



VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Ville Turunen

Alkalointikemikaalin annostelu tekoälyn avulla

Tekniikka

2021

TIIVISTELMÄ

Tekijä	Ville Turunen
Opinnäytetyön nimi	Alkalointikemikaalin annostelu tekoilyn avulla
Vuosi	2021
Kieli	suomi
Sivumäärä	32
Ohjaaja	Asseri Laitinen

Opinnäytetyön tarkoituksena oli pilotoida alkalointikemikaalin annostelu yksinkertaista tekoilyä hyödyntäen. Normaalisti alkalointikemikaalia annostellaan g/m³. Opinnäytetyössä kehitimme tekoilyn ohjaaman kemikaalin optimi annostelua. Nykyään tämä ohjaus on osa Suomen Sähköflotaatio Oy:n tekoilykokonaisuutta.

Useimmiten jätevedenpuhdistamoilla annostellaan alkalointikemikaalia virtauksen mukaan (g/m³). Annostelun ohjaustavasta johtuen annosmäärä on välillä liian suuri ja välillä liian pieni. Liian pieni alkaliteetti voi tuhota laitoksen bakteerikannan, kun taas liian suuri pitoisuus heikentää saostuskemikaalin toimintaa.

Koeajossa ilmeni joitain ongelmia, mutta tämä oli oletettavissa koeajettaessa uutta tekniikkaa. Tulokset olivat kaikesta huolimatta lupaavia niin kauan, kuin anturi antoi luotettavaa tulosta. Työn aikana kokeilimme myös eri valmistajan anturia, joka osoittautui luotettavammin toimivaksi.

ABSTRACT

Author	Ville Turunen
Title	Optimization of alkalization chemical using A.I.
Year	2021
Language	Finnish
Pages	32
Name of Supervisor	Asseri Laitinen

The purpose of this thesis was to pilot the dosage of alkalization chemical using a simple artificial intelligence operation. Normally alkalization chemical is dosed g/m^3 . In the process, we developed an artificial intelligence to control optimal dosage of the alkalization chemical. This control method is now part of Suomen Sähköflotaatio Oys AI solutions.

Usually, wastewater treatment plants dose the alkalization chemical too much because of control method g/m^3 . This sometimes causes the dose to be too high or too low. Too low alkalinity can destroy plants bacterial flora and too high deteriorates precipitants effects.

There were minor problems within the trial, but this was expected when conducting new techniques. Results were however promising as long as the sensors gave reliable outcome. During the trial we also tried out a sensor from a different vendor which turned out to be more reliable.

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

LYHENNE- JA TERMILUETTELO	6
1 JOHDANTO.....	7
2 PÄTTIN JÄTEVEDENPUHDISTAMO	8
2.1 Puhdistamolle tuleva jätevesi	9
2.2 Jäteveden esikäsittely	9
2.3 Esiselkeytysaltaat	10
2.4 Ilmastusaltaat ja aktiivilieteprosessi	11
2.5 Jälkiselkeytysaltaat.....	12
2.6 Jälkisuodatus	13
2.7 Flotaatio	15
2.8 Lietteenkuivaus	16
2.9 Laboratorio.....	18
3 AKTIIVILIETEPROSESSI.....	19
4 TEKOÄLY.....	21
4.1 ”PAI” -tekoäly.....	21
4.1.1 Esikäsittely.....	21
4.1.2 Aktiivilieteprosessin optimointi	22
4.1.3 Fosforin ja kiintoaineen saostus	23
5 ALKALOINTIKEMIKAALIN ANNOSTELUN OPTIMOINTI TEKOÄLYN AVULLA....	24
5.1 Anturit	24
5.1.1 Johtokyky-anturit	25
5.1.2 Ammoniumtyppi-anturi	26
5.1.3 Nitraatti-ammoniumtyppi yhdistelmäanturi	27
5.2 Automaation laskukaava.....	28
5.3 Koeajo	30

5.4 Alkalointikemikaalin säästö	30
6 JOHTOPÄÄTÖKSET	32
LÄHTEET	33

LYHENNE- JA TERMILUETTELO

A_T	Alkaliteetti eli vesiliuoksen emästen kyky neutraloida siihen lisätyt hapot.
BOD	Biochemical Oxygen Demand, biologinen hapenkulutus. Happimäärä, jonka mikrobit kuluttavat hajottaessaan ainetta aerobisissa oloissa.
COD	Chemical Oxygen Demand, kemiallinen hapenkulutus. Happimäärä, jonka kemialliset reaktiot kuluttavat.
Denitrifikaatio	Biologinen prosessi, jossa nitraatti muuttuu elementaariseksi typeksi tai muuksi kaasumaiseksi lopputuotteeksi.
Nitrifikaatio	Biologinen prosessi, missä aerobiset nitrifikaatiobakteerit muuttavat ammoniumtypeä ensin nitriitti- ja sitten nitraattitypeksi.
F:M suhde	Food to micro-organism, tulevan ravinnon määrän (BOD_7 :na ilmaistuna) suhde ilmastusaltaan mikrobien määrään.
NH_4	Ammoniumtyppi.
NO_3	Nitraattityppi.
MLSS	Mixed liquor suspended solids, Ilmastusaltaan tilavuus kertaa ilmastusaltaan kiintoainepitoisuus (kg).

