

Teknillinen korkeakoulu Vesihuoltotekniikan julkaisu
Helsinki University of Technology Water and Wastewater Engineering
Espoo 2008

KIRJALLISUUSSELVITYS ESPOON VEDEN JÄTEVEDENPUHDISTAMO- HANKKEEN VAIHTOEHTOISISTA VESIPROSESSEISTA

Henri Haimi



TEKNILLINEN KORKEAKOULU
TEKNISKA HÖGSKOLAN
HELSINKI UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

KIRJALLISUUSSELVITYS ESPOON VEDEN JÄTEVEDENPUHDISTAMO-
HANKKEEN VAIHTOEHTOISISTA VESIPROSESSEISTA

Henri Haimi

Teknillinen korkeakoulu
Vesihuoltotekniikka
PL 5200
02015 TTK
Puh. (09) 4511
Fax. (09) 451 3856
E-mail: contact.vesihuolto@tkk.fi

ISBN 978-951-22-9616-3

SISÄLLYSLUETTELO

Johdanto	4
1. Puhdas happi -prosessit.....	6
1.1 Prosessikuvaus	6
1.2 Käyttökokemuksia	9
1.3 Kustannukset	10
1.4 Edut ja haitat.....	11
2. Kantoaineprosessit	12
2.1 Vapaasti liikkuvat kantoaineet	12
2.1.1 Prosessikuvaus	12
2.1.2 Kokonaistyyppiä poistavat prosessit.....	12
2.1.3 Käyttökokemuksia	14
2.1.4 Kustannukset.....	15
2.1.5 Edut ja haitat	15
2.2 Kehikoihin kiinnitetyt kantoaineet.....	16
2.2.1 Prosessikuvaus	16
2.2.2 Käyttökokemuksia.....	18
2.2.3 Kustannukset.....	18
2.2.4 Edut ja haitat	19
3. Flotaatio	19
3.1 Prosessikuvaus	19
3.2 Käyttökohteita	21
3.3 Kustannukset	21
3.4 Edut ja haitat.....	21
4. Lamelliselkeytys.....	21
4.1 Prosessikuvaus	21
4.2 Käyttökokemuksia	23
4.3 Edut ja haitat.....	24
5. Rejektiviesien erilliskäsittely.....	25
5.1 Yleistä rejektiviesien merkityksestä.....	25
5.2 Biologiset käsittelymenetelmät	25
5.2.1 Panosprosessit	25
5.2.2 DN-prosessi.....	26
5.2.3 Sharon.....	26
5.2.4 Anammox	27
5.2.5 InNitri	28
5.2.6 Babe	29
5.2.7 Muut biologiset prosessit	30
5.3 Fysikaalis-kemialliset käsittelymenetelmät.....	31
5.3.1 Struviittisaostus.....	31
5.3.2 Ammoniakkistriippaus.....	31
5.3.3 Kustannukset.....	32
6. EM-tekniikka ja täsmämikrobit.....	32
6.1 EM-tekniikka.....	32

6.2 Täsmämikrobit	33
6.2.1 Pienpuhdistamot.....	33
6.2.2 Muut prosessit.....	33
7 Hydrolyysi	33
7.1 Prosessikuvaus	33
7.2 Käyttökokemuksia	35
7.3 Edut ja haitat.....	36
8. Aktiivilieteprosessin eri vaiheiden optimointi.....	36
9. Porrassyöttöiset aktiivilieteprosessit.....	37
9.1 Prosessikuvaus	37
9.2 Käyttökokemuksia	38
9.3 Edut ja haitat.....	39
10. Keraamiset kalvot.....	39
10.1 Prosessikuvaus	39
10.2 Edut ja haitat.....	40
11. Yhteenveto.....	41
12. Johtopäätökset ja suositukset.....	44
Lähteet.....	46

Johdanto

Espoon Veden Suomenojan jätevedenpuhdistamossa käsitellään Espoon jätevesien lisäksi Länsi-Vantaan, Kauniaisten ja Kirkkonummen jätevedet sekä Siuntion jätevesilietteet. Käsittelykapasiteetti on tulevaisuudessa ylittymässä viemärintialueen asukasmäärän kasvusta johtuvan jätevesimäärän lisääntymisen myötä, joten puhdistamon kapasiteettia on lisättävä.

Espoon Vesi on teettänyt Espoon ja sen naapurikuntien jätevesien puhdistusta koskevan pitkän tähtäyksen kehittämissuunnitelman, jossa tarkasteltiin kahta tekniseltä toimivuudeltaan vertailukelpoista perusvaihtoehtoa jätevesien käsittelylle tulevaisuudessa. Nämä olivat joko Suomenojan puhdistamon kehittäminen ja laajentaminen vastaamaan tulevaisuuden tarpeita tai uuden kalliotiloihin sijoitettavan jätevedenpuhdistamon rakentaminen.

Tehdyn vertailun perusteella kehittämissuunnitelmassa suositeltiin, että jätevesien käsittely siirretään vuoteen 2017 mennessä Suomenojalta kalliopuhdistamoon. Kaupunginhallituksen vahvistettua Espoon palveluliikelaitosten lautakunnan esityksen kalliopuhdistamovaihtoehdon ottamiseksi jatkosuunnittelun pohjaksi, Espoon Vesi velvoitettiin käynnistämään puhdistamohankkeen yva-menettely (ympäristövaikutusten arviointi).

Hankkeen tarkoituksena on kehittää Espoon Suomenojan jätevedenpuhdistamon viemärintialueen jätevesien käsittelyä niin, että puhdistamo pystyy käsittelemään lisääntyvän jätevesimäärän ja että puhdistustulosta pystytään entisestään parantamaan tulevaisuudessa tiukentuvien lupaehtojen mukaisesti. Hankkeen mitoitussuunnitelmassa käytetään vuotta 2040, mutta puhdistamon pitää pystyä toimimaan ja tarvittaessa laajentumaan hyvin pitkään vuoden 2040 jälkeenkin. Taulukkoon 1 on koottu arviot käsiteltävien jätevesien kuormituksesta tarkasteluvuosina 2017 ja 2040.

Pöyry Environment Oy on tehnyt ympäristövaikutusten arviointiselostukseen prosessitarkastelut vesiprosessi- ja lietteenkäsittelyvaihtoehtojen suhteen. Arviointiselostuksessa on tarkasteltu seuraavia vesiprosessivaihtoehtoja:

- typenpoisto aktiiviliete-prosessilla
- typenpoisto suodattimiin perustuvilla prosesseilla
- typenpoisto aktiivilietteen ja biologisen suodattimen yhdistelmällä
- kalvobioreaktori
- biologinen ravinteiden poisto kemikaloinnilla tehostettuna

Kaikissa tarkastelluissa vaihtoehdoissa fosforin poisto perustuu kemialliseen saostukseen.

Espoon Veden puhdistamohankkeen ympäristövaikutusten arviointiselostukseen liittyen Teknillisen korkeakoulun (TKK) Vesihuoltotekniikan laboratoriossa laadittiin tämä kirjallisuusselvitys vaihtoehtoisista vesiprosesseista, jotka eivät sisälly

arviointiselostuksessa esitettiin prosessitarkasteluihin. Kirjallisuusselvityksestä on lietteenkäsittelyvaihtoehdot rajattu pois.

Selvityksen tarkoituksena on tarkastella prosessien teknistä toteutettavuutta sekä soveltuvuutta Espoon mittakaavaan ja ilmasto-olosuhteisiin. Osa tarkastelluista prosesseista on vielä kehitysvaiheessa. Selvitykseen kerättiin myös referenssitietoja suurista kylmille alueille toteutetuista puhdistamoista.

TKK:n kirjallisuusselvitykseen on sisällytetty seuraavat prosessivaihtoehdot:

- vaihtoehtoiset esikäsittelymenetelmät
- aktiivilietealtaan prosessiyksiköiden järjestys, vuorottelu ja optimointi
- kantoaineprosessit
- prosessit, joissa käytetään puhdasta happea tai ilmaa happirikkaampaa kaasua
- lamelliselkeyttimet
- rejektivesien erilliskäsittelymenetelmät
- flotaatio
- räätälöityjä mikrobeja käyttävä EM-tekniikka
- keraamisen kalvojen käyttö jätevedenkäsittelyssä

Taulukko 1. Arvio käsiteltävien jätevesien kuormituksesta tarkasteluvuosina 2017 ja 2040

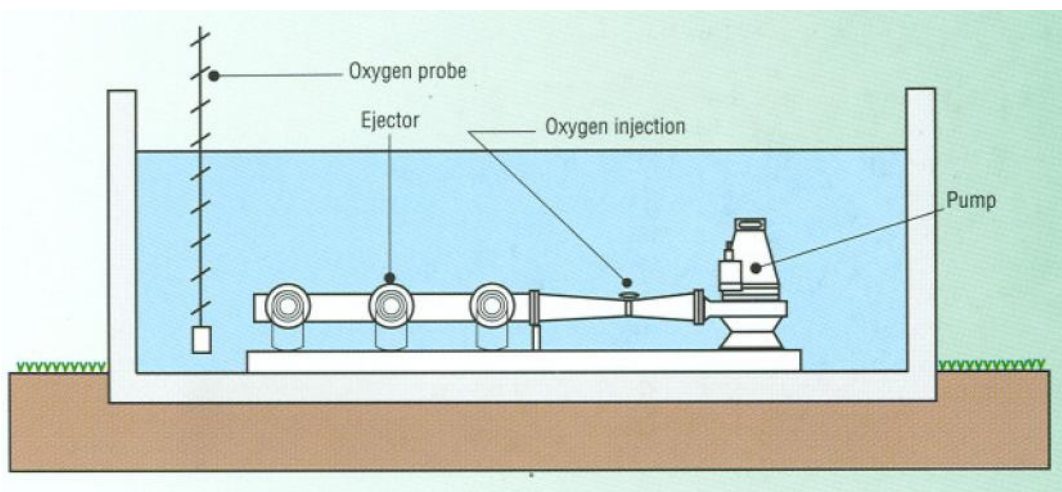
Parametri	Laatu	Ennusteet	
		vuonna 2017	vuonna 2040
Virtaama, Q_{ka}	m^3/d	105 000	143 000
Virtaama, q_{ka}	m^3/h	4 400	6 000
Virtaama, q_{mit}	m^3/h	-	7 150
Virtaama, Q_{max}	m^3/h	260 000	360 000
Virtaama, q_{max}	m^3/h	13 000	18 000
Virtaama, $Q_{max, biol.}$	m^3/h	-	10 000
BOD ₇	kg/d	21 800	33 100
COD _{Cr}	kg/d	54 100	-
Kiintoaine	kg/d	28 100	28 700
Kok. typpi	kg/d	5 800	7 800
Kok. fosfori	kg/d	840	1 350

1 . Puhdas happi -prosessit

1.1 Prosessikuvaus

Jätevedenkäsittelyprosesseja, joissa käytetään puhdasta happea tai ilmaa happirikkaampaa kaasua, on monenlaisia ja happea voidaan syöttää prosessiin usealla eri tavalla. Aktiivilietealtaan pohjalla voi olla suuttimia, joiden läpi happikaasu syötetään ja jotka hajottavat kaasun pieniksi kupliksi (esim. *SOLVOX-I*, *OXY-DEP* ja *VITOX*). Altaan pohjalle voidaan myös asentaa ilmastinmattoja, joiden kautta happi syötetään (esim. *SOLVOX-B*). On myös suljettuja pintailmastimilla varustettuja reaktoreita, joissa käytetään puhdasta happea (Esim. *UNOX*). Näitä voidaan käyttää esimerkiksi väliaikaisesti normaalia suuremman kuorman aikana.

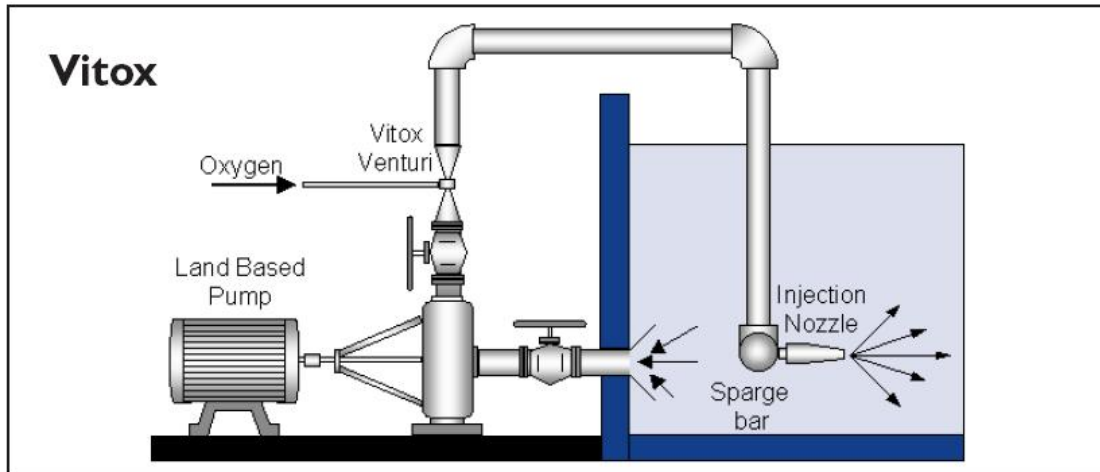
OXY-DEP-prosessissa jätevettä pumpataan ilmastusaltaasta läpi venturisuuttimen, johon happikaasu injektoidaan (kuva 1). Happirikas jätevesivirta syötetään takaisin ilmastusaltaaseen erityisesti prosessiin suunniteltujen ejektorien läpi. Prosessi soveltuu hyvin esimerkiksi normaalia suurempien kuormien käsittelyyn puhdistamon kuormituksen vaihdellessa, jolloin puhdistamoa ei ole tarvetta laajentaa. *Air Products* markkinoi myös prosessikokonaisuutta, jossa on happea paikan päällä *VSA*-tekniikalla tuottava molekyyli-seula mukana (*OXY-DEP VSA*). (*Air Products*, Thomas et al.)



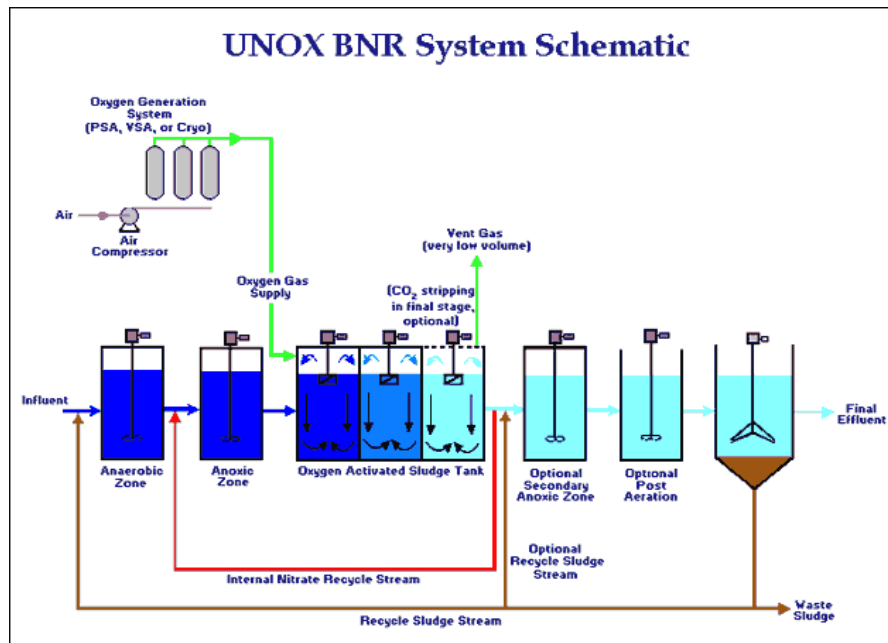
Kuva 1. *OXY-DEP*-prosessin kaaviokuva (*Air Products*)

BOC-yhtiön *VITOX*-prosessissa toimintaperiaate on samankaltainen kuin edellä kuvatussa *OXY-DEP*-prosessissa. Hapen syöttöä säännellään aktiivilietealtaan liuennon hapen konsentraation perusteella. *VITOX*-prosessissa pumppu on usein altaan vieressä ja happi syötetään aktiivilietealtaasta pumpatun jäteveden sekaan venturisuuttimeen (kuva 2). Happirikas jätevesi pumpataan takaisin aktiivilietealtaaseen suuttimen läpi.

Denitrifikaatiovaihe niissä VITOX-prosesseissa, joissa se on ollut tarpeen, on hoidettu samassa altaassa kuin nitrifikaatiovaihekin siten, että hapen syöttö on välillä lakkautettu ajastimella säädetyksi ajaksi. Pumppu kierrättää vettä silloinkin, kun happea ei syötetä, ja siten aikaansaadaan tarvittava sekoitus reaktorissa.



Kuva 2. VITOX-prosessin kaaviokuva (BOC Gases)



Kuva 3. UNOX-prosessi biologiseen ravinteidenpoistoon (M²T Technologies)

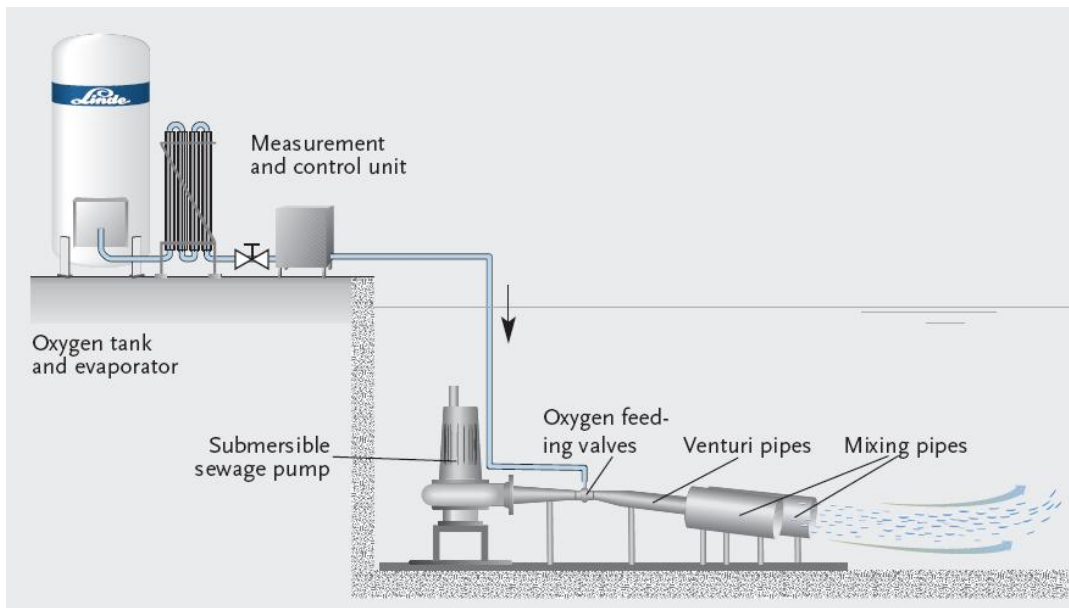
Joissain prosesseissa käytetään suljettuja reaktoreita, joihin happi syötetään käsiteltävän veden pinnan ja reaktorin katon väliin, ja joissa jätevesi hapetetaan pintailmastimilla (esim. UNOX). Ilmastuskaasun happipitoisuus pienenee kohden reaktorin loppupäätä, jossa on venttiili, jonka kautta kaasua päästetään reaktorista ulos. Nitrifioivien UNOX-

prosessien lisäksi on kehitetty myös biologiseen ravinteidenpoistoon soveltuva UNOX-prosessi (kuva 3). (M²T Technologies)

AGA on osa *Linde Gas* -yrittystä, jolla on jätevedenpuhdistusmenetelmiä, joissa käytetään puhdasta happea. AGA:n esitteessä mainitaan *LINDOX*-prosessi, jota voidaan hyödyntää vanhoja puhdistamoja uudistettaessa sekä uusia puhdistamoita suunniteltaessa (Linde AG, Törmänen 2008). *LINDOX* on sama prosessi kuin em. UNOX, jota siis markkinoidaan kahdella eri tuotenimellä.

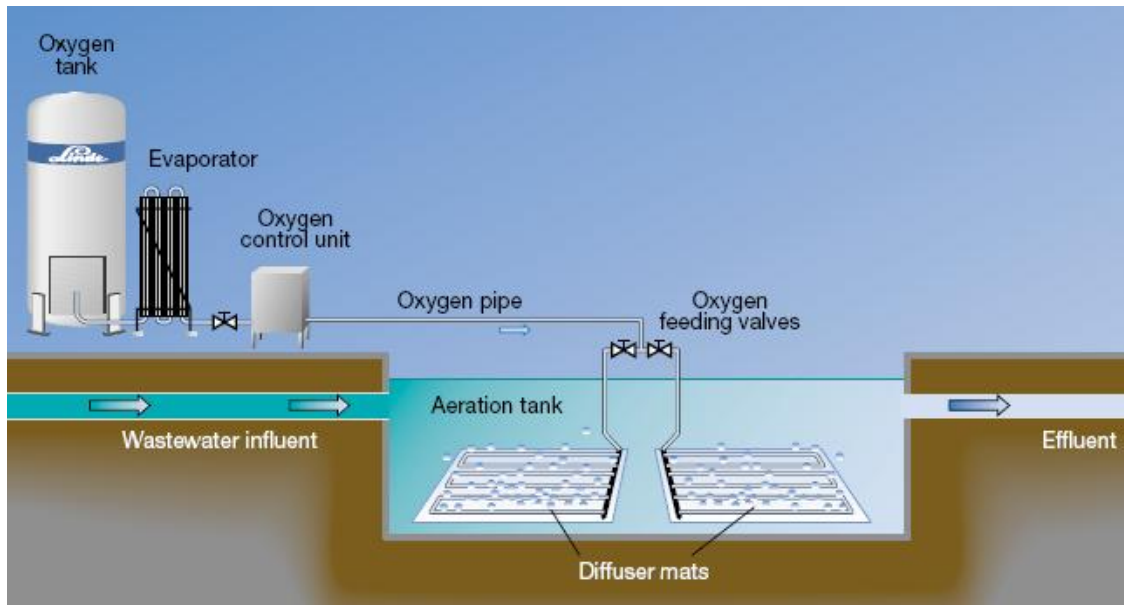
Myös *SOLVOX*-prosessit, joissa käytetään puhdasta happea, ovat Linde Gasin jätevedenpuhdistusprosesseja. *SOLVOX-I* ja *SOLVOX-V* ovat pitkälti samalla periaatteella toimivia kuin *VITOX*. Kuvassa 4 olevassa *SOLVOX-V*-prosessissa on venturiputket ja niiden jälkeiset sekoitusputket suunniteltu siten, että hapetusprosessin toiminta sekoittaa paremmin suuria sekä matalia aktiivilietealtaita. *SOLVOX-V* on uudempi ja paranneltu versio *SOLVOX-I*-systeemistä.

SOLVOX-B-prosessissa altaan pohjalle asennetaan ilmastinmattoja, joissa olevien diffuusioputkien kautta happi syötetään reaktoriin (kuva 5). *SOLVOX-B*-systeemiä voidaan käyttää aktiivilietealtaassa joko ainoana hapetusjärjestelmänä tai perinteisen ilmastuksen ohella esimerkiksi kuormitushuippujen aikaan.



Kuva 4. *SOLVOX-V*-prosessin kaaviokuva (Linde AG)

SOLVOX-prosesseissa on useita erilaisia mahdollisuuksia kokonaistypenpoiston aikaansaamiseksi. Aktiivilietealtaaseen voidaan syöttää happea jaksoittain, jolloin sinne muodostuu välillä denitrifikaatiolle suotuisat anoksiset olosuhteet. On myös mahdollista jakaa aktiivilieteallas lohkoihin, joista osaan syötetään happea ja osaan ei. (Linde Gas / AGA)



Kuva 5. SOLVOX-B-prosessin kaaviokuva (Linde AG)

Muita puhdasta happea käyttäviä prosesseja ovat mm. *Ventoxal*, *Turboxal* ja *Turboxal-2* (*Air Liquide*) sekä *I-SO* ja *Mixflo* (*Praxair*).

Ilmastukseen käytettävä happi voidaan tuoda säiliöissä tai putkea pitkin nestemäisessä muodossa puhdistamolle tai tuottaa esimerkiksi molekyyliseulojen, kuten PSA (pressure swing adsorption) ja VSA (vacuum swing adsorption) tai membraanien avulla ilmasta erottamalla happirikkaampaa kaasua (Haimi 2001).

Puhdasta happea voidaan käyttää myös esikäsittely-yksiköissä ennen aktiivilieteallasta, haju- ja korroosio-ongelmien vähentämisessä sekä erilaisissa typenpoistoprosesseissa.

1.2 Käyttökokemuksia

UNOX-prosesseja on maailmanlaajuisesti käytössä yli 200 laitoksella. Suurimmat puhdistamot, joilla UNOX-prosessi on käytössä ovat Deer Island Sewage Treatment Plant (*Boston*), *Detroit* Wastewater Treatment Plant ja Hyperion Plant (*Los Angeles*). (M²T Technologies) DISTP:lle on asennettu UNOX-yksiköitä kolmeen otteeseen, vuosina 1997, 1998 ja 2001. Happi valmistetaan puhdistamolla paikan päällä (Massachusetts Water Resources Authority).

Linden / AGA:n hapen käyttöön perustuvia jätevedenpuhdistusprosesseja on viidellä suomalaisella sellu- ja paperitehtaalla, mutta sopimusteknisistä syistä he eivät saa kertoa mitkä tehtaot ovat kyseessä. (Eilamo 2008a)

Myös OXY-DEP-prosesseja markkinoivan Air Products –yhtiön edustaja kertoi, että heillä on referenssejä monenlaisista laitoksista, mutta heillä ei ole tapana kertoa asiakkaitensa nimiä eikä heidän käyttämiään tekniikoitaan ilman asiakkaiden lupaa. (Dumas Taffarel 2008)

VITOX-prosesseja on sovellettu mm. suurimmilla brittiläisillä paperitehtailla, mutta tekniikkaa markkinoivalta BOC:lta ei ole saanut mainittavia referenssejä suuremmista yhdyskuntajätevedenpuhdistamoista.

Viimeisimmät VITOX-prosessien asennukset ovat pääosin olleet parannuksia happitasojen kanssa vaikeuksissa oleville konventionaalisille puhdistamoille. Tällöin on yleensä käytetty ns. VITOX Drop-In –yksiköitä, jotka upotetaan kokonaan ilmastus-altaaseen. 90-luvulla rakennetuista laitoksista valtaosa on edelleen toiminnassa, mutta suurin osa niistä on teollisuuslaitosten jätevedenpuhdistamoilla. Tällä hetkellä BOC markkinoi pakettia, jossa VITOX-prosessin jälkeen kiintoaine erotetaan kalvoilla selkeytysaltaiden sijaan. Tämä pienentää entisestään puhdistamoa varten tarvittavaa pinta-alaa. (Pigott 2008)

Aktiivilieteltaan pinnalla kelluvia I-SO prosesseja on käytössä yli sata. Niitä on hyödynnetty lähinnä Pohjois- ja Etelä-Amerikassa. (Praxair)

Saksassa ei ole pelkällä puhtaalla hapella toimivia Linde AG:n yhdyskuntajätevedenpuhdistamoita, mutta teollisuuden puolella sellaisia on. Yhdyskuntapuolella on sen sijaan puhdistamoita, joilla on silloin tällöin lisähapen syöttöön tarvittavia laitteistoja, joita ne käyttävät kausiluontoisesti korkean kuormituksen aikaan tai muissa häiriötilanteissa. (Eilamo 2008b)

Puhdas happi -jätevedenpuhdistusprosesseista löytyy niukalti tutkimustietoa viime vuosilta. Julkaistujen tutkimusten valossa vaikuttaa siltä, että puhdasta happea tai ilmaa happirikkaampaa kaasua hyödyntävät prosessit olivat suuremman kiinnostuksen kohteena 70-, 80- ja 90-luvuilla erityisesti Pohjois-Amerikassa. USA:ssa puhdasta happea käytettiin 2000-luvun alussa 20 % yhdyskuntajäteveden käsittelyyn (Hairston 2001). Euroopassa puhtaan hapen käyttö on harvinaisempaa ja vaikuttaa olevan suuntautunut enemmän teollisuusjäteveden käsittelyyn. Useimmiten ko. prosesseja on sovellettu puhdistamojen saneerauksen yhteydessä puhdistustehon parantamiseksi.

1.3 Kustannukset

AGA:n edustaja on arvioinut aktiivilieteprosessin (VE 1) maksimi-ilmantarpeen (29 500 Nm³/h) perusteella 90 % happea sisältävää kaasua tarvittavan 2 400 Nm³/h. 10 % kaasusta olisi tässä tapauksessa muuta kuin happea, joka riittäisi sekoittamaan allasta heidän arvionsa mukaan tarpeeksi. Jos happi tuotettaisiin paikan päällä ja hapen toimitussopimus olisi 15 vuoden mittainen, muodostuisi hapen hinnaksi 65 €/ tonni eli noin 213 €/h. Hapen tuottamiseen tarvittavan laitteiston vaatima tilantarve olisi noin 20 m x 25 m sekä back-up-säiliön vaatima tilantarve noin 25 m x 45 m, mikä lisää

osaltaan rakennuskustannuksia. Toisaalta tarvittava allastilavuus saattaisi olla pienempi kuin prosessissa, joka perustuu perinteiseen ilmastukseen, mikä toisi kustannussäästöjä. (Eilamo 2008c)

Pöyry Environment Oy on tarkastellut vastaavan prosessin käyttökustannuksia vuoden 2040 keskivirtaamalle 143 000 m³/d laskettuna. Biologisen käsittelyn energiakustannuksista suuri osa aiheutuu ilmastuksen energiankulutuksesta. Sen arvioitu kokonaishinta on noin 78 €/h, mikä ei siis kokonaan lankea ilmastuksen osalle. (Pöyry Environment Oy 2008)

Luvut eivät ole sikäli vertailukelpoisia, että Pöyryn laskelmien pohjana oleva keskivirtaama ei vaatine maksimi-ilmakapasiteettia, jonka pohjalta AGA:n laskelma on tehty. Laskelmissa on myös käytetty eri sähköenergian ostohintoja (Pöyry 70 €/MWh ja AGA 50 €/MWh). Kustannuslaskelmia tulisi vielä tarkentaa yhdenmukaisin lähtötiedoin, jotta saataisiin oikea kokonaiskuva eri vaihtoehtojen hintavertailuun.

1.4 Edut ja haitat

Puhtaan hapen syötöstä sanotaan laitevalmistaja Linde AG:n esitteessä olevan ylikuormittuneelle aktiivilietelaitoksille seuraavia hyötyjä: (1) parempi lietteen laskeutuminen, (2) suurempi lietekonsentraatio aktiivilietealtaassa, (3) pienempi lietekuorma, (4) matalammat BOD- ja COD-konsentraatiot käsitellyssä jätevedessä, (5) vähemmän hajuongelmia, sekä (6) paljon säätömahdollisuuksia tarpeen mukaan.

Puhdasta happea käyttämällä voidaan lisätä puhdistamojen kapasiteettia, tasata kuormitushuippuja sekä tehdä saneerauksien yhteydessä tilaa esim. denitrifikaatio-vaiheelle.

Air Products –yhtiön esitteessä sanotaan, että OXY-DEP-prosessi vaatii 60 % vähemmän pinta-alaa kuin konventionaaliset ilmaa käyttävät prosessit. (Air Products, Thomas et al.)

Praxairin esitteiden mukaan heidän prosessiensa energiakustannukset mukaan lukien hapen tuotanto ovat pienempiä kuin perinteisten ilmastuslaitteistojen. (Praxair)

Happea voidaan syöttää myös jätevesiputkistoihin, jolloin se ehkäisee hapettomien olosuhteiden syntymistä. Näin haju- sekä korroosio-ongelmat vähenevät, sillä hapen syöttö viemäriputkiin ehkäisee rikkivedyn syntyä. Sopivan mikrobikannan ollessa hapellisissa olosuhteissa verkostoja olisi mahdollista hyödyntää myös eräänlaisena esikäsitelyprosessina ennen varsinaista puhdistamoa. (Eilamo 2006)

2. Kantoaineprosessit

2.1 Vapaasti liikkuvat kantoaineet

2.1.1 Prosessikuvaus

Jätevedenkäsittelyyn on kehitetty monenlaisia vapaasti liikkuvia kantoaineita (kuva 6). Osa niistä on valmistettu vaahtomuovista (polyuretaani) (*Linpor, Captor*) ja osa kovasta muovista (polyetyleni, polypropyleeni) (*Kaldnes, Natrix, AWT, ANOX, FLOCOR-RMP*). Kantoaineiden pintaan muodostuu biofilmi, jonka avulla altaaseen saadaan suurempi biomassakonsentraatio kuin perinteisessä aktiivilietelaitoksessa. Kantoaineprosessien puhdistusteho on riippuvainen mm. kantoaineen suojatusta kokonaispinta-alasta.

Kantoaineprosesseissa esivälppäyksen tai –siivilöinnin tulee olla riittävän tehokasta, jotta partikkelit eivät tukkisi prosessien eri osien välisiä väliverkkoja. Sekoituksen on oltava riittävää, jotta kantoaineet eivät pakkaudu väliverkkoja vasten ja aiheuta patoamista. Koska ilmastimien huoltomahdollisuudet ovat rajatut, on kantoaineprosesseissa käytetty usein karkeakuplailmastimia, kuten altaiden pohjalle asennettuja reikäputki-ilmastimia. Prosesseissa on syytä olla pinnankorkeusmittaus ja –hälytys mahdollisen patoamisen varalta. (Huhtamäki 2007a)

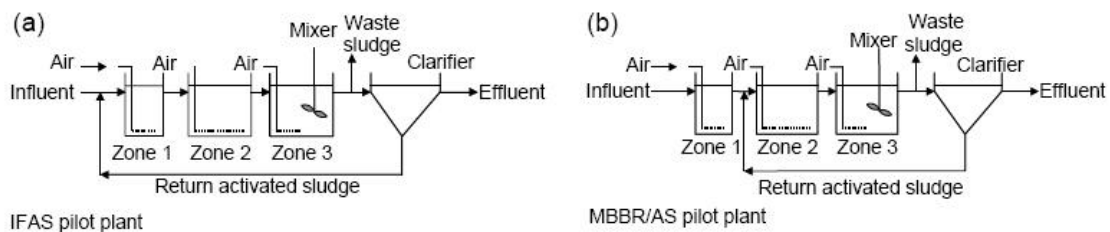


Kuva 6. Erilaisia kantoainekappaleita

2.1.2 Kokonaistyyppiä poistavat prosessit

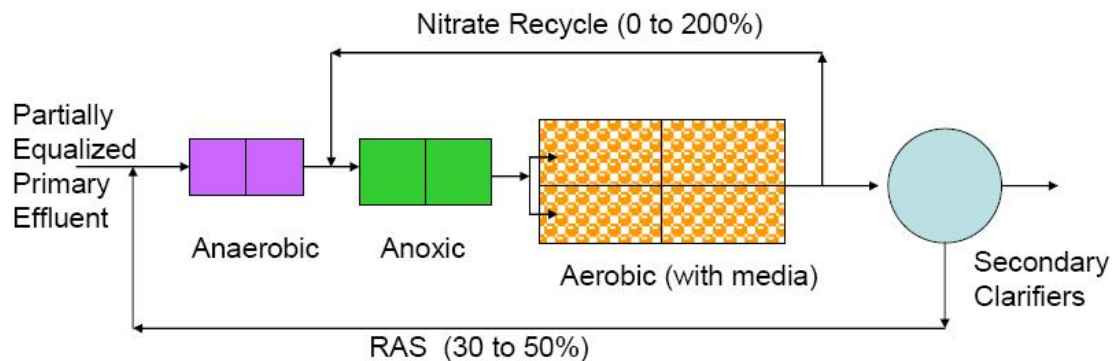
Tutkimuksessa vertailtiin IFAS- ja MBBR/AS-prosessien toimintaa (kuva 7). IFAS on hybridiprosessi, jossa aktiivilietettä kierrätetään myös kantoainetta sisältävä reaktorin läpi. MBBR/AS-prosessissa on alussa ilmastettu MBBR-läpivirtausreaktori, jossa on kantoainetta ja johon ei syötetä kierrätyslietettä. Sen jälkeen on aktiivilietereaktorit, joihin kierrätetään lietettä normaaliin tapaan. Molemmissa prosesseissa kantoaineen

täyttöaste ensimmäisessä reaktorissa oli 37 % ja kantoaineena AnoxKaldnesin K1. Korkeilla lämpötiloilla molempien prosessien orgaanisen aineen poistoaste oli korkea. Alhaisilla lämpötiloilla ja hiilikuormilla MBBR/AS-prosessin orgaanisen aineen poisto heikkeni, mutta IFAS-prosessin orgaanisen aineen poistoon em. tekijöillä ei ollut vaikutusta. Molemmat prosessit olivat täysin nitrifioivia korkeilla lämpötiloilla ja hiilikuormilla. MBBR/AS-prosessi osoittautui nitrifikaation suhteen vakaammaksi alhaisilla hiilikuormilla ja lämpötiloilla. Täysin nitrifioivissa olosuhteissa IFAS-prosessilla saavutettiin merkittävästi parempi kokonaistyyppireduktio. (Germain et al. 2007)



Kuva 7. IFAS- ja MBBR/AS-prosessien kaaviokuvat. Lohkossa 1 on kantoainetta (Germain et al. 2007)

Broomfieldin yhdyskuntajätevedenpuhdistamolla *Coloradossa* on käytössä AnoxKaldnesin IFAS-prosessi (kuva 8). Se otettiin käyttöön puhdistamon tehostamiseksi lisääntyneen väestön ja tiukentuneiden lupaehtojen vuoksi. Prosessissa on sekä anaerobisia, anoksisia sekä aerobisia lohkoja. Vain aerobisissa lohkoissa on kantoainetta (täyttöaste 30 %) ja prosessissa on lietteenkierrätys. Kok-N-reduktio puhdistamolla on 80 % ja käsitellyn jäteveden kokonaistyyppipitoisuus 8,6 mg/l. Suunnittelulämpötila prosessilla on 13 °C. (Rutt et al. 2006, AnoxKaldnes)

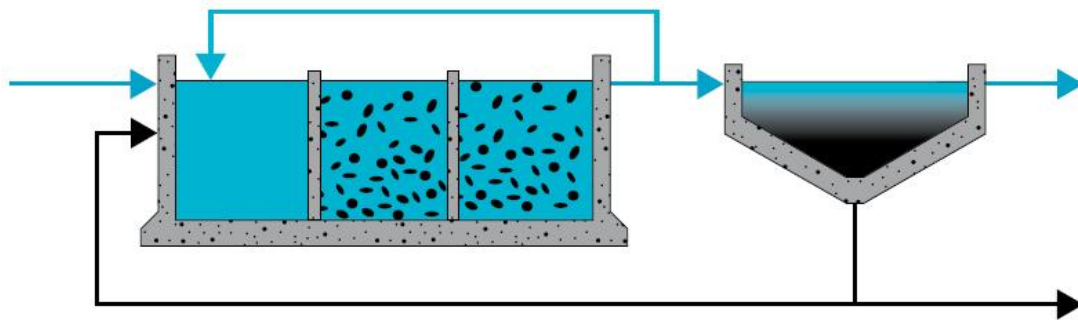


Kuva 8. Broomfieldin IFAS-prosessin kaaviokuva

Yucaipan (*Kalifornia*) puhdistamon kapasiteettia laajennettiin virtaamasta 120 000 m³/d virtaamaan 240 000 m³/d. Vaihtoehtoina olivat kokonaistyyppä poistavat IFAS-prosessit AnoxKaldnesin ja Linporin kantoaineilla. Tarjotuista prosessivaihtoehtoista tehtiin

kustannuslaskelmat niiden koko elinkaaren ajalle ottaen huomioon investointi- sekä käyttökustannukset. AnoxKaldnesin prosessi osoittautui vertailussa noin 9 % halvemmaksi. (Wallis-Lage et al. 2006)

Tutkimuksessa, jossa dynaamisen simuloinnin avulla tutkittiin MBBR- ja IFAS-prosesseja, mallit kalibroitiin ja verifioitiin Broomfieldin IFAS-puhdistamon ja Harrisburgin (*Pennsylvania*) MBBR-prosessin parametrien perusteella. Käytetyllä kantoaineella on sama aktiivinen pinta-ala kuin AnoxKaldnesin K1:llä. Tutkimuksessa todettiin, että prosessissa, jossa on jälkianoksinen vaihe, pystytään käyttämään suurempaa kantoaineen täyttöastetta kuin esi-anoksisella vaiheella varustetuissa prosesseissa johtuen virtaamien volyymeistä. MBBR-prosessissa saatetaan tarvita kemiallista saostusta parantamaan biofilmistä irronneen kiintoaineen ja biomassan laskeutusta toisin kuin IFAS-prosessissa. Liikkuvalla kantoaineella voidaan tehostaa jälki-anoksisen lohkojen denitrifikaatiotehoa suhteessa niiden tilavuuteen 30 – 50 %. MBBR-prosessin muuttaminen IFAS-prosessiksi voi lisätä prosessin nitrifikaatiotehoa tilavuutta kohden 150 – 200 %. (Sen et al. 2007)



Kuva 9. Kokonaistyyppä poistavan HYBAS-prosessin kaaviokuva (AnoxKaldnes)

2.1.3 Käyttökokemuksia

Vihdin kirkonkylän jätevedenpuhdistamon nitrifikaatiota pyrittiin tehostamaan lisäämällä kahteen peräkkäiseen ilmastusaltaaseen AnoxKaldnesin K1-kantoainetta. Tutkimuksessa havaittiin, että nitrifikaatio toimi hyvin kesä-elokuussa, mutta kylmänä vuodenaikana kantoaineen kapasiteetti ei ollut riittävä lupaehtojen täyttämiseen. Nitrifikaatioaltaan riittävän liuenneen hapen pitoisuuden havaittiin olevan keskimäärin 9,7 mg/l, minkä vuoksi ilmastuksen energiakustannukset olivat korkeammat kuin aktiivilieteprosessissa. (Hostikka ja Rantanen 2003).

Kaldnesin K1-kantoainetta käytettiin aerobisessa lohossa nitrifikaation tehostamiseksi toisella käytössä olleista koelinjoista *Espoossa* tehdyssä tutkimuksessa. Kantoainekappaleiden havaittiin lisäävän nitrifikaation luotettavuutta. Esimerkiksi hulevesien aikaan kantoainelinjalla oli vähemmän häiriöitä kuin vapaan lietteen linjalla, ja kantoainelinjan toiminta palautui nopeammin normaaliksi häiriön poistuttua.

Kantoainelinjan todettiin vaativan vapaan lietteen linjaa korkeamman liuenneen hapen pitoisