 /4/.

Lämpötilalla on myös suuri merkitys nitrifioivien bakteerien kasvuun. Nitrifikaatio lähestyy huippuarvoja lämpötilan ollessa 30–35°C. Alle 20°C:n lämpötilassa nitrifikaationopeus hidastuu, mutta se jatkuu aina 10°C:n lämpötiloihin saakka. Tätä kylmemmässä jätevedessä nitrifikaatio hiipuu ja se elpyy jälleen lämpötilan noustessa suotuisalle tasolle.

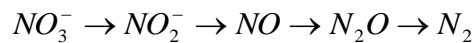
Taulukko 3. Lämpötila ja vaikutukset nitrifikaatioon /3, 83/.

| Lämpötila (°C) | Vaikutus nitrifikaatioon |
|----------------|---|
| 30 | Optimaalinen lämpötila nitrifikaatiolle |
| 15 | ~ 50 % optimimääräisestä nitrifikaatiosta |
| 10 | ~ 20 % optimimääräisestä nitrifikaatiosta |
| 5 | Nitrifikaatio loppuu |

3.2 Denitrifikaatio

Typen poiston toinen vaihe on denitrifikaatio, jossa nitraatti (NO_3^-) pelkistyy typpikaasuksi (N_2) poistuen ilmakehään, jolloin laitokselta lähtevän jäteveden kokonaistypen määrä vähenee. Fakultatiiviset heterotrofiset bakteerit eli eloperäisiä yhdisteitä hiilen- ja energianlähteinä käyttävät osallistuvat denitrifikaatioon ja näitä ovat mm. *Achromobacter*-, *Aerobacter*-, *Alcaligenes*-, *Basillus*-, *Brevibacterium*-, *Flavobacterium*-, *Lactobasillus*-, *Micrococcus*-, *Proteus*-, *Pseudomonas*-

ja *Spirillum*- bakteerit. Heterotrofiset bakteerit pelkistävät nitraatin kaksivaiheisessa prosessissa ensin nitriitiksi ja sen jälkeen typpimonoksidiksi, typpioksiduuliksi ja typeksi alla olevan reaktion mukaan:



Denitrifioivat bakteerit ovat fakultatiivisia organismeja, joten ne voivat käyttää joko liuennutta happea tai nitraattia metabolian hapen lähteenä ja orgaanisen aineen hapettamiseen. Jos liukoista happea ja nitraattia on läsnä, bakteerit käyttävät liukoisen hapen ensin /16, 432–433/.

Denitrifikaatio tapahtuu, kun happitaso ehtyy ja nitraatista tulee ensisijainen hapenlähde mikro-organismeille. Prosessi tapahtuu hapettomissa olosuhteissa. Typpikaasu liukenee huonosti veteen, joten se nousee kuplina ilmakehään. Typen vapautuminen ilmakehään ei aiheuta ympäristöhaittoja, sillä ilmakehässä on eniten typeä /16, 432–433/. Denitrifikaatiossa alkaliniteetti lisääntyy 0,07 mol jokaista pelkistynyttä typpigrammaa kohti. Tällöin nitrifikaatiossa kuluneesta alkaliniteetista saadaan puolet takaisin, jos nitrifikaatiossa muodostunut nitraatti myös denitrifioituu /23, 12/.

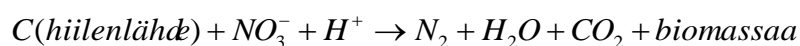
Lisäksi denitrifikaatioreaktio tarvitsee jonkin hiilenlähteen toimiakseen ja hiilen lähteet voidaan jakaa sisäisiin ja ulkoisiin lähteisiin. Sisäisillä hiilen lähetillä tarkoitetaan jäteveden omaa orgaanista sisältöä, jota käytetään nitraatin pelkistämiseen. Orgaanisen aineen koostumuksella on suuri merkitys denitrifikaation nopeuteen. Liukoiset aineet omaavat suuren denitrifikaationopeuden sekä lisäksi pienimolekyylisillä aineilla on suuri denitrifikaationopeus. Sisäisiä hiilen lähteitä käyttämällä päästään harvoin yli 50 prosentin kokonaistypenpoistoon. Ulkoiseksi hiilen lähteeksi valitaan sellainen aine, joka on biologisesti helposti hajoavaa kuten esimerkiksi metanoli /10, 78–84/. Optimaalinen denitrifikaatio saavutetaan, kun ainemääräsuhte hiilen, typen ja fosforin, (C : N : P), välillä on noin 100: 5 : 1 /19/.

Denitrifikaation tehokkuuteen vaikuttavat nitraattipitoisuus, hapettomat olosuhteet, orgaanisen aineen määrä, pH, lämpötila, alkaliteetti ja jäännösmetallit. Denitrifikaatio nostaa veden pH:ta. Tärkeimmät ravinteet denitrifioivien bakteerien kannalta ovat typpi ja fosfori /3, 93/. Fosforia tarvitaan denitrifioivien bakteerien solujen kasvuun sekä hengitykseen /24/. Denitrifioivat eliöt kestävät yleensä paremmin toksisia kemikaaleja kuin nitrifioivat eliöt. Lämpötila vaikuttaa denitrifioivien eliöiden kasvunopeuteen siten, että korkeammissa lämpötiloissa myös kasvunopeus on suuri. Kesäaikaan bakteerit kasvavat nopeammin ja talvella bakteerien kasvu hidastuu. Kylmät vedet voivat rajoittaa denitrifikaatiota talvisaikaan. Denitrifikaatio tapahtuu lämpötilan ollessa 5 ja 30°C:en välillä /4/. Denitrifikaatio ei ole niin lämpötilariippuvainen kuin nitrifikaatio, sillä denitrifioivia bakteerilajeja on runsaasti ja niillä on erilaiset lämpötilavaatimukset /23, 12/.

3.3 Denitrifikaation vaatimat hiilen lähteet

Ulkoisena hiilenlähteenä denitrifikaatiossa on käytetty kirjallisuudesta löytyneiden tietojen perusteella muun muassa etanolia, metanolia, metaania, etikkahappoa, asetonia, tärkkelystä ja glykolia riippuen kyseisen laitoksen prosessin toiminnasta. Ulkoista hiilenlähdettä tulee lisätä jälkisuodatusyksikköön tulevaan veteen, koska hiiltä on jäljellä liian vähän muiden jätevedenkäsittelyn prosessivaiheiden jäljiltä. Tarvitsemansa hapen bakteerit ottavat nitraatilta ja hiilen metanolilta tai muulta hiilenlähteeltä. Näiden reagoidessa muodostuu typpikaasua, biomassaa ja hiilidioksidia /18/.

Reaktion kulku:



4 DENITRIFIOIVAT BIOLOGISET SUODATTIMET

Biologisten denitrifioivien suodattimien kehitystyö tapahtui pääasiassa 1990-luvulla ja varsinaiset suuret laitoshankkeet toteutettiin Suomessa 2000-luvun puolella. Suodattimien kehitystyöhön vaikuttivat kiristyvät ravinteiden poistovaatimukset. Yhdyskuntajätevedet ovat yleensä ravinnesuhteiltaan sen verran epäedullisia, että erilaisia teknisiä ratkaisuja tarvitaan tavoitteeseen pääsemiseksi. Tällä hetkellä tehokkain menetelmä on biologinen jälkisuodatin, jossa denitrifikaatio toteutetaan metanolin ja kantoaineen pinnalla kasvavan biomassan avulla. Mikrobisolujen kasvuun tarvitaan fosforia, joka sitoutuu sitten biomassaan ja poistuu samalla pesuvesien mukana. Tällöin voidaan saavuttaa jopa yli 90 prosentin reduktio ja jäännöstyppipitoisuuden suhteen päästään alle 5 mg/l. Fosforin suhteen jäännöspitoisuudeksi saavutetaan alle 0,3 mg/l. Biologisten suodattimien prosessinhjauksessa käytetään jatkuvatoimisia analysaattoreita, joiden avulla voidaan seurata tulevan ja lähtevän veden nitraattityppi- ja fosfaattifosforipitoisuuksia.

4.1 Suodatintyypit

Käytössä on tällä hetkellä kolme erilaista tekniikkaa, johon vaikuttavat laitosten käyttötilanne ja yksikkökoko. Kaikissa suodatintyypeissä suodatus tapahtuu alhaalta ylöspäin.

Biostyr-suodattimessa kantoainemateriaali on vettä kevyempää ja tästä johtuen suodattimen välipohja on massan yläpuolella. Suodattimen pesu tapahtuu jaksotain käyttämällä käsiteltyä vettä vastavirtaan.

Biofor-suodattimessa kantoainemateriaali on vettä raskaampaa ja suodattimen välipohja on massan alapuolella. Suodattimen pesu suoritetaan myötävirtaan jaksotain erillisestä käsitellyn veden altaasta pumpaamalla.

Dynasand-suodattimessa kantoainemateriaali on vettä raskaampaa. Suodattimen pesu tapahtuu jatkuvatoimisesti kierrättämällä kantoainemateriaalia mammutti-pumppauksen avulla /17/.

DynaSand-suodattimia on käytössä sekä yksittäisinä suodatusyksikköinä, että betonialtaisiin asennettuina suodatinmoduuleina. DynaSand-suodattimia käytetään kunnallisten vesi- ja jätevesilaitosten lisäksi prosessiveden ja teollisuuden jätevedenpuhdistukseen monilla aloilla, kuten esimerkiksi paperi-, sellu-, kaivos-, teräs-, pintakäsittely-, kemian- ja elintarviketeollisuudessa.

Dynasand-suodattimien avulla voidaan poistaa humusta pintavesistä, käsitellä pintavesi ennen imeytystä, poistaa rauta- ja mangaanisakka pohjavesien käsittelyprosessissa, erottaa kiintoaine teollisuuden kiertovesistä, poistaa öljy- ja valssaus-hilse terästeollisuuden jäähdytysvesistä, jälkisuodattaa jätevedet sekä poistaa fosfori ja typpi sekä poistaa värit ja hiilivedyt /7/.

4.2 Käyttökustannukset

Biologisen jälkisuodatuksen aiheuttamat lisäkäyttökustannukset koostuvat pääosin tulevan veden ja lietteiden pumppauksista sekä metanolin ja saostuskemikaalin annostuksesta. Yksikön käyttökustannuksien suurin menoerä on metanoli. Sen maailmanmarkkinahinta on vaihdellut huomattavasti vuosien aikana. Jos metanolin hinnaksi lasketaan 400 €/t, saadaan yhden typpikilon poistokustannuksiksi noin 2,0 euroa. Käsiteltyä jätevettä kohden vastaava lisäkäyttökustannus on noin 0,02 €/m³ jokaista poistettua 10 mg/l nitraattityppeä kohti /17/.

5 DYNASAND-TYPENPOISTOLAITTEET

Pättin puhdistamolle valmistui ja käyttöön otettiin vuonna 2012 jälkisuodatusprosessi, jossa on yhdistettynä myös biologinen typen poisto, denitrifikaatio. DynaSand DENI -suodattimessa nitraatti pelkistetään bakteerien toimesta typpikaasuksi. Lisäksi jälkisuodatuksessa on tarkoitus poistaa jätevedestä siinä vielä olevat kiintoaine- ja fosforihiukkaset altaiden hiekkapatjaan saostuskemikaalin avulla. Pesuvedessä olevat hiukkaset kulkeutuvat laitokselle puhdistettavaksi /15/.

5.1 Dynasand-typenpoistolaitteet Suomessa ja ulkomailla

Dynasand typenpoistolaitteita on Suomessa kunnallisilla puhdistamoilla Vaasan lisäksi Seinäjoella, Riihimäellä ja Somerolla. Denitrifioivia laitoksia on Vaasassa ja Somerolla. Pättin puhdistamo on kuitenkin pohjoisin laitos, jossa käytetään denitrifioivaa typenpoistolaitteistoa. Someron laitoksella Dynasand-suodattimia on 2 kappaletta 5 m² altaissa. Somerolla hiekkapatjan paksuus on 3 metriä. Seinäjoen ja Riihimäen laitoksilla ei ole denitrifioivaa jälkisuodatusta ja esimerkiksi Seinäjoella hiekkapatjan korkeus on kaksi metriä. Ulkomailla Dynasand typenpoistolaitteita on käytössä ainakin Ruotsissa, Hollannissa, Belgiassa, Englannissa ja Saksassa. Hiekkapatjojen korkeudet vaihtelevat runsaasti, sillä esimerkiksi Ruotsissa on käytössä 2,5 metrin korkuisia hiekkapatjoja, Saksassa 4 metrin hiekkapatjoja ja Englannista löytyy jopa 6 metrin korkuisia hiekkapatjoja.

Ruotsissa DynaSand-suodattimia on käytössä noin 50:llä jätevedenpuhdistamolla. Pelkkiä denitrifioivia jälkisuodatusyksiköitä ei ole käytössä Ruotsissakaan, vaan denitrifikaatio tapahtuu prosessin alkupäässä, koska jätevedet itsessään sisältävät riittävästi orgaanista hiiltä, joka voidaan käyttää hyödyksi denitrifikaatiossa /2/.



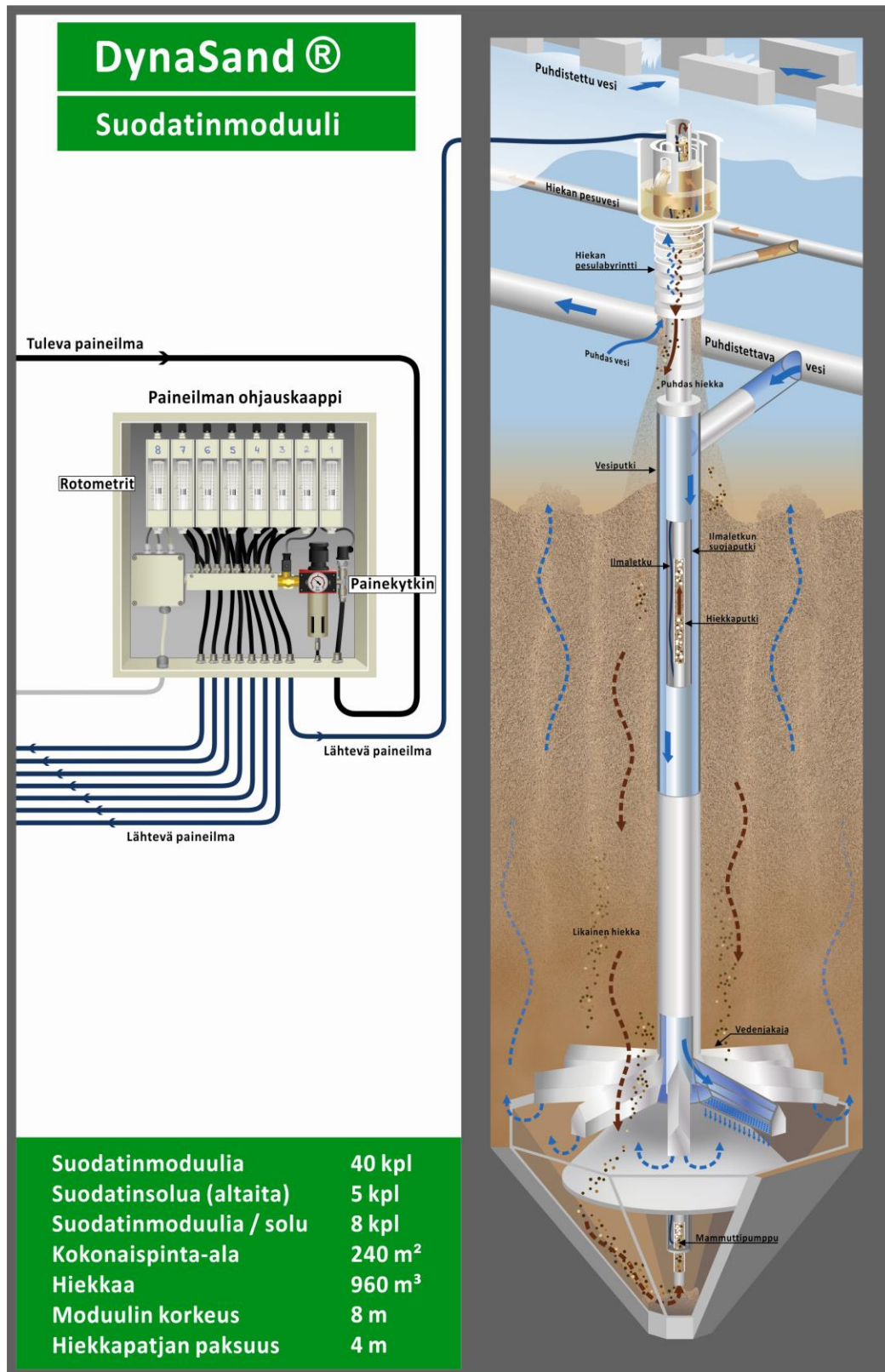
Kuva 3. Jälkisuodatuslaitos. (Vaasan Vesi)

5.2 Dynasand-suodattimen toiminta

DynaSand-suodatin on jatkuvatoiminen suodatin, joten sitä ei tarvitse pysäyttää vastahuuhtelua ja puhdistusta varten. Syötetty vesi suodattuu hiekkapatjassa ylöspäin ja hiekka liikkuu alaspäin. Likaantunut hiekka puhdistuu hiekan pesurissa yhtäaikaaisesti suodatusprosessin kanssa ja pesussa erotetut epäpuhtaudet poistuvat suodattimesta pesuveden mukana. Suodattimen teho on riippuvainen sisään syötetyn veden ominaisuuksista, kiintoaineen tyypistä ja pitoisuudesta sekä suodatetulle vedelle asetetusta tavoitteesta.

Pättin puhdistamolla jälkisuodatuslaitoksessa on 40 kappaletta DynaSand-suodatinta viidessä betonialtaassa, jotka on ryhmitelty altaissa kahteen riviin. Edellisellä sivulla on esitetty kuva puhdistamon jälkisuodatuslaitoksesta. Altaissa on myös 40 kappaletta Mammut-pumppuja. Seuraavan sivun kuvassa on esitetty Mammut-pumppu. Pumput pesevät jokaisessa altaassa olevaa hiekkapatjaa automaatioissa säädetyn ajan verran. Hiekan pesu tapahtuu paineilman avustuksella /15/.

DynaSand-suodatin toimii vastavirtaperiaatteella. Ennen kuin vesi johdetaan jälkisuodatusyksikköön, siitä erotetaan suurimmat esineet tai partikkelit, jotka voivat muuten häiritä hiekan kulkua suodattimessa tai tarttua venttiileihin tai putkiin. Vesi syötetään hiekkapatjaan syöttöputkesta ja vedenjakolaitteesta.



Kuva 4. Mammut-pumppu. (Vaasan Vesi)

Puhdistettava jätevesi johdetaan suodattimen alaosassa sijaitsevaan syötönjakajaan. Tästä vesi virtaa ylöspäin neljä metriä korkean hiekkapatjan läpi suodattuen hiekan liikkua alaspäin. Suodatettu vesi poistuu suodattimesta ylivuotoreunan ja poistoyhteen kautta.

Hiekkapetiin tarttuvat erilaiset epäpuhtaudet. Likaantunut hiekka siirretään pohjakartiosta mammuttipumpun avulla suodattimen yläosassa sijaitsevaan hiekanpesuriin. Suodatushiekkaa alkaa puhdistua mammuttipumpussa, koska sen voimakas turbulentti virtaus irrottaa lietehiukkasia hiekkarakeista. Tästä hiekka pääsee valumaan mammuttipumpun yläosassa sijaitsevaan tilaan, jossa tapahtuu hiekan pesu. Suodostilasta virtaa jatkuvasti pieni määrä vettä ylöspäin vastavirtaan poistuen suodattimesta poistoaukon kautta. Tämä vesi vie mennessään jäännösepäpuhtaudet, joita on vastaan valuvassa hiekkassa. Hiekkarakeet laskeutuvat hiekkapedille, joka on jatkuvassa liikkeessä hitaasti alaspäin suodattimen kartiopohjaa kohti. Altaan pinnalle muodostuu puhdistunut jätevesikerros, joka johdetaan altaiden välissä olevia kanavia pitkin purkuputken kautta mereen /5/.

5.3 Hiekkapatjan pesu

Hiekkapatjan pesuun on mahdollista valita joko normaali pesu tai tehopesu. Normaalisessa pesussa hiekkapatjaa pestään joko jatkuvalla pesulla tai säätämällä pesuaika esimerkiksi 15–30 minuuttiin allasta kohden. Pesun jaksoaika on yleensä 60 minuuttia, jolloin pesurit pesevät hiekkaa tietyn ajan ja loput ajasta hiekka lepää. Tehopesulla tarkoitetaan hiekan jatkuvaa pesua ja siinä hiekan kierto on suurempi kuin normaalissa pesussa. Tehopesua käytetään yleensä vain silloin, kun allas on tukkeutunut. Tehopesu saattaa kuitenkin tuhota bakteerikantaa hiekkapatjasta, jos sitä pidetään päällä kauan /15/.

5.3.1 Hiekan raekoko

Suodattimen hyvän toiminnan takaamiseksi käytettävän hiekan tulee olla hyväksyttyä laatua ja oikeaa raekokoa. Hiekan tulee olla kovaa, kestäväää ja kiinteäjyväistä luonnonhiekkaa koostuen kvartsista ja maasälvästä. Jälkisuodatusyksikön

hiekkaa on raekooltaan 1,2–2 mm. Ruotsalaistutkimuksen mukaan erilaisten suodatusvaihtoehtojen kokeilussa parhaaksi materiaaliksi osoittautui basaltti. Basaltti on tumma ja hienojakoinen vulkaaninen kivilaji. Basaltilla saatiin suurimmat reaktionopeudet ja se on materiaalina tarpeeksi tiheää, jolloin se toimi hyvin pesuysikössä. Jos hiekkaa käytetään, täytyy partikkelien olla tarpeeksi karheapintaisia, että bakteereille jää sopivia pintoja, eikä paineilmalla tapahtuva hiekanpesu poista liikaa biofilmiä. Yleisesti hiekka on käytetyin materiaali jälkisuodatusyksiköissä. Julkaistuissa tutkimusraporteissa käytettiin myös hiekkaa, joiden raekoot vaihtelivat 1,2–3 mm /1; 6 ; 22/.

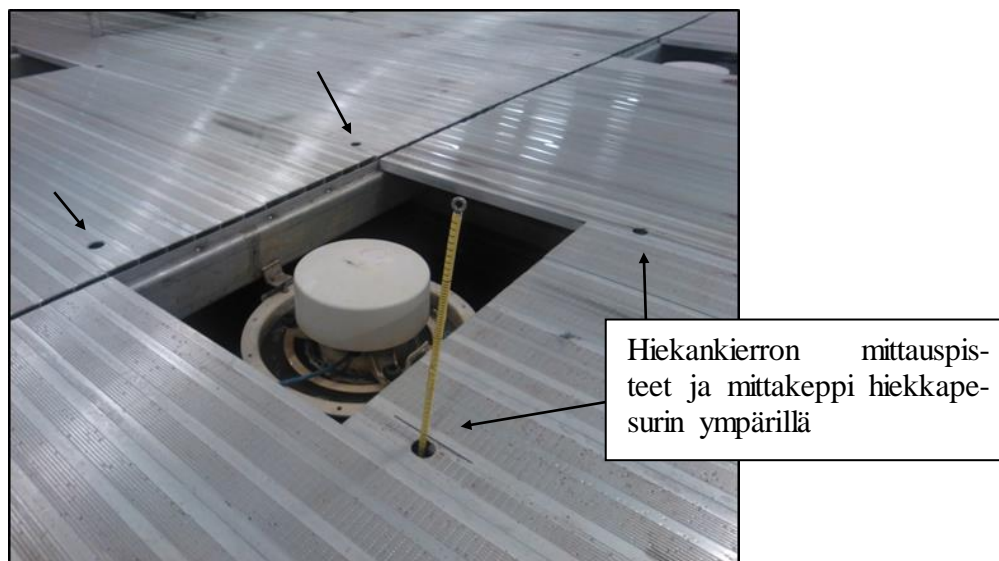
5.3.2 Pesuvesivirtaus

Laitetoimittajan ohjeiden mukaan pesuvesivirtauksen tulee olla 1,5–2-kertainen hiekan kiertomäärään verrattuna. Pesuveden määrää tarkkaillaan säännöllisesti, koska sen avulla voidaan seurata minkä verran pesuvettä kulkeutuu prosessista pois. Pesuvesivirtaus voidaan laskea käyttämällä apuna mittatulppatyökälyä, jolla mitataan pesuveden nousuaika mitta-asteikon alareunasta. Suodatuspinta-ala 40 suodattimella on 240 m² ja yhtä suodatinta kohden 6 m². Hiekan laskeutumisenopeus on esimerkiksi 7 mm/min., jolloin yhden suodattimen hiekkamäärä minuutissa on 6 m² × 7 mm/min. (hiekan kierto) = 42 l/min. Koska pesuvesivirtauksen tulee olla 1,5–2-kertainen, kerrotaan saatu lukema kahdella, jolloin tulokseksi saadaan 84 l/min. Laitetoimittajan ohjekansion taulukosta voidaan tarkistaa pesuveden määrä saadun tuloksen perusteella. Tarvittaessa voidaan säätää pesuveden määrää hiekan pesurissa olevan säätölevyn avulla. Pesuveden säätelyllä voidaan ehkäistä se, ettei pesuvettä poistu prosessista liikaa, koska tällöin saattaa huuhtoutua myös denitrifioivia bakteereja. Vastaavasti jos pesuvettä poistuu liian vähän, se saattaa aiheuttaa hiekkapatjan tukkeentumista /7/.

5.3.3 Hiekan kierto

Hiekan liikettä hiekkapatjan kaikissa osissa tulee tarkkailla, koska jos hiekka ei kierrä kunnolla se voi aiheuttaa hiekkapatjan tukkeentumista. Tämä saattaa vai-

kuttaa siten, että jälkisuodatuslaitoksesta lähtevä vesi on likaisempaa kuin sinne tuleva vesi. Hiekan kiertoa voidaan tarkistaa senttimetriasteikolla varustetun pitkän mittaustangon avulla. Hiekan liikkua alaspäin, mittaustanko seuraa mukana. Sekuntikellon avulla voidaan mitata kuinka monta millimetriä mittaustanko vajoaa minuutin aikana. Kun laskeutumisnopeus tiedetään, voidaan pesty hiekkamäärä laskea.



Kuva 5. Hiekkapesuri ja sen ympärillä olevat hiekanmittauspisteet. (Vaasan Vesi)

Hiekan kierto mitataan pumpun ympäriltä neljästä eri kohdasta, jotka löytyvät pumpun ympäriltä olevasta alumiinilevystä. Kuvassa 5. on esitetty hiekankierron mittaamista ja hiekkapesurin ympärillä olevia hiekanmittauspisteitä. Hiekankierron tulisi olla noin 7 mm/minuutissa normaalipesua käytettäessä /7; 15/.

6 KEMIKAALIEN KÄYTTÖ JÄLKISUODATUSYKSIKÖSSÄ

Jälkisuodatusyksikössä käytetään metanolia denitrifioivien bakteerien hiilenlähteenä sekä tarvittaessa saostuskemikaalia. Saostuskemikaaleina on käytetty ferrisulfaattia ja polyalumiinikloridia.

6.1 Metanoli

Metanoli on väritön neste, liuotin, joka on myrkyllistä ja helposti syttyvää. Lisäksi se liukenee täysin veteen /26/. Puhdistamon metanolirakennus valmistui ja otettiin käyttöön heinäkuussa 2012, jolloin metanolia alettiin syöttämään jälkisuodatusyksikköön menevään veteen. Laitoksen jätevedessä ei ole riittävästi orgaanista ainetta tuossa prosessivaiheessa, joten ulkoinen hiilenlähde tarvitaan denitrifikaation varmistamiseksi. Sopivan metanoliannoksen määrä riippuu tulevan nitraatin määrästä sekä prosessiin tulevan jäteveden määrästä. Yleensä metanolia annostellaan noin kolminkertainemion automaatioissa metanolin syöttömäärää voidaan säädellä alla olevan automaan määrä poistettavaan nitraattityypeen verrattuna. Puhdistatiokaavion mukaan.

Metanoli asetusrvot

Käyttö automaatiolla mahdollista

PA15P002 PA15P003

Pumppauksen käynnistys/pysäytys

Jälkisuodatus virtaus m3/h

Käynnistys-/pysäytysraja m3/h

Käynnistysviive sek

Annostusmäärä

Tuleva vesi nitraatti mg/l

Poistuva vesi nitraatti tavoite mg/l

Metanoli/Nitraatti kerroin mg/mg

Metanoli tiheys kg/m3

Laskettu annostusmäärä kg/h

l/h

Poistuva vesi nitraatti mg/l

Metanoli virtaus PID-säädin

Virtaus PID-mittausarvo l/h

Virtaus PID-asetusarvo l/h

Virtaus PID-ohjausarvo %

Vuorossa

PA15P002 PA15P003

Lukitukset

Päiväsäiliö kuivakäyntisuoja

Kuva 6. Metanolin syötön asetusrvot.

Metanolin määrä lasketaan seuraavan kaavan mukaisesti: (tuleva vesi nitraatti – poistuva vesi nitraatti tavoite) \times metanoli/nitraatti-kerroin \times (virtaama / metanolin tiheys). Tulokseksi saadaan ... l/h metanolia. Jos metanolia annostellaan liikaa, nostaa se orgaanisen aineen määrää käsiteltävässä vedessä. Laitoksella onkin jälkisuodatusyksikössä lähtevälle vedelle orgaanisen hiilen online-analysaattori, (TOC), jolla voidaan säätää metanoliannostus sopivaksi. Sopivaksi rajaksi orgaaniselle hielle on löydetty 20 mg/l, jolloin myös viranomaisnäytteiden BOD_{7ATU} -arvot pysyvät ympäristöluvan vaatimassa alle 10 mg/l pitoisuuksissa. Toisaalta, jos metanoliannostus on liian pieni, se rajoittaa myös denitrifikaatiota. Siksi metanolin syöttöä on ohjattu automaatiosta manuaalisesti päiväsaikaan, koska virtaamat vaihtelevat vuorokauden ajankohdasta riippuen. Metanoli/nitraattikerroin on vaihdellut 1mg/mg ja 3,3 mg/mg välillä.

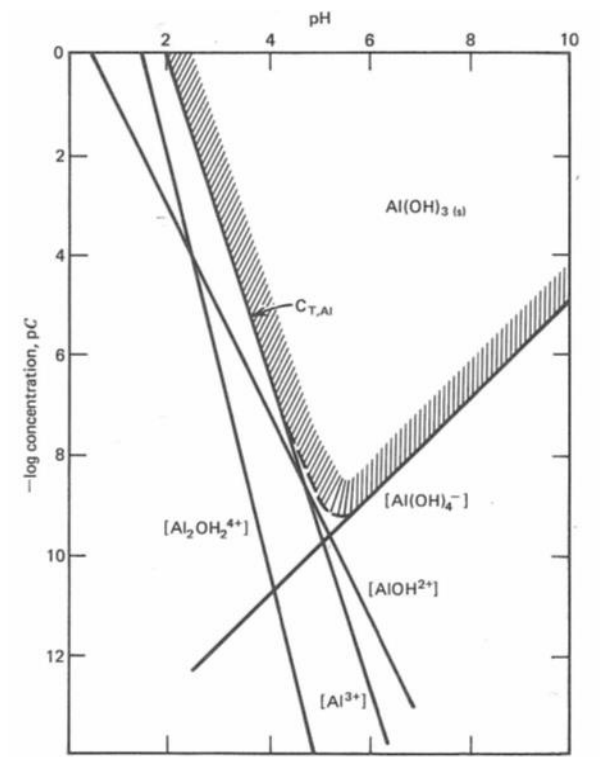
Lisäksi voidaan säätää myös poistuvan veden nitraatti tavoite-kerrointa, joka edellisessä kuvassa on 2 mg/l. Tällöin annostuksen laskeminen tapahtuu seuraavasti: virtaus \times metanoli/nitraatti-kerroin \times ((tuleva vesi nitraatti – poistuva vesi nitraatti tavoite) / 1000). Tulokseksi saadaan ... kg / h metanolia. Tällä menetelmällä metanoliannostusta on säädetty vähemmän ja poistuvan veden nitraatti tavoite-kerrointa on muutettu 5 mg/l ja 8 mg/l välillä. Tällöin metanoli/nitraattikerroin pysyy muuttumattomana. Nordic Waterin annostusohjeen mukaan ulosmenevän nitraatin tavoitepitoisuus pidetään normaalisti 5 mg/l tasolla.

6.2 Saostuskemikaalit

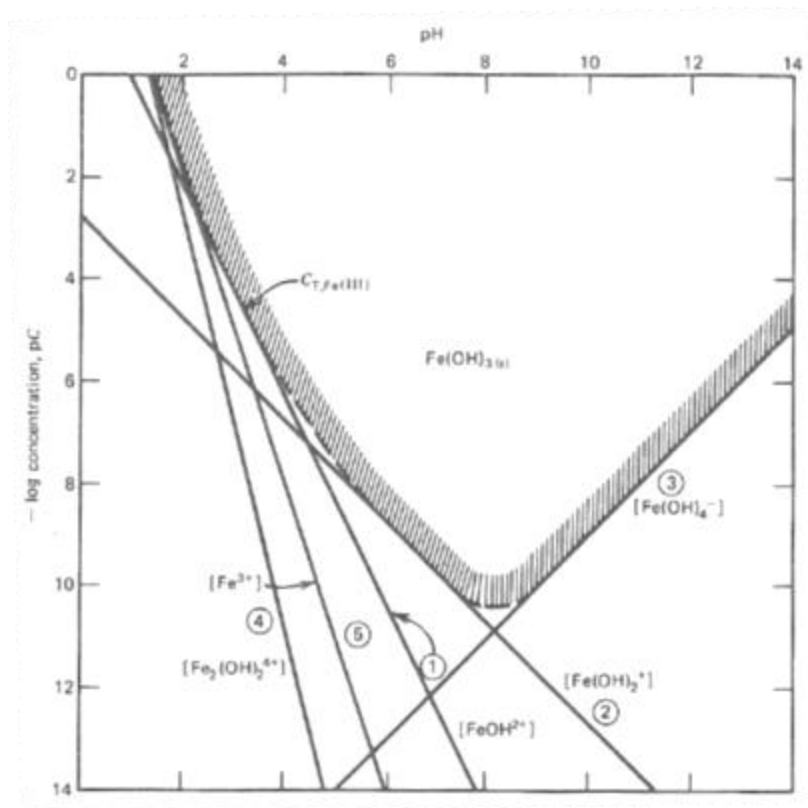
Pättin puhdistamolla on käytetty saostuskemikaalina Kemiran polyalumiinikloridia (PAX-XL100) ja ferrisulfaattia (PIX-105). Polyalumiinikloridia käytetään jälkisuodatusyksikössä fosforin ja kiintoaineen poistamiseen. Lisäksi polyalumiinikloridia on käytetty flotaatiossa. Ferrisulfaattia on käytetty laitoksen alkupäässä saostamaan kiintoaineita lähinnä silloin, kun laitokselle tulee haitallisia jätevesiä

Veteen lisättäessä rauta- ja alumiinisulfaatit (PIX-105 tai PAX-XL100) muodostavat kolmiarvoisen metalli-ionin. Rauta- ja alumiini-ionit muodostavat veteen liuke-

nematonta hydroksidisakkaa, $\text{Fe}(\text{OH})_3$ tai $\text{Al}(\text{OH})_3$ sekä fosfaattisakkaa FePO_4 tai AlPO_4 . Kemikaalitoimittajan mukaan hydroksidit eivät juurikaan vaikuttane biologiseen toimintaan. Yleensä hydroksidien määrät eivät ole kovin merkittäviä, joten rautakemikaalia käytettäessä suurempi annostuskaan ei todennäköisesti ole haitallisempi biologiselle toiminnalle. Käytettäessä alumiinia hydroksidin saostuminen ei ole täydellistä, joten veteen saattaa jäädä pieniä määriä liukoista alumiinia, joka saattaa vaikuttaa biologiseen toimintaan. Alla olevassa kuvassa on alumiinin ja raudan liukoisuuskvaajat. Alumiinin jäännösluokoisuus veteen on hie-man korkeampi kuin raudan. Veden pH vaikuttaa myös huomattavasti alumiinin jäännösluokoisuuteen toisin kuin raudan liukoisuuteen sillä on vain vähän merkitystä /14/.



Kuva 7. Alumiinin liukoisuuskvaaja. /25, 269/



Kuva 8. Raudan liukoisuuskuvaja. /25, 266/

6.2.1 Ferrisulfaatti, PIX

Ferrisulfaatti, $Fe_2(SO_4)_3$, on epäorgaaninen kemikaali ja sitä käytetään 35 – 45 % liuksena, joka on väriltään tummanruskeaa. Ferrisulfaatti on täysin veteen liukenevaa /12/. PIX:iä käytetään sekä kuntien että teollisuuden jätevedenpuhdistuksessa ja talousveden valmistukseen. Puhtaan veden valmistukseen käytettävä PIX on puhtaampaa kuin jätevesiin käytettävä PIX. Jätevesien puhdistuksessa PIX:iä käytetään fosforin poistoon esisaostuksessa, rinnakkaissaostuksessa sekä jälkisaostuksessa kuten Pättin puhdistamolla.

Ferrisulfaattia syötetään laitoksen alkupäässä esiselkeytysaltaiden välissä sijaitsevaan jakoaltaaseen. Jakoaltaissa on potkurisekoittimet, jotka ovat päällä PIX:in syötön ajan. Kemikaalin syöttömäärä riippuu jäteveden likaisuudesta ja syöttömäärä Pättin puhdistamolla vaihtelee 30 – 100 ml/m³ välillä. Annostuksen määrän

voi laskea seuraavanlaisesti: (fosforipitoisuus (mg/l) × 9) / ferrisulfaatin tiheys (1,5 g/cm³), jolloin tulokseksi saadaan ...g/m³. Automaatiossa PIX:in syöttö perustuu joko COD-kuormituksen tai virtaamaan suhteuttaen. Tällä hetkellä PIX-kemikaali syötetään virtaamaan suhteuttaen alla olevan kuvan mukaisesti.

The screenshot shows a software interface titled "Esiselkeytyks PDX asetusarvot". At the top, there are three status indicators for PA04P005, PA04P006, and PA04P007. Below this, there are two buttons: "Käyttö automaattilla mahdollista" (highlighted in green) and "Esiselkeytyks 2".

The interface is divided into two main sections:

- Yleiset (General):**
 - Ohjaustapa: 1: COD (highlighted in green)
 - Varapumpun käyttö: ESISELKEYTYKS (highlighted in green)
 - Tuleva jätevesi virtaus minimi: 200 m³/h
 - Tuleva jätevesi virtaus maksimi: 1500 m³/h
 - Tuleva jätevesi virtaus (rajoitettu): 802 m³/h
 - Tuleva jätevesi virtaus (todellinen): 802 m³/h
 - PIX virtaus tällä hetkellä: 45.4 l/h
 - Annostus tällä hetkellä: 56.6 ml/m³
- Ohjaustapa 1: COD (Dosing Method 1: COD):**
 - Annostuksen ja COD-kuormituksen suhde: 0.60 kg/kg
 - PIX ominaistiheys: 1500 kg/m³
 - COD-kuormitus: 0.00 kg/h
 - Laskettu PIX annostus: 0 g/m³
 - Laskettu PIX annostus: 0.00 l/h
- Ohjaustapa 2: Virtaus (Dosing Method 2: Flow):**
 - Asetusarvo: 55 ml/m³
 - Laskettu PIX annostus: 44.1 l/h

At the bottom left, there are two status indicators for PA05FIRCA003 and PA05FIRCA004. A "PALUU" button is located at the bottom right.

Kuva 9. PIX:in syötön asetusarvot.

6.2.2 Polyalumiinikloridi, PAX

Polyalumiinikloridi on epäorgaaninen kemikaali ja sitä käytetään 30–40 % liuoksena, joka on väriltään kellertävän kirkasta. Polyalumiinikloridin toiminta perustuu korkeasti varautuneeseen alumiiniin, jonka ansiosta tuote toimii pienemmällä annosmäärällä. Polyalumiinikloridia annostellaan käytettävään kohteeseen laimentamattomana /11/. PAX:ia käytetään jäteveden puhdistukseen, juomavesien valmistuksessa ja teollisuuden prosessivesien puhdistuksessa. Suomessa PAX:ia käytetään enemmän jätevesien puhdistuksessa kuin juomavesien puhdistuksessa. Sen sijaan euroopassa PAX:ia käytetään varsin yleisesti myös juomaveden valmistuksessa. PAX:in käyttö kohdentuu jätevesipuolella fosforin poistoon esisaostuksessa, jälkisaostuksessa sekä tertiärikäsittelyssä /14/.

Jälkisuodatuksessa käytettävän PAX-kemikaalin määrä on verrannollinen jälkisuodatukseen tulevan kiintoaineen ja fosforin määrään annostuksen ollessa jälkisuodatukseen tulevan jäteveden kiintoainekiloa ja fosforikiloa kohden. Annostelumäärä vaihtelee vuorokaudessa virtaaman ja kiintoainepiikkien mukaan 10–55 l/h välillä /15/.

PAX asetusrvot

Käyttö automaattilla mahdollista

PA09P720 PA09P721

Pumppauksen käynnistys/pysäytys

Jälkisuodatus virtaus m³/h

Käynnistys-/pysäytysraja m³/h

Käynnistysviive sek

Annostusmäärä

Pumpun maksimituotto l/h

Annostusmäärä virtauksen mukaan ml/m³

Laskettu Kiintoainekuormitus kg/h

Annostusmäärä Kiintoainekiloa kohti kg/kg

Laskettu Fosforikuormitus kg/h

Annostusmäärä Fosforikiloa kohti kg/kg

Laskettu annostusmäärä yhteensä g/m³

PAX/PIX saostuskemikaalin tiheys kg/l

Laskettu virtausmäärä yhteensä l/h

Pumpun nopeusohje %

Vuorovaihto

Vuorotteluväli h

Vuorotteluväli laskuri h

Vuorossa

PA09P720 PA09P721

Kuva 10. PAX:in syötön asetusrvot.

Kuvassa 9. on esitetty PAX:in syötön asetusrvoja automaatiassa. PAX:ia on annosteltu kiintoainekiloa kohden 1,0–4,2 kg/kg automaatiosta näkyvien tietojen perusteella ja fosforikiloa kohden annostelumäärät ovat olleet hieman suurempia (10 kg/kg molemmiin puolin).

7 KEMIKAALIEN OPTIMOINTIA JA MUTTA VAIKUTTA- VIA TEKIJÖITÄ

Kemikaalimäärien optimointi on tärkeää, sillä siten pystytään säästämään kemikaalikulussa ja määrien optimoinnilla pyritään lisäämään vain prosessin tarvitsema kemikaalimäärä. Liiallisella kemikaalien lisäyksillä saattaa olla haitallisia vaikutuksia prosessin toimivuuteen ja liian pienillä kemikaalimäärillä prosessin toiminta saattaa olla rajoittunut. Lisäksi hiekkapatjan pesuajan säätäminen sopivaksi on optimaalisten puhdistustulosten kannalta tärkeää.

7.1 PIX-PAX-kokeet

Puhdistamolla suoritettiin omassa käyttölaboratoriossa Kemiran Vesa Kettusen johdolla saostuskemikaaleilla astiakokeita, joiden tarkoitus oli selvittää rauta- ja alumiinisaostuskemikaalien vaikutuksia jälkisuodatukseen menevään veteen. Asiantuntijoiden mukaan rautapohjaiset kemikaalit ovat vähemmän haitallisia denitri-
fioiville bakteereille kuin alumiinipohjaiset kemikaalit. Kemikaalien annostelumäärällä on suuri merkitys niiden vaikutuksiin. Koelaitteisto koostui Kemiran sekoittajilla varustetuista litran astioista, joilla saatiin aikaan samanlaiset sekoitusolosuhteet kaikissa kokeissa. Näytteitä oli yhteensä 13, jotka olivat seuraavan taulukon mukaisia.

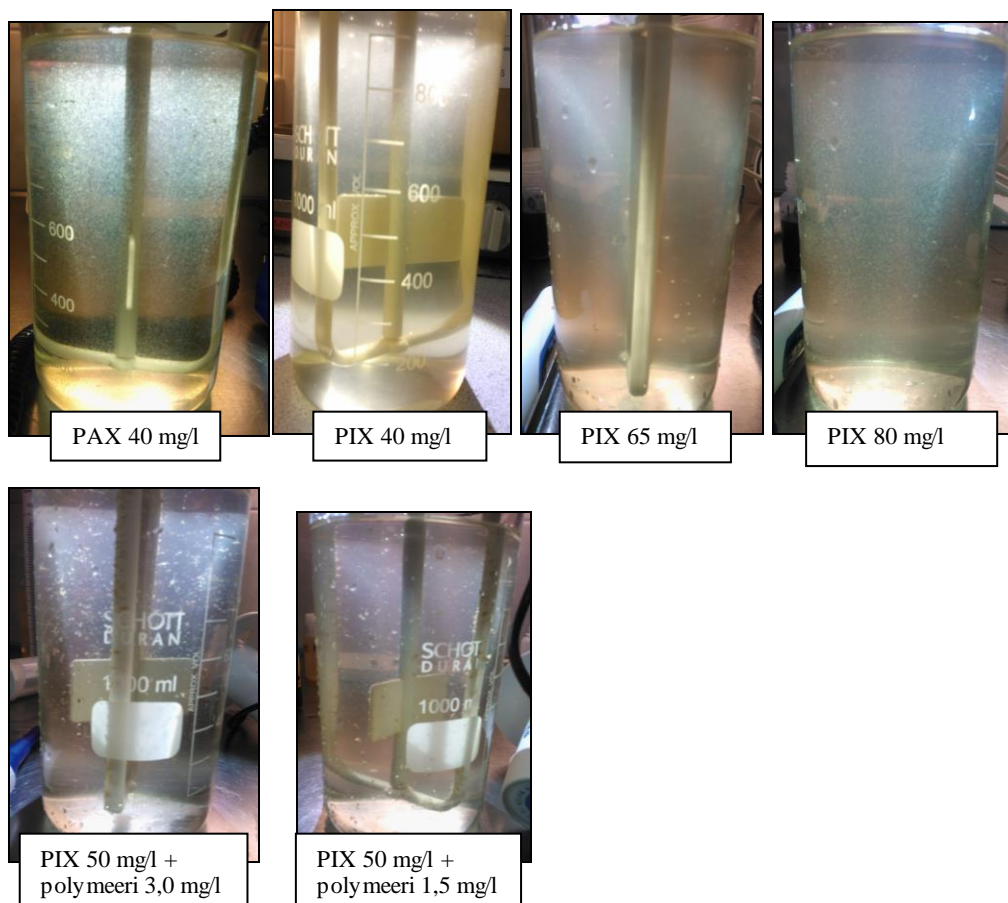
Taulukko 4. Saostuskokeen kemikaalit ja määrät

| | |
|---------------------------------|----------------------------------|
| PAX 20 mg/l | PIX 30 mg/l |
| PAX 30 mg/l | PIX 40 mg/l |
| PAX 40 mg/l | PIX 50 mg/l |
| PAX 30 mg/l + metanoli 100 mg/l | PIX 65 mg/l |
| PAX 40 mg/l + metanoli 100 mg/l | PIX 80 mg/l |
| | PIX 50 mg/l + polymeeri 3,0 mg/l |
| | PIX 50 mg/l + polymeeri 1,5 mg/l |
| Käsittämätön jätevesi | |

Jälkisuodatukseen menevään jäteveteen pipetoitiin taulukossa 4. esitetyt määrät kemikaaleja ja astioita sekoitettiin 10 minuuttia, jonka jälkeen flokkien annettiin laskeutua 10 minuuttia. Astioiden pinnalta otettiin talteen 200 millilitraa jokaista

näytettä, josta analysoitiin puhdistamon käyttölaboratoriossa COD, kokonaisfosfori, liukoinen fosfori, kiintoainepitoisuus sekä pH.

Pienillä PAX-annostuksella, 20–40 mg/l, flokkia muodostui hyvin. Metanolin ja PAX:n syötössä muodostui flokkia, mutta se jäi leijailemaan, eikä laskeutunut kovin hyvin. Metanolin lisäys saattaa jopa pienentää muodostuvaa flokkia. Vastavasti pienillä PIX-annostuksella, 30–50 mg/l, flokkia muodostui vähän. Vastausuuremmilla PIX-annostuksilla, 65 mg/l ja 80 mg/l, flokkia alkaa muodostumaan enemmän. Polymeerinä kokeessa käytettiin polyakryyliamidia ja sen yhteisvaikutus PIX-annostuksen kanssa oli, että flokki erottuu paremmin kuin pelkällä PIX-annostuksella. Flokkien huomattiin kuitenkin olevan tahmeita ja tarttuvan sekoitajiin kiinni. Alla esitetyissä kuvissa kemiakaaliannokset ja muodostuneiden flokkien määrät.



Kuva 11. PIX-PAX-kokeiden tuloksista kuvia.

Taulukko 5. Käyttölaboratoriossa analysoidut tulokset astiakokeiden näytteistä.

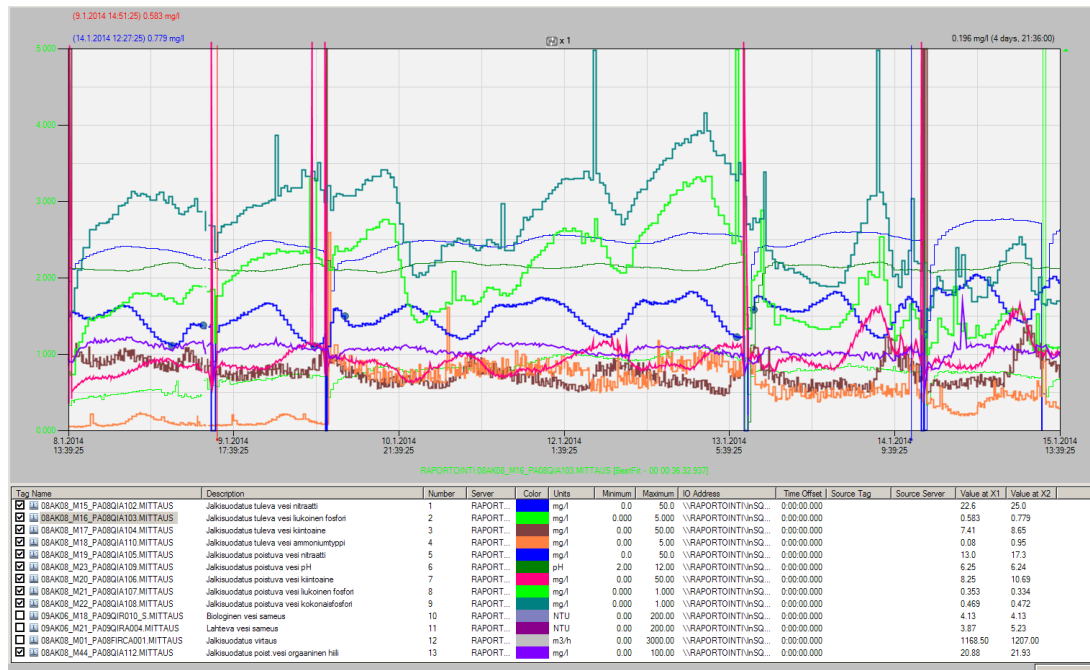
| | pH | Kiintoaine (mg/l) | COD (mg/l) | Kokonaisfosfori (mg/l) | Liukoinen fosfori (mg/l) |
|-------------------------------------|------|-------------------|------------|------------------------|--------------------------|
| Käsittämätön jätevesi | 7,10 | 22 | 79,5 | 0,867 | 0,083 |
| PAX, 20mg/l | 7,27 | 29 | 58,9 | 0,469 | 0,059 |
| PAX, 30mg/l | 7,27 | 13 | 42,0 | 0,105 | 0,026 |
| PAX, 40mg/l | 7,28 | 9 | 38,5 | 0,781 | 0,011 |
| PIX, 30mg/l | 7,27 | 22 | 65,0 | 0,463 | 0,063 |
| PIX, 40mg/l | 6,78 | 21 | 68,1 | 0,549 | 0,068 |
| PIX, 50mg/l | 6,81 | 23 | 83,6 | 1,18 | 0,050 |
| PIX, 65mg/l | 6,81 | 32 | 71,8 | 0,254 | 0,054 |
| PIX, 80mg/l | 6,90 | 33 | 52,2 | 0,187 | 0,027 |
| PIX 50 mg/l + 3 mg/l polym. | 7,04 | 19 | 57,5 | 0,380 | 0,044 |
| PIX 50 mg/l + 1,5 mg/l polym | 7,26 | 22 | 56,0 | 0,543 | 0,050 |
| PAX 30 mg/l + 100 mg/l MeOH | 7,27 | 28 | 133 | 0,422 | 0,032 |
| PAX 40 mg/l + 100 mg/l MeOH | 7,26 | 16 | 139 | 0,140 | 0,015 |

Näiden tulosten perusteella jälkisuodatukseen menevä saostuskemikaali vaihdettiin tammikuun 2014 alussa polyalumiinikloridista (PAX) ferrisulfaattiin (PIX).

Koetulosten perusteella pH-arvo ei laskenut liian matalalle PIX:iä käytettäessä. Astiakokeiden perusteella voitiin olettaa PIX:in muodostavan pienempää flokkia. Tarvittaessa olisi mahdollista tehostaa flokin muodostusta polymeerillä, mikäli kiintoaine kulkeutuu jälkikäsittely-yksikön suodattimista läpi.

7.2 PIX saostuskemikaalina jälkisuodatuksessa

PIX:n syöttö aloitettiin tammikuun 2014 alussa pienellä kemikaaliannostuksella. PIX:in syöttö perustui fosforin määrään ja annostus aloitettiin 1,5 mg/mg:lla, jota nostettiin vähitellen aina 30 mg/mg asti. Alla olevassa kuvassa on online-mittausten tuloksia PIX:in syötön aloittamisesta kaksi viikkoa eteenpäin.



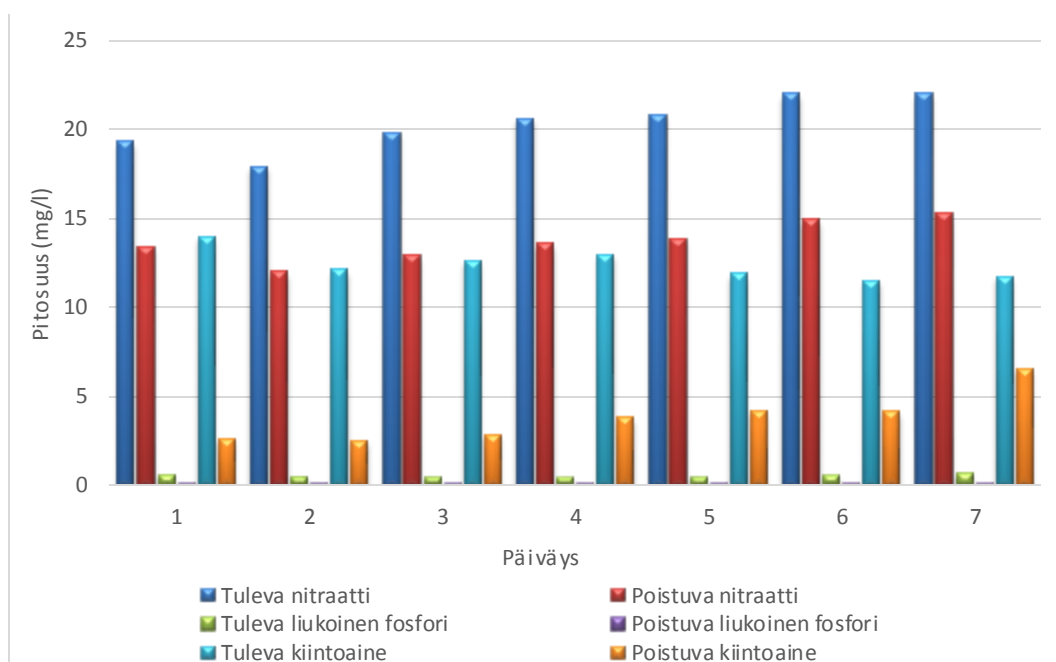
Kuva 12. Online-mittaustuloksia jälkisuodatusyksikössä.

Tulosten perusteella voitiin havaita, että vaikka saostuskemikaalin määrää nostettiin, kasvoivat muun muassa poistuvan veden kiintoaine-, kokonaisfosfori- sekä liukaisen fosforin pitoisuudet. Lisäksi myös BOD_{7ATU} -arvot ylittivät lupaehtojen 10 mg/l vaihdellen 16–18 mg/l välillä. Mielenkiintoista oli seurata myös pH:n vaikutuksia jälkisuodatukseen tulevassa vedessä, koska PIX alentaa veden pH-lukemia. Kokeen alkaessa jälkisuodatukseen menevän veden pH oli 6,6 nousten muutaman päivän kuluttua jo arvoon 7,1. Kokeen aikana ei havaittu merkittävää alenemaa pH-lukemissa. Suurin annostus PIX:ää syötettiin 17.1.2014, joka oli 2043 l/vrk. Tämän jälkeen annostusta alettiin vähentämään. Samanaikaisesti tammikuun lopulla PIX:ää alettiin syöttämään esiselkeytysaltaisiin ja jälkiselkeytyksen yhteyteen PIX:ää 4.2.2014 syötettiin enää 28 l/vrk, jonka jälkeen kemikaalin syöttö siihen prosessin kohtaan lopetettiin. PIX:in syötön ollessa esiselkeytysvaiheessa, sen viipymä on noin vuorokausi ennen kuin sen vaikutus näkyy jälkisuodatusyksikössä.

7.3 Vaikutukset typen-, fosforin- ja kiintoainepoistoon

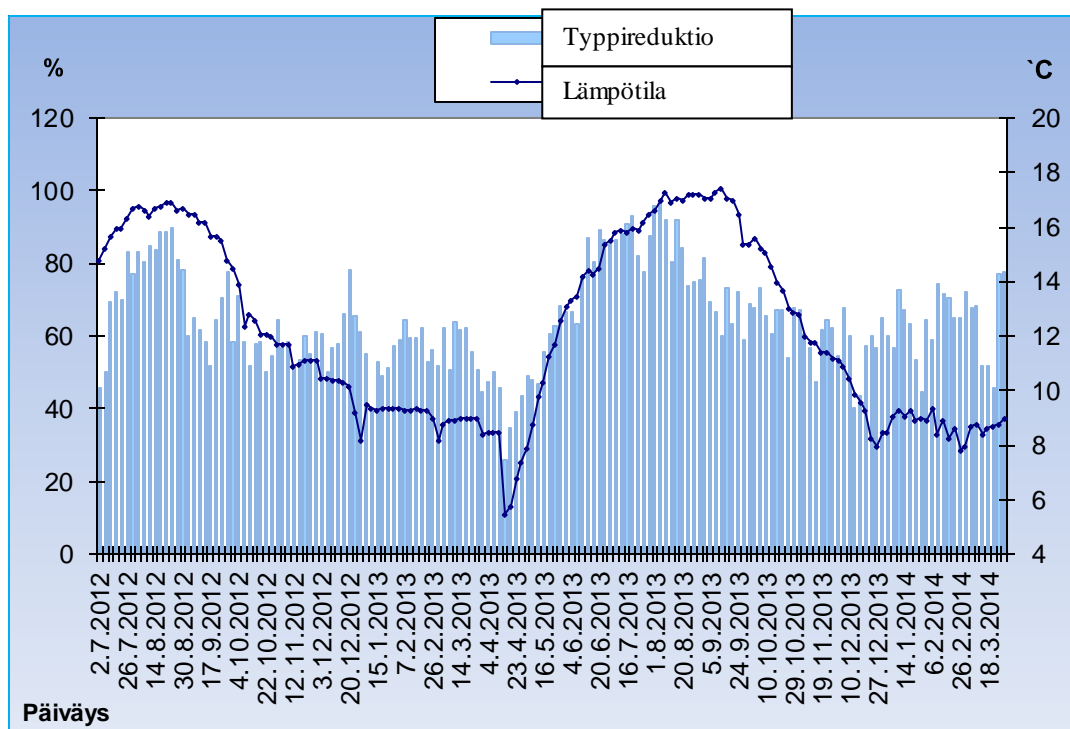
Jälkisuodatusyksikössä saadaan poistettua vielä lisää typpi-, fosfori- ja kiintoainekuormaa, mikä ei ole poistunut jo prosessin aikaisemmissa vaiheissa. Metanolin syöttö aloitettiin heinäkuun 2012 alussa ja denitrifikaatio käynnistyi heinäkuun puolivälissä siten, että heinäkuun keskimääräiseksi typpireduktioksi saatiin 68 % ja elokuussa typpireduktio oli 84 % /9/.

Seuraavassa kuvassa on esitetty tammikuulta 2014 muutama tulos, joiden perusteella voidaan havaita, että vaikka suodattimet ovat olleet tukossa kyseisenä ajankohtana, on kiintoainetta, fosforia ja nitraattia saatu poistumaan. Myös veden lämpötilat ovat olleet kyseisenä aikana alhaisia.



Kuva 13. Tammikuussa (1.–7.1.2014) jälkisuodatusyksikössä mitattuja pitoisuuksia.

Alla on esitetty kuvaaja, jossa on verrattu lämpötilan vaikutusta typenpoistoon. Käyrän mukaan lämpötilalla on merkitystä typenpoistumisen tehokkuuteen, vaikka kirjallisuudessa on esitetty, että denitrifikaatio ei ole yhtä riippuvainen lämpötilasta kuin nitrifikaatio.



Kuva 14. Typenpoiston tehokkuus ja lämpötilojen vaikutukset.

7.4 Näytteet hiekkapatjan eri kerroksista

Kun PIX:n syöttö jälkisuodatusyksikköön lopetettiin ja suodatusyksikössä tilanne saatiin ”normalisoitua”, otettiin hiekkapatjan eri kerroksista näytteitä näytteenotokairalla, jonka ruotsalaiset asiantuntijat lähettivät puhdistamolle. Tieteellisistä julkaisuista löytyy samantyyllisiä koejärjestelyitä, joita puhdistamollakin nyt suoritettiin.

Hiekkapatjan näytteistä analysoitiin omassa käyttölaboratoriossa pH, happipitoisuus, nitraattityppi, nitriittityppi, kiintoaine sekä fosfaattifosfori. Näytteitä otettiin jälkisuodatuksen sisääntulokanavasta, suodattimen haravien yläpuolelta, 1,5 metriä haravien yläpuolelta, 3,0 metriä haravien yläpuolelta sekä suodattimen päältä. Happipitoisuuksia ei pystytty mittaamaan kuin sisääntulokanavasta sekä suodattimen päältä. Välikerroksista otettuihin näytteisiin pääsi ilmaa happimittausten yhteydessä ja lukemat olivat niin suuria, etteivät ne ole luotettavia. Tällaisella

näytteenottotekniikalla on mahdollista seurata poistotehokkuutta suodattimen eri osissa. Liitteessä 1 on esitetty hiekkapatjan eri kerroksista saatuja tuloksia.

7.5 Happipitoisuuksien vaikutus

Jos liennutta happea on jälkisuodatukseseen menevässä vedessä, denitrifikaatiobakteerit käyttävät sen ensin. Tarkoitus olisi, että bakteerit ottavat tarvitsemansa hapen nitraatilta ja hiilen metanolilta. Jos happi käytetään muualta kuin nitraatilta, tarvitsevat bakteerit kuitenkin metanolilta hiiltä. Tämä tulisi huomioida lisäämällä hiililähteen annostusta siten, että jos 2,86 kg happea korreloi 1,0 kg:n nitraattimäärää, tulisi jokaista happikiloa kohden annostella 1,2 kg metanolia /18/.

Happipitoisuuksia on seurattu jälkiselkeytysaltailta lähtevien veden kanavista ja jälkisuodatukseseen tulevan altaan kanavasta sekä jokaisen viiden allasmoduulin pinnalta. Happipitoisuudet ovat olleet korkeita myös Anderssonin ym. tutkimuksessa ollen sisään tulevassa vedessä melkein 8 mg/l. Kahden metrin hiekkapatjan pinnalla happipitoisuus oli enää 0,5 mg/l /1/. Jälkisuodatuslaitoksen altaiden pinnalta mitatut happipitoisuudet ovat suunnilleen samaa luokkaa kuin edellä mainitussa tutkimuksessa. Happipitoisuuksilla ei kuitenkaan ole Nordic Waterin asiantuntijoiden mukaan kovin suurta merkitystä. Vaikka happea on vedessä, typpeä poistuu hyvin jo 11 asteen lämpötilassa. Viimeisimpien happimittauksien yhteydessä laitoksen käyttölaboratoriossa mitattu typpireduktio oli jo 85 %.

Taulukko 6. Happipitoisuudet jälkisuodatusyksikön tulokanavassa ja altaiden pinnalla.

| Pvm | Tulokanava ($\frac{mg}{l}$) | Allas 1 ($\frac{mg}{l}$) | Allas 2 ($\frac{mg}{l}$) | Allas 3 ($\frac{mg}{l}$) | Allas 4 ($\frac{mg}{l}$) | Allas 5 ($\frac{mg}{l}$) | Lämpötila (°C) |
|-----------|-------------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------|
| 14.1.2014 | 3,65 | 0,81 | 0,90 | 0,96 | 0,86 | 0,78 | 9,1 |
| 21.2.2014 | 5,05 | 0,60 | 0,57 | 0,60 | 0,57 | 0,59 | 9,1 |
| 7.3.2014 | 3,62 | 0,21 | 0,16 | 0,18 | 0,20 | 0,18 | 10,3 |
| 17.4.2014 | 2,56 | 0,69 | 0,53 | 0,45 | 0,38 | 0,40 | 10,6 |
| 2.5.2014 | 3,62 | 0,49 | 0,48 | 0,55 | 0,58 | 0,57 | 11,7 |

7.6 Hiekkapatjan pesuaika

Neljän metrin hiekkapatjalle on haettu sopivaa pesuaikaa, joka puhdistaisi hiekan ja siinä olevat epäpuhtaudet ja lisäksi tarkoitus olisi luoda suotuisat olosuhteet denitrifioiville bakteereille. Pilottikokeilussa hiekkapatjaa pestiin jatkuvatoimisena pesuna. Laitoksen käynnistyessä maaliskuussa 2012 Mammut-pumput pesivät hiekkapatjaa noin 15–20 minuuttia tunnissa allas kerrallaan laitetoimittajan ohjeistuksen mukaisesti. Hiekkapatjan pesuun käytetään paineilmaa, jolloin myös paineilman paineen määrä on yritetty säätää sopivaksi. Lisäksi pesuveden määrällä on vaikutusta hiekkapatjan pesun toimivuuteen.

Hiekkapatja tukkeutui syksyn 2013 alussa, jolloin Mammut-pumput eivät pystyneet puhdistamaan hiekkapatjaa toivotulla tavalla. Samalla denitrifioivien bakteerien toiminta heikkeni ja jälkisuodatusyksikköä ei saatu toimimaan sille ominaisella tavalla. Laitetoimittajan ruotsalainen asiantuntija kävi huoltamassa hiekkapatjaa tarkistamalla hiekan kiertoja sekä siirtelemässä hiekkajoja marraskuussa 2013. Ongelmia ei kuitenkaan saatu poistettua. Hiekkapatjan liiallisen tukkeutumisen estämiseksi hiekkapatjan pesu säädettiin jatkuvatoimiseksi.

Tammikuussa 2014 jälkisuodatusyksikköön vaihdettiin ferrisulfaatti saostuskemikaaliksi polyalumiinikloridin tilalle ja hiekan pesu jatkui jatkuvatoimisena. Näillä muutoksilla ei saatu kuitenkaan toivottua parannusta typen-, fosforin- ja kiintoaineen poistoon, joten tammikuun 2014 lopulla puhdistamalla vierailleet Nordic Waterin asiantuntijat antoivat uudet ajo-ohjeet hiekkapatjan pesua varten. Pesuveden määrää kasvatettiin kolminkertaiseksi, jonka jälkeen se oli noin 150 m³. Pesuveden määrän lisääminen näytti vaikuttavan myönteisesti hiekkapatjan toimivuuteen. Koska pesuveden määrä oli suurempi, saatiin hiekka kiertämään paremmin hiekkapatjassa ja hiekkapatjan tukkeutuminen oli paremmin estettävissä. Tämän jälkeen hiekkapatjan pesuaikaa muutettiin helmikuun 2014 alussa jaksottaiseen 30 minuutin pesuun tapahtuen jokaisessa altaassa samanaikaisesti. Altaissa oleva hiekka sai ”levätä” toiset 30 minuuttia ennen uuden pesusyklin alkamista. Saos-

tuskemikaalina toiminut ferrisulfaatin syöttö lopetettiin jälkisuodatusyksikköön ja ferrisulfaattia alettiin lisäämään esiselkeytysaltaisiin.

Hiekkapatjan pesuaikoja säädettiin maaliskuussa 2014 Nordic Waterin asiantuntijoiden ohjeiden mukaisesti. Hiekan pesu pidetään jaksottaisena, mutta aikaa muutettiin siten, että hiekka pestään 20 minuuttia jokaisessa altaassa ja hiekka saa levätä 40 minuuttia ennen uutta pesusykliä. Huhtikuun 2014 alussa jälkisuodatusyksikköön alettiin syöttää hieman myös alumiinikloridia saostuskemikaaliksi, koska laitoksella suoritettiin ilmastusaltaan tyhjennys, joka vaikutti jälkisuodatusyksikössä nostaen kokonaisfosforin pitoisuutta puhdistetussa jätevedessä. Saostuskemikaalin lisäys palautti fosforipitoisuuden oikealle tasolle.

Hiekkapatjan pesuaikaa muutettiin huhtikuun 2014 puolella välissä takaisin 30 minuutin pesuun ja 30 minuutin lepoaikaan, koska näytti siltä, että hiekkapatjaan olisi ollut syntymässä tukkeumia. Lisäksi laitoksen jälkisuodatusyksikön tuloaltaan pinnan ero normaaliin laskennalliseen tuloaltaan pinnan eroon kasvoi yli 70 cm:iin, josta oli myös pääteltävissä, että hiekkapatjassa oli tukoksia. Toukokuussa 2014 hiekkapatjan pesuaikaa kasvatettiin 35 minuutin pesuun ja 25 minuuttin lepoaikaan. PAX:in määrä on pyritty pitämään hyvin pienenä ja välillä prosessia on voitu ajaa ilman PAX:ia. Pieni annosmäärä on tällä hetkellä käytössä, jolloin fosforipitoisuudet pysyvät pieninä.

8 TULOSTEN TARKASTELU JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Monet tekijät vaikuttavat jälkisuodatusyksikössä suodattimien tehokkuuteen kuten tulevan veden nitraattipitoisuus, happipitoisuus, fosforipitoisuus, kiintoainepitoisuus, pH, lämpötila, metanolin sekä saostuskemikaalin annostus.

Neljän metrin paksuinen hiekkapatja asettaa haasteita jälkisuodatusyksikössä. Hiekkapatjan pysyminen tukkeutumattomana on edellytys hyvälle puhdistustuloksille ja se vaatii jatkuvatoimista seurantaa. Optimaalisen pesuajan löytäminen on tärkeää ja suuri merkitys on pesuveden määrällä ja hiekan kierron seuraamisella. Kun nämä asiat saadaan toimimaan parhaalla mahdollisella tavalla, on mahdollista säätää metanolin ja saostuskemikaalin määrää sekä mahdollisuuksien mukaan nostaa jälkisuodatusyksikköön tulevan veden pH:ta optimitasolle. Ruotsalaisten asiantuntijoiden mukaan jälkisuodatukseen menevän veden pH olisi hyvä saada nousemaan 7 – 7,5 välille, jolloin ulosmenevän veden nitraattitypen määrässä tulisi näkyä vähenemistä. pH:n säätäminen on helpoimpia säätöparametrejä lämpötilan ohella jälkisuodatusyksikössä.

Hiekkapatjan eri syvyyksistä otetut näytteet ovat myös tärkeitä olosuhteiden optimoinnin kannalta, sillä niiden avulla voidaan seurata ravinteiden poiston tehokkuutta hiekkapatjan eri osissa. Helmikuussa 2014 otettujen näytteiden perusteella jokin rajoittaisi ravinteiden poistoa hiekkapatjan keskivaiheilta. Ruotsalaisten asiantuntijoiden mukaan saattaa olla mahdollista, että jälkisuodatukseen tuleva vesi sisältää liian vähän fosforia ja tämä saattaisi olla yksi rajoittava tekijä. Esiselkeytykseen syötettävän ferrisulfaatin määrän säätelyllä voisi mahdollisesti nostaa jälkisuodatukseen tulevan veden fosforipitoisuuksia tai toisena vaihtoehtona olisi fosforihapon lisääminen jälkisuodatusyksikköön menevään veteen.

Metanolin ja PAX:in syöttöpaikkojen lähekkäinen sijainti voi huonontaa saostuskemikaalin tehokkuutta. PAX saattaa aiheuttaa jälkisuodatuksessa hiekan tukkeutumista, koska se muodostaa isompaa flokkia pienemmällä annosmäärillä kuin rautakemikaali. PAX syötetään jälkisuodatukseen menevän veteen ennen tu-

lokanavaa, eikä voida varmasti tietää, että ehtiikö se reagoida tarpeeksi tällä välillä. Käytännössä kemikaalilisäyksien vaikutus alkaa näkymään noin tunnin kuluttua jälkisuodatusyksikön on line-analysaattoreiden arvoissa. Kun prosessi toimii häiriöttä, PAX:ia ei välttämättä tarvitse käyttää saostuskemikaalina.

PIX:in kokeilu saostuskemikaalina jälkisuodatusyksikön yhteydessä epäonnistui, koska hiekkapatja oli tukossa koko kokeilun ajan ja kemikaalin syöttömääriä lisättiin varsin nopeasti. Kokeen aikana säädeltiin myös metanoliannostusta siten, että orgaanisen hiilen pitoisuus pysyisi 20 mg/l tasolla. Kokeilun perusteella huomattiin, että jälkisuodatusyksikön kiintoaine-, kokonaisfosfori- ja liukoisien fosforin pitoisuudet lähtevässä vedessä kasvoivat ja PIX-annostuksen pienentyessä kokeen loppupuolella kyseiset pitoisuudet pienenevät. PIX-lisäys näyttäisi toimivan prosessin alkupäässä hyvin. Tällä hetkellä PIX ehtii kuluu prosessissa, kun se syötetään jo esiselkeytsaltaisiin. PIX:in muodostamat flokit ehtivät laskeutua ennen jälkisuodatukseen menoa, eivätkä aiheuta tukkeentumista jälkisuodatuksessa.

Annosteltavan metanolin määrän säätely perustuu jälkisuodatusyksikössä olevien online-analysaattoreiden mittaustuloksiin. Öiseen aikaan virtaamat ovat pienempiä (keskimäärin 400–600 m³), joten denitrifikaatiobakteerit kuluttavat enemmän metanolia ja annostuskerrointa voidaan yleensä kasvattaa. Denitrikaatio voimistuu, kun vedet alkavat lämmetä keväällä ja tällöin myös metanolia kuluu enemmän. Päivällä virtaamien kasvaessa (keskimäärin 900–1000 m³) metanolin annostuskerrointa täytyy hieman pienentää, ettei orgaanisen hiilen määrä kasva liian suureksi. Tällä hetkellä metanolin kulutus on lisääntynyt ja denitrifikaatiobakteerit poistavat hyvin typpeä, vaikka vedet ovat vielä kylmiä.

Tämänhetkisen tilanteen perusteella hyvältä hiekkapatjan pesuajalta vaikuttaa jaksottainen 35 minuutin pesu ja 25 minuutin tauko. Jälkisuodatuksessa vallitsevat olosuhteet vaikuttavat ratkaisevasti pesuaikojen säätelyyn.

LÄHTEET

- /1/ Andersson, B., Aspegren, H., Berg, L., Gustelius, A., 1991. Efternitrifikation i Sandfilter. Vatten, vol.47, s. 14–23.
- /2/ Feldthusen, M. 2014. Sähköposti DynaSand-suodattimiin liittyen 13.1.2014. Viitattu 15.1.2014.
- /3/ Gerardi, M., 2006, Wastewater Bacteria. 1. painos. New York, USA. Wiley.
- /4/ The Water Planet Company. Nitrogen Removal from Wastewater, Viitattu 15.10.2013.
<http://www.thewaterplanetcompany.com/docs/10pdf/Nitrogen%20Chemistry.pdf>
- /5/ Hyxo. DynaSand. DynaSand-suodatin – ainutlaatuinen työkalu. Viitattu 18.11.2013. http://hyxo.com/brochure/dynasand_suomi.pdf.
- /6/ Hultman, B., Jönsson, K., Plaza, E., 1994, Combined Nitrogen and Phosphorus Removal in a Full-Scale Continuous Up – Flow Sand Filter. Water Science and Technology, vol. 29, s.127–134.
- /7/ Hyxo Oy. Ohjekansio. DS-jälkisuodatus, dokumentaatio.16.1.2012.
- /8/ Karlsson, T., 2013, Ympäristölupahakemus.
- /9/ Karlsson, T., Puhdistamon vuosiyhteenveto 2012.
- /10/ Kemira. 2003. Konsten att rena vatten. Kemira Kemwater.
- /11/ Kemira. PAX-XL100, käyttöturvallisuustiedote.
- /12/ Kemira. PIX-105, käyttöturvallisuustiedote.
- /13/ Kettunen, R., Rintala, J., Hänninen, K., Luostarinen, S. 2006. Jätevesien käsittelyprosessit ja -laitokset 1. Jyväskylä. Jyväskylän yliopiston opetusmoniste.
- /14/ Kettunen V. 2014. Myynti-insinööri. Sähköposti Saostuskemikaalien käytöstä 9.1.2014. Viitattu 10.1.2014.
- /15/ Koivisto, M., 2013, Pättin puhdistamon esittelyraportti.
- /16/ Metcalf & Eddy, 1991, Wastewater Engineering. 3. painos. New York, USA. McGraw-Hill Book Co.
- /17/ Niemelä, A. 2009. Vesitalous, nro 6, s.6–9.

- /18/ Nordic Water. 2005. Denitrification by Dynasnad Filter.
- /19/ Nordic Water, Optimierung der Nitrifikation einer DynaSand-Anlage. Saksalainen opinnäytetyö.
- /20/ Pelkonen, P. 2008, Ravinteiden poiston tehostaminen Vaasan veden Pättin jätevedenpuhdistamolla.
- /21/ Paronen, P. Viinikanlahden puhdistamon typenpoisto DN- menetelmällä, 2012, s. 18.
- /22/ Plaza, E., Jönsson, K., Hultman, B., Nutrient Removal from Municipal Wastewater by Continuous Up-Flow Sand Filters, Water Science and Technology, vol. 29, s. 127–138.
- /23/ Rantanen, P., Aurola, A., Hakkila, K., Hernesmaa, A., Jørgensen, K., Laukkanen, R., Melasniemi, H., Meriluoto, J., Nikander, S., Pelkonen, M., Renko, E., Valve, M., & Pauli, A. 1999. Biologisen fosforin- ja typenpoiston tehokkuus, prosessiohjaus ja mikrobiologia, s.11–12.
- /24/ Schauer, P., Rectanus, R., deBarbadillo, C., Barton, D., Gebbia, R., Boyd, B., McGehee, M., Black & Veatch, Pilot Testing of Upflow Backwash Filters for Tertiary Denitrification and Phosphorus Removal, 2006, Water Environment Foundation. Session 61–70, s. 4751–4780.
- /25/ Snoeyink, V., Jenkins, D., 1980, Water Chemistry. 1. painos. New York, USA. Wiley.
- /26/ Telko. Metanoli. käyttöturvallisuustiedote.
- /27/ Vaasan Vesi, Jätevedenpuhdistamo Pätt – esite, 2012.
- /28/ Viitasaari, M., Peltokangas, J., ja Heinänen, J. 1994. Vesihuoltotekniikan yksikköoperaatiot ja yksikköprosessit. Tampere. Tampereen teknillinen korkeakoulu.

LIITTEET

NÄYTTEET HIEKKAPATJAN ERI KERROKSISTA

| 20.3.2014 | pH | Nitraattityppi (mg/l) | Nitriittityppi (mg/l) | Liukoinen fosfori (mg/l) | Kiintoaine (mg/l) | Happi (mg/l) |
|----------------------------|-----------|----------------------------------|----------------------------------|---|------------------------------|-------------------------|
| Suodatuksen menevä vesi | 6,67 | 31,0 | 0,025 | 0,169 | 3 | 4,02 |
| Haravien yläpuolelta | 6,75 | 30,3 | 0,050 | 0,118 | 22 | |
| 1,5 m hara- vista | 6,93 | 27,9 | 0,048 | 0,015 | 12 | |
| 3,0 m hara- vista | 7,09 | 25,8 | 0,073 | 0,034 | 21 | |
| Suodattimen päältä | 7,06 | 18,4 | 0,122 | 0,029 | 6 | 0,24 |
| 20.3.2014 | pH | Nitraattityppi (mg/l) | Nitriittityppi (mg/l) | Liukoinen fosfori (mg/l) | Kiintoaine (mg/l) | Happi (mg/l) |
| Suodatuksen menevä vesi | 6,65 | 31,2 | 0,027 | 0,184 | 10 | 4,02 |
| Haravien yläpuolelta | 6,95 | 23,1 | 0,291 | 0,027 | 173 | |
| 1,5 m hara- vista | 7,07 | 22,3 | 0,067 | 0,046 | 9 | |
| 3,0 m hara- vista | 7,20 | 16,5 | 0,175 | 0,032 | 20 | |
| Suodattimen päältä | 7,07 | 16,3 | 0,091 | 0,035 | 6 | 0,32 |
| 25.3.2014 | pH | Nitraattityppi (mg/l) | Nitriittityppi (mg/l) | Liukoinen fosfori (mg/l) | Kiintoaine (mg/l) | Happi (mg/l) |
| Suodatuksen menevä vesi | 6,72 | 21,1 | 0,077 | 0,168 | 35 | 2,32 |
| Haravien yläpuolelta | 7,03 | 15,1 | 0,202 | 0,028 | 61 | |
| 1,5 m hara- vista | 7,37 | 6,76 | 0,161 | 0,020 | 10 | |
| 3,0 m hara- vista | 7,38 | 4,48 | 0,194 | 0,025 | 22 | |
| Suodattimen päältä | 7,40 | 6,06 | 0,174 | 0,020 | 5 | 0,28 |