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli luoda yksinkertainen tekoälyohjaus ja koeajaa se. Tekoälyn tarkoituksena on tässä tapauksessa vain ohjata alkalointikemikaalin annostelua. Aiemmin kemikaalia on annosteltu vain virtaaman mukaan, mikä on johtanut liika-annosteluun suurimman osan ajasta.

Työn alussa perehdyin jätevedenpuhdistamon toimintaan ja tuloksiin, mikä auttoi arvioimaan riittävän kemikaalin määrän. Jätevedenpuhdistamolle hankittiin tätä työtä varten uusia antureita.

Jätevedenpuhdistamon automaatioinsinööri oli suureksi avuksi tässä toteutuksessa hänen ohjelmoidessa tarvittavat muutokset laitoksen automaatioon.

Työ oli opettava kokemus ja tutkimukset jatkuvat toisella jätevedenpuhdistamolla eri valmistajan johtokykyanturilla.

2 PÄTTIN JÄTEVEDENPUHDISTAMO

Pättin puhdistamo on Vaasan Palosaarella sijaitseva jätevedenpuhdistamo (Kuva 1). Laitos puhdistaa koko Vaasan jätevedet, sekä osan Mustasaaren ja Maalahden jätevesistä. Puhdistettavan jäteveden määrä vaihtelee vuosittain sade- ja sulamisvesien määrästä johtuen, ja on n 6–7 milj. kuutiota vuodessa. Teollisten jätevesien osuus on noin 3,5 %. Pumppaamoja Vaasan kaupungin alueella on 130 kappaletta. Jätevedenpuhdistamo otettiin käyttöön 1971 ja vuonna 1981 siitä tuli Vaasan seudun keskuspuhdistamo. 1981 rakennettiin lisää ilmastus- ja selkeytysaltaita ja 1990 valmistui flotaatiolaitos sekä lietteenajo Stormossenille aloitettiin. 2000-luvulla laitosta saneerattiin, rakennettiin esiselkeytys sekä hiekkasuodatin. Laitoksella työskentelee 15 henkilöä.¹

¹ Vaasan Vesi. 2021.



Kuva 1 Pättin jätevedenpuhdistamo (Perttu Pihlaja).

2.1 Puhdistamolle tuleva jätevesi

Veden saapuessa pumppaamolta puhdistamolle, se johdetaan ensin esikäsittelyn läpi. Kolme pääpumppaamaa on P1, Onkilahti ja Fenno. Jätevettä tulee laitokselle keskimäärin 20 000 m³ päivässä.²

2.2 Jäteveden esikäsittely

Vaasan Pättin jätevedenpuhdistamolla on prosessin alussa välpät. Välpät poistavat isoimmat kiintoaineet. Mallina on porraskäyppä ja niitä on kaksi kappaletta. Jätevedessä on myös hiekkaa, joka tulee puhdistamolle sade- ja sulamisvesien mukana. Noin 30 % puhdistamolle tulevasta vesimäärästä koostuu hulevesistä. Hiekanerotusaltaassa veteen ohjataan ilmaa altaan pohjalta, jolloin veden liike muut-

² Vaasan Vesi. 2021.

tuu ja hiekka- sekä kivirakeet laskeutuvat altaan pohjalle. Altaan pohjaa pitkin liikkuu kaavin, joka kaapii hiekan altaan pohjaa pitkin keräten sen altaan alkuun, josta hiekkapumppu nostaa hiekan hiekkapesurille. Hiekka pestään ja viedään kaatopaikalle. Altaan loppua kohden mentäessä ilmamäärä vähenee ja rasva erottuu pintaan. Pintakaavin kaapii rasvan kouruun, joka johtaa rasvakaivoon. Kiintoaine-, johtokyky-, pH- ja ammoniumtyppi-anturit ovat sijoitettuna altaan loppuosaan.³



Kuva 2 Esikäsitteily (Perttu Pihlaja).

2.3 Esiselkeytysaltaat

Esiselkeytys koostuu kahdesta altaasta, joiden tilavuus on yhteensä 4 250 m³. Tullevan veden mukaan lisätään rautakemikaalia tarpeen mukaan, mutta osan aikaa vuodesta kemikaalia ei ole tarvetta lisätä ollenkaan. Osa kiintoaineesta saostuu ja

³ Vaasan Vesi. 2021.

painuu altaan pohjalle painovoiman avulla. Selkeyttimiin tulee myös laitoksen ylijäämäliete. Pohjalle painunut liete pumpataan tiivistämöön, jossa se tiivistyy edelleen ennen kuivaamista, joko lingolla tai ruuvikuivaimella. Tällä hetkellä toista alasta pyritään pitämään tyhjänä ja käyttämään sitä tarpeen vaatiessa tasaustaana. BOD-reduktio on korkea, kesimäärin 73 %. Kokonaistyyppiä poistuu 27 %, mikä johtuu siitä, että hiekanerotukseen lisätään ilmaa, jolloin ammoniumtyyppiä osa hapettuu.⁴



Kuva 3 Esiselkeytysaltaat (Perttu Pihlaja).

2.4 Ilmastusaltaat ja aktiivilieteprosessi

Altaat koostuvat viidestä 3,4 metriä syvästä allasparista, joissa on vettä yhteensä 5500 m³. Altaiden pohjalla on ilmastimet, joissa on kalvo ja siinä pieniä reikiä, joista ilma työntyy altaaseen. Ilmastusaltaissa eli aktiivilieteprosessissa ammoniumtyppi hapettuu nitriitti- ja nitraattitypeksi. Altaissa pidetään 2.0 mg/l happipitoisuutta. Kiintoainetta pyritään pitämään oikea määrä suhteessa veden lämpötilaan 5–8 g/l. Selkeytysaltaista pumpataan takaisin lietettä ilmastusaltaisiin. Tätä lietettä kutsutaan palautuslietteeksi. Palautusliete kierrättää biomassaa selkeyttimistä takaisin ilmastukseen, mikä ylläpitää prosessia. Altaissa on 10 kpl happiantureita ja 5 kpl kiintoaineantureita.⁵

⁴ Vaasan Vesi. 2021.

⁵ Vaasan Vesi. 2021.



Kuva 4 Ilmastusaltaat (Perttu Pihlaja).

2.5 Jälkiselkeytsaltaat

Ilmastuksen jälkeen vesi ohjataan jälkiselkeytykseen, jossa kiintoaine painuu pohjaan painovoiman avustamana. Altaat ovat vähähappisia, jolloin denitrifikaatio tapahtuu osittain. Lopullinen kokonaistypenpoisto tapahtuu DynaSand -hiekkasuodattimessa

Denitrifikaatio tapahtuu vähähappisissa olosuhteissa, jolloin denitrifikaatiobakteerit muuttavat nitraatin typpikaasuksi.

Allasryhmiä ovat uusi puoli ja vanha puoli. Uudella puolella selkeyttimet ovat pystyselkeyttimiä, kun taas vanhalla puolella vaakaselkeyttimiä. Altaiden tilavuudet ovat $6 \times 550\text{m}^3$ ja $6 \times 720\text{m}^3$. Pystyselkeyttimissä on monessa kohtaa allasta poistokouruja, joista selkeytynyt vesi pääsee jatkamaan matkaansa hiekkasuodattimeen. Vaakaselkeyttimissä on altaan lopussa poistokouru vedelle. Painovoiman avustamana kiintoaine laskeutuu pohjalle, josta se kaavitaan ja siirretään altaan

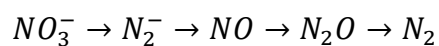
alkuun. Osa siitä pumpataan palautuslietteenä takaisin ilmastusaltaaseen. Palautuslietteestä otetaan myös ylijäämäliete, joka johdetaan esiselkeytykseen. Kiintoainepitoisuus mitataan anturilla selkeyttimistä poistuvasta vedestä.⁶



Kuva 5 Jälkiselkeytyksaltaat (Perttu Pihlaja).

2.6 Jälkisuodatus

DynaSand -hiekkasuodatin valmistui vuonna 2012. Laitos oli pilottilaitos, DynaSand DENI. Laitoksessa on yhdistetty jälkisuodatusprosessi ja denitrifikaatio. Denitrifikaatio tarvitsee lisähiilen toimiakseen. Tällä hetkellä käytössä on metanoli. Glyserolia on kokeiltu kaksi kertaa, mutta se ei ole toiminut halutulla tavalla. DynaSandin tarkoitus on poistaa vedestä fosforia, kiintoainetta ja nitraattityppeä. Fosfori ja kiintoaine saostetaan PAX-kemikaalin avulla ja nitraatti pelkistetään bakteerien avulla typpikaasuksi. Denitrifikaatio tapahtuu asteittain⁷:



⁶ Vaasan Vesi. 2021.

⁷ Karttunen E. 2014, s.213.

DynaSand koostuu viidestä linjasta ja 40 yksiköstä. Jokaisessa yksikössä on mammut -pumppu, joka nostaa hiekkaa altaan pohjalta ylös pesten sen samalla. Pesuvesi palautetaan välppien taakse. Puhdistunut hiekka laskeutuu takaisin altaaseen.⁸ Altaassa on hiekkaa neljä metriä ja vettä hiekan päällä kaksi metriä. Jätevesi johdetaan putkea pitkin altaan pohjalle ”haravaan”, josta se jakautuu tasaisesti koko yksikön alueelle. Vesi nousee hiekkapatjan läpi ja partikkelit jäävät hiekkaan kiinni. Hiekkaa pestään 20–60 minuuttia tunnissa riippuen kuormituksesta. Mammut -pumppu nostaa likaisen hiekan altaan pohjalta ja hiekka puhdistuu nousun aikana. Hiekkaa kierrätetään pesun aikana altaassa 5–7 mm minuutissa paineilman avulla. Lisähiilen tarve on kolme grammaa metanolia yhtä grammaa nitraattityppeä (tuleva jätevesi) kohti. Lisähiilen annostukseen vaikuttaa myös liuenneen hapen pitoisuus hiekkasuodattimeen tulevassa vedessä.

⁸ Hyxo, 2021a, s. 2.



Kuva 6 DynaSand (Perttu Pihlaja).

2.7 Flotaatio

Flotaatiota käytetään vain tarpeen vaatiessa. Veden tullessa flotaatioon, sen sekaan lisätään alumiinikemikaalia. Kemikaalin lisäyksen jälkeen vettä sekoitetaan altaissa, millä varmistetaan kemikaalin liukeneminen. Tämän jälkeen vesi johdetaan flotaatioaltaaseen. Altaan alkupäässä pohjalla on suuttimet, josta veden mu-

kaan lisätään ilma-vesiseosta. Tämä seos yhdistettynä kemikaaliin nostaa kiintoaineen pintaan. Pinnasta kiintoaine kaavitaan ja pumpataan sakeuttamoon.⁹



Kuva 7 Flotaatio (Perttu Pihlaja).

2.8 Lietteenkuivaus

Prosessista tuleva ylijäämäliete johdetaan ensin tiivistämöön, jossa se painovoiman avulla tiivistyy pohjalle. Pohjalta se pumpataan joko lingolle tai ruuvi-kuivaimelle. Ennen kuivausta lietteen sekaan lisätään polymeeriä. Polymeeri auttaa lietettä flokkautumaan, jolloin se on helpompi kuivata. Linko erottaa veden lietteestä keskipakovoimalla. Ruuvikuivaimessa kierukka kuljettaa lietettä ja liete

⁹ Vaasan Vesi. 2021.

puristuu haittalevyjen läpi. Kuivauksen jälkeen kuivattu liete siirretään lietsiiloon, josta se viedään kuorma-autolla biokaasulaitokselle.¹⁰

¹⁰ Vaasan Vesi. 2021.



Kuva 8 Lietteenkäsittely (Perttu Pihlaja).

2.9 Laboratorio

Jätevedenpuhdistamon omassa laboratoriossa tehdään päivittäin analyysyjä. Vedestä voidaan mitata mm. alkaliteetti, johtokyky, pH, ammoniumtyppi, nitraattityppi, liukoinen- ja kokonaisfosfori, kokonaistyyppi sekä laskeumat. Lisäksi laboratoriossa on hyvä laitekanta.



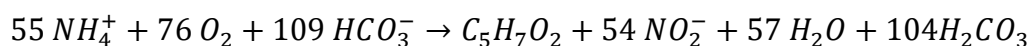
Kuva 9 Laitoksen laboratorio (Perttu Pihlaja).

3 AKTIIVILIIETEPROSESSI

Biologisista yksikköprosesseista kaikkein tyypillisin ja tunnetuin on aktiivilieteprosessi. Jätevesi johdetaan ilmastusaltaaseen, jossa on ilmastettua biomassaa. Tämän jälkeen vesi johdetaan selkeytykseen, jossa flokit erotetaan vedestä. Ilmastus takaa mikrobeille riittävän happimäärän sekä pitää veden jatkuvassa liikkeessä varmistuen paremman kontaktin mikrobien ja epäpuhtauksien välillä sekä estää flokkien ennenaikaisen laskeutumisen. Nimi aktiivilieteprosessi tulee siitä, kun osa selkeytyksessä syntyneestä aktiivisesta mikrobeja sisältävästä lietteestä palautetaan ilmastusaltaaseen nopeuttamaan biologista puhdistusprosessia. Palautuslietteessä olevat mikro-organismit saavat ilmastusaltaasta uutta ravintoa, jonka ne pystyvät hyödyntämään nopeasti.¹¹ Ilmastuksessa veteen lisätään ilmaa, joka on elinehtona aerobisille bakteereille. Nitrifikaatio bakteerit muuttavat ammoniumtyypen ensin nitriitiksi ja tämän jälkeen nitriitin nitraatiksi. Samalla myös biologisesti hapettava aines (BOD) sekä biologisesti ja kemiallisesti hapettava aines (COD) hapettuu ja poistuu.

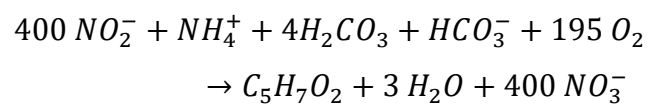
Nitrifikaatio tarvitsee toimiakseen riittävästi aikaa, kiintoainetta, happea ja bakteereja. Nitrifikaatio kuluttaa happea 4,6 g / 1 kg NH₄-N. Alkaliteettia kuluu 0,14 mol / 1 g NH₄-N.

Ensimmäisessä vaiheessa Nitrosomonas-bakteerit hapettavat ammoniumtyypen nitriitiksi:



Toisessa vaiheessa Nitro-bakteerit jatkavat reaktiota muuttaen nitriitin nitraatiksi:

¹¹ Karttunen E. 2014, 183–184.



Nitrifikaatio pysyy käynnissä vuoden ympäri, mutta bakteeritoiminta on hitaampaa veden ollessa kylmää, jolloin lieteikä pitää olla pidempi eli prosessissa on tällöin enemmän kiintoainetta.¹²

¹² Karttunen E. 2014, 211–212.

4 TEKOÄLY

Tekoälyn määritelmiä on paljon erilaisia. Parhaiten tekoälyä on mielestäni kuvannut Googlen johtava tekoälyntutkija Greg Corrado: ”Tekoäly on tällä hetkellä sitä, että rakennamme ohjelmistoja, jotka vaikuttavat siltä, että niissä on jonkinlaista käyttökelpoista älykkyyttä.¹³”

Tekoäly käsitetään tietokoneen toimintojen jatkumona. Se on laajempiin laskentoihin pystyvä ohjelma tai järjestelmä. Tekoälyn tämänhetkisen elinkaaren aikana se on jatkuvasti jakautunut useampiin tutkimusaloihin sekä mennyt kehityksessä eteenpäin.¹⁴ Seuraavaksi esitetään muutama tapa hyödyntää PAI-tekoälyä.

4.1 ”PAI” -tekoäly

Tekoälyn avulla voidaan helpottaa jätevedenpuhdistamon ohjausta. Työssä käytettävä tekoäly on osa ”PAI” konseptia. PAI-lyhenne tulee Pihlaja Artificial Intelligence. Tekoäly on pyritty pitämään yksinkertaisena ja varmatoimisena. Tekoälyn avulla voidaan ottaa pieni osa tai kokonaisuus jätevedenpuhdistamon ohjauksesta haltuun. PAI perustuu tekijänsä omaan näkemykseen jätevedenpuhdistamon ajoitavasta. Tekoälyn ohjaus on aina jätevedenpuhdistamokohtainen. Tämä on optimoinnista saatujen tulosten mukaan tehty ohjaus. Suomen SähköFlotaatio Oy myy palveluna tätä kyseistä tekoälyä.¹⁵

4.1.1 Esikäsittely

Esikäsittelyn ohjauksen avulla varmistetaan optimaaliset ravinnesuhteet biologiseen prosessiin. Esikäsittelyn avulla voidaan leikata osa tulevista ravinteista tai

¹³ YLE uutiset, 2019.

¹⁴ Siukonen T., Neittaanmäki P. 2019, s. 6–8.

¹⁵ Suomen SähköFlotaatio Oy, 2021.

vastaavasti antaa kaiken tulla läpi. Perussääntönä ravinteiden annostelussa voidaan käyttää BOD:N:P = 100:5:1¹⁶.

Ravinteiden määrää seurataan ammoniumtyppi, johtokyky ja BOD/COD antureilla. Antureista saadun tiedon perusteella tekoäly laskee optimaalisen määrän kemikaalia, jolla säädetään kuormituksen määrä.

4.1.2 Aktiivilieteprosessin optimointi

Seuraava osuus tekoälyohjauksesta on ilmastuksen ja selkeyttimen ohjaus. Tekoälyn avulla on mahdollisuus pitää prosessi vakaana ja optimaalisena kaikissa tilanteissa. Oikea biomassan määrä prosessissa on edellytys laitoksen toimivuudelle. Laitoksesta tulee energiatehokkaampi oikealla F:M suhteella.

$$L_{MLSS} \frac{F}{M} = \frac{L_{BOD_7}}{W} \left(\frac{\text{kg BOD}_7}{\text{kg MLSS} \times \text{d}} \right)$$

, missä L_{BOD_7} = BOD₇ -kuorma (kg/d) ja

W = aktiivilietteen määrä ilmastus-altaassa (kg kiintoainetta).¹⁷

Tekoäly pyrkii pitämään laitoksen F:M suhteen niin lähellä optimaalista kuin mahdollista. Ohjaus säätelee prosessin kiintoainepitoisuutta eli lieteikää ja ilmamäärää. Ammoniumtyppianalysointori varmistaa, että kaikki ammoniumtyppi on hapetettu nitraattitypeksi. Analysointorista saatavan tiedon perusteella tekoäly laskee aerobisen altaan ilmamäärää optimaaliselle tasolle. Joissain tilanteissa voi-

¹⁶ Slade A. H., Thorn G. J. S., Dennis M. A. 2011, s.627.

¹⁷ Karttunen E. 2014, s. 518–519.

daan saavuttaa parempi kokonaistypen poisto nitrifikaatiota heikennettäessä. Nitraatin optimaalista kierrätysmäärää seurataan ja muutetaan tulosten muuttuessa. Selkeytyksestä palautettavaa palautuslietteen määrää ohjataan lieteindeksin perusteella. Selkeytysaltaaseen tarvitaan lietepatjan mittaus, jonka perusteella verrataan tuloksia laskeumatuloksiin, joiden perusteella tekoäly valitsee sopivan palautussuhteen.

4.1.3 Fosforin ja kiintoaineen saostus

Biologinen prosessi kuluttaa fosforista suurimman osan. Optimaalinen F:M suhde takaa paremman fosforin poistuman biologisessa prosessissa. Tekoäly laskee kahden pisteen perusteella oikean määrän saostuskemikaalia. Tähän tarvitsee fosforianalysaattorin, joka ottaa näytteen kahdesta eri pisteestä. Kemikaalia kuluu huomattavasti vähemmän tällä tavoin annosteltuna. 1 g fosforia tarvitsee 3 g rautaa saostuakseen ja keskimäärin tulevassa vedessä on 10–15 mg/l fosforia. Biologisessa prosessissa siitä saadaan poistumaan 70–80 % fosforia ilman kemikaalia, mikäli prosessi on optimaalisessa tilassa.

5 ALKALOINTIKEMIKAALIN ANNOSTELUN OPTIMOINTI TEKOÄLYN AVULLA

Aiemmin työssä esitettyjen kohteiden lisäksi tekoälyä voi hyödyntää jätevedenpuhdistusprosessissa myös alkalointikemikaalin annosteluun. Tulevassa jätevedessä on aina alkaliteettia. Alkaliteettia pystyy mittaamaan johtokykyanturilla tekemällä kertoimen anturille. Johtokyky seuraa riittävällä tarkkuudella alkaliteetin muutosta. Kerroin on riippuvainen paikasta ja siihen vaikuttaa missä kohtaa prosessia se sijaitsee. Aina kun anturi sijoitetaan uuteen paikkaan, niin sille pitää haakea uusi kerroin laboratoriossa. Vaasassa Pättin puhdistamolla johtokykyanturi sijaitsee hiekanerotusaltaassa. Jos alkaliteetti on 4,0 mmol/l ja johtokyky 800 μS , saadaan kertoimeksi 0,0050. Kerroin sijoitetaan automaatioon muuttamaan johtokyky alkaliteetiksi. Kerroin tulevaan veteen tehtiin neljän sadan analyysin perusteella ja se näyttää toimivan riittävällä tarkkuudella. Tarkin arvo, johon on päästy, on 0,1 mmol/l. Anturi on herkkä likaantumiselle, mikä aiheuttaa mittaukselle epävarmuutta.

Jälkisuodatukseen menevään veteen laitettiin myös johtokykyanturi, jolla varmistetaan riittävä alkaliteetin määrä biologisessa prosessissa. Riittävä määrä viimeimmän tiedon perusteella on 1,0 mmol/l. Tulevassa jätevedessä suuri osa tyyppistä on ammoniumtyyppinä. Kun ammoniumtyyppi hapettuu, se kuluttaa alkaliteettia 0,14 mol/1 g. Mikäli tulevan veden alkaliteettipitoisuus on vähemmän kuin kuluva alkaliteetti, on syytä lisätä alkalointikemikaalia. Jos laitos toimii kokonaistyyppiä poistavana, niin alkaliteettipitoisuus nousee nitraattityypen pelkistyessä, 1 mol nitraattityppiä pelkistyessä, alkaliteetti pitoisuus nousee 1 mol.

5.1 Anturit

Tekoäly tarvitsee toimiakseen kaksi johtokykyanturia, yhden ammoniumtyypian turin sekä yhden nitraatti-ammoniumtyyppi yhdistelmäanturin.

5.1.1 Johtokyky-anturit

Hyxon toimittama Hach 3798-S sc on induktiivinen jätevesien jatkuvatoiminen sähkönjohtavuusmittaus. Induktiivisuuden ansiosta anturi sopii hyvin likaaville nesteille. Anturin mitta-alue on $250 \mu\text{S}/\text{cm} - 2.5 \text{ S}/\text{cm}$ ja mittaustarkkuus $\pm 1 \%$ mitatusta arvosta tai $\pm 0,004 \text{ mS}/\text{cm}$.¹⁸



Kuva 10 Johtokyky-anturi (Hyxo).

Prosessissa olevat anturit kalibroitiin samaan tulokseen kuin laboratorion mittari. Laboratoriotuloksia on tallessa vuosien ajalta, mikä nopeuttaa paljon kertoimen tekemistä. Antureiden lämpötilatietoja piti vääristää, jotta sen sai näyttämään laboratorion mittauksen kanssa samaa

Valmetin toimittama johtokyky-anturi suorittaa mittaukset johtokyky-sensoreilla. Normaalioloissa sensorit pystyvät tekemään mittauksia $210 \text{ }^\circ\text{C}$ ja 25 Bar asti. Anturin normaali käyttöikä on jopa 10 vuotta ja se on lähes huoltovapaa.¹⁹

¹⁸ Hyxo, 2021b.

¹⁹ Valmet, 2021.



Kuva 11 Valmet 3100 (Valmet).

Valmetin anturin kanssa toimimme toisin jättäen laboratorion anturin pois käytöstä. Anturin piti ensin todeta toimivan luotettavasti.

5.1.2 Ammoniumtyyppi-anturi

Ammoniumtyypianturina käytetään Hyxon toimittamaa Hach A-ISE sc ioniselektiivisellä anturitekniikalla mittaavaa uppoanturia. Anturi kompensoi automaattisesti

mittausta häiritsevää kaliumia. Anturin mittausalue on 0.1 – 1000 mg/l NH₄-N ja mittaustarkkuus on 5 % mitatusta arvosta tai ± 0.2 mg/l²⁰



Kuva 12 Ammoiumtyyppi-anturi (Hyxo).

5.1.3 Nitraatti-ammoniumtyyppi yhdistelmäanturi

Nitraatti-ammoniumtyyppi yhdistelmäanturina käytetään Hyxon toimittamaa Hach AN-ISE sc uppoanturia. Anturi mittaa molemmat parametrit yhtä aikaa ioniselektiivisellä anturitekniikalla. Anturi kompensoi automaattisesti mittausta häiritsevää kaliumia ja kloridia. Anturin mittausalue on 0.1 – 1000 mg/l NH₄-N ja mittaustarkkuus on 5 % mitatusta arvosta tai ± 0.2 mg/l²¹

²⁰ Hyxo, 2021c.

²¹ Hyxo, 2021c.



Kuva 13 Nitraatti-ammoniumtyyppi yhdistelmäanturi (Hyxo).

5.2 Automaation laskukaava

Laitteistoa koeajettiin teoreettisen laskukaavan avulla. Automaatio laski kaikki oikoiden arvojen perusteella ja vertaili tuloksia keskenään. Koeajon aikana oli erilaisia ongelmia tulevan jäteveden johtokykyanturin kanssa. Anturin tiedoissa oli pientä heittoa. Laskukaava toimi kuitenkin hyvin ja lähtevän jäteveden tulokset olivat anturin kanssa hyvin lähellä toisiaan.

$$A_{T_{tuleva}} - \left((NH_{4_{tuleva}} - NH_{4_{menevä}}) \times 0,14 \text{ mol/gNH}_4 \right) = A_{T_{kuluva}}$$

, missä $A_{T_{tuleva}}$ = tulevan jäteveden alkaliteetti (mmol/l),

$NH_{4_{tuleva}}$ = tulevan jäteveden ammoniumtyyppi pitoisuus (g/m³),

$NH_{4_{menevä}}$ = jälkisuodatukseen menevän jäteveden ammoniumtyyppi pitoisuus (g/m³)

$$(NH_{4_{tuleva}} - NH_{4_{menevä}}) - NO_{3_{menevä}} = \text{kok. } N_{\text{poistuma}}$$

, missä $NO_{3_{menevä}}$ = jälkisuodatukseen menevän jäteveden nitraattityyppi pitoisuus (g/m³),

$kok. N_{poistuma}$ = kokonaistypen poistuma (g/m^3).

$$kok. N_{poistuma} \div M_{NO_3} = A_{Tnousu}$$

, missä M_{NO_3} = Nitraattityypen moolimassa (62,01 g/mol),

A_{Tnousu} = Alkaliteetin nousu (mmol/l).

$$A_{Tkuluva} + A_{Tnousu} = A_{Tlaskennalli}$$

, missä $A_{Tkuluva}$ = Kuluvan alkaliteetin määrä (mmol/l),

A_{Tnousu} = Alkaliteetin nousu (mmol/l),

$A_{Tlaskennallinen}$ = Laskennallinen alkaliteetin määrä (mmol/l).

$$(A_{Ttaivoite} - A_{Tlaskennallinen}) \times CaCO_{3tarve} = CaCO_3$$

, missä $A_{Ttaivoite}$ = Alkaliteettitavoite (mmol/l),

$A_{Tlaskennallinen}$ = Laskennallinen alkaliteetin määrä (mmol/l),

$CaCO_{3tarve}$ = Alkalointikemikaalin tarve, että alkaliteetti nousee 1 mmol/g.

1mmol/l alkaliteetin nousuun tarvittavat kemikaalimäärät:

107 g Na_2CO_3 (Sooda)

100 g $CaCO_3$ (Kalkkikivijauhe)

86 g NaOH (Lipeä)

74 g Ca(OH)₂ (Sammutettu kalkki)

56 g CaO (QL, poltettu kalkki)

5.3 Koeajo

Ensimmäisen koeajon alussa pääsimme todella hyviin tuloksiin laitteiston ja laskukaavan toiminnan kanssa. Johtokyky-anturi jäi vähemmälle huomiolle henkilökunnalla ja tulos alkoi vääristymään anturin likaantumisen takia. Ensimmäisen koeajon tulosta voidaan pitää luotettavana neljän viikon ajalta.

Toisen koeajon aikana anturissa ilmeni isoja ongelmia toimivuuden kanssa. Jostain syystä anturia ei saatu näyttämään enää laboratorion anturin kanssa samaa lukemaa. Joko laboratorion anturi tai tulevan jäteveden johtokykyanturi ei näytä oikein. Antureiden oikein näyttämisessä on ennenkin ollut ongelmia talvisin. Toinen koeajo oli enemmänkin kokemusta antava.

Kolmannella kerralla vaihdettiin laitosta sekä anturia. Valmet Oy:n johtokykyanturi vaikutti varmatoimisemmalta ja sijoitettiin laitoksessa välpän jälkeiseen jakotilaan. Samanlaista likaantumisongelmaa ei enää huomattu; anturi oli käytössä kuu-kauden, jonka jälkeen se pestiin hapolla ja tulos ei muuttunut. Tämä oli hyvä merkki siitä, että kyseinen anturi on hyvä tähän työhön. Valmetin anturin kanssa toteutettiin kertoimen laskeminen erillä tavalla kuin Hyxon. Kertoimen luomisessa ei käytetty enää laboratorion johtokykymittaria. Arvo otettiin mittarilta ja alkaliteetin määrä analysoitiin. Kertoimissa ei ollut suuria eroja kahden laitoksen välillä.

5.4 Alkalointikemikaalin säästö

Normaalioloissa kemikaalia annostellaan tietty määrä virtaamaa/kuutiometriä kohden, vaikka tarve voi olla suurempi tai pienempi. Tekoölyn avulla pystytään säästämään kemikaalin kuluissa suuria summia vuodessa, koska tekoöly optimoi kemikaalin annostelun alkaliteetin mukaan. Sijoitus maksaa itsensä takaisin 1–5

vuodessa riippuen tilanteesta. Anturoinnin pitää olla luotettavaa, jotta päästään säästöihin. Vaasan Pättin puhdistamon kokoisessa laitoksessa päästäisiin 30 000–35 000 euron vuosisäästöihin (kuva 14).

PVM	Tuleva jätevesi (m ³)	Kalkin syöttömittaus (kg/d)	Kalkin syöttövirtauksen mukaan (kg/d)	Kalkin syöttöammoniumtyypen mukaan (kg/d)	Kalkin säästö ammoniumtyypen mukaan (kg)	Säästö (€/d)
7.2.2020	17635	1639	2402	852	1550	128,65
8.2.2020	17256	2492	2345	1469	876	72,71
9.2.2020	20539	2440	2587	2386	201	16,68
10.2.2020	51291	2608	3356	4523	-1167	-96,86
11.2.2020	36832	2728	3356	3033	323	26,81
12.2.2020	28813	2794	3296	3230	66	5,48
13.2.2020	25696	2824	3152	2487	665	55,20
14.2.2020	23522	2832	3057	1589	1468	121,84
15.2.2020	22929	2826	2913	1715	1198	99,43
16.2.2020	32379	2818	2923	2482	441	36,60
17.2.2020	35449	2837	3349	555	2794	231,90
18.2.2020	31962	2858	3352	1343	2009	166,75
19.2.2020	28157	2873	3255	1403	1852	153,72
20.2.2020	25872	2880	3148	1772	1376	114,21
21.2.2020	30899	2885	3173	1734	1439	119,44
22.2.2020	40005	2896	3300	1321	1979	164,26
23.2.2020	43685	2907	3349	233	3116	258,63
24.2.2020	32919	2917	3349	1005	2344	194,55
25.2.2020	28449	2925	3300	1235	2065	171,40
26.2.2020	25978	2940	3204	1532	1672	138,78
27.2.2020	23810	2940	3102	1782	1320	109,56
28.2.2020	7692	1220	1054	483	571	47,39
Yhteensä			66322	38164	28158	2337,11

Kuva 14 Säästölaskelmat

6 JOHTOPÄÄTÖKSET

Kuten uusien asioiden kehittäminen yleensä, tämäkin työ aiheutti omia haasteitansa hyvine ja huonoine puolineen. Lopulta saatiin kuitenkin rakennettua toimiva paketti. Koeajossa suurimman osan ongelmista aiheutti anturointi ja etenkin antureiden likaantuminen. Ensimmäinen tapa luoda kerroin ei välttämättä ollut se oikea tapa. Toisella laitoksella asioita tehtiin toisella tavalla ja se tuntui paremmalta tavalta toimia, ainakin mikäli laboratorion kokeet joudutaan tekemään alusta asti uudelleen. Antureiden likaantumisen ongelman takia Päättillä ei olla jatkettu tekoöllyn käyttöä, vaan annostelu tapahtuu kuten ennenkin. Päättillä sekä laborantista että automaatioinsinööristä oli suuri apu työtä tehdessä.

Toisella laitoksella koeajossa on Valmetin anturi, jossa ei ole samanlaista likaantumisen ongelmaa kuin Hyxon toimittamalla anturilla. Valmetin anturi on varmatoimimpi ja suositeltu anturi käytettäväksi tekoöllyn kanssa. Kyseisellä tekoölyllä voidaan saavuttaa tulevaisuudessa suuret säästöt lähestulkoon jokaisella laitoksella, joka käyttää alkalointikemikaalia. Vaasan kokoisella laitoksella pystymme saavuttamaan yli 30 000 euron vuosisäästön, jolloin tekniikka maksaisi itsensä takaisin lyhyellä aikavälillä. Suomen Sähköflotaatio Oy myy tätä palveluna ja kyseinen tekoöly kokonaisuus on herättänyt mielenkiintoa jätevedenpuhdistamoilla ympäri Suomea, mikä kertoo siitä, että työ on onnistunut.

LÄHTEET

Hyxo. 2021a. DynaSand – Jatkuvatoiminen hiekkasuodatin. Viitattu 5.5.2021.
<https://www.hyxo.fi/assets/files/2020/09/DynasandFIN.pdf>

Hyxo. 2021b. Tuotteet. Viitattu 5.5.2021
<https://www.hyxo.fi/fi/tuote/prosessimittaukset/prosessianalysaattorit/prosessianalysaattorit-vesille/a-ise-sc/>

Hyxo. 2021c. Tuotteet. Viitattu 5.5.2021
<https://www.hyxo.fi/fi/tuote/ilmastus/mittaus-ja-saato/3798-s-sc-johtokyky/>

Karttunen, E. 2004. RIL 124-2 Vesihuolto II. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry

Pihlaja, P. 2019–2021. Jätevesiasiantuntija. KVVY. Suullinen tiedonanto.

Siukonen, T., Neittaanmäki, P. 2019. Jyväskylä. Docendo.

Slade A.H., Thorn G.J.S., Dennis M. A. 2011. The relationship between BOD:N ratio and wastewater treatability in a nitrogen-fixing wastewater treatment system. *Water Science & Technology*. 63, 4, 627–632.

Suomen SähköFlotaatio Oy. Tekoäly. Viitattu 5.5.2021.
<https://suomensahkoflotaatio.webnode.fi/tekoaly/>. Viitattu 22.5.2021

Vaasan vesi. Pättin puhdistamo. Viitattu 5.5.2021.
<https://www.vaasanvesi.fi/pattin-puhdistamo>.

Valmet. Automaatio. Viitattu 5.5.2021
<https://www.valmet.com/automation/analyzers-measurements/conductivity-kemotron/inline-conductivity-measurements-for-pharmaceutical-and-industrial-applications/conductivity-applications-for-pulp-washing-kemotron/>

YLE Uutiset. Nuori, älä ole huolissasi – tekoäly tuhoaa vain tylsät työt. Viitattu 5.5.2021
<https://yle.fi/uutiset/3-102355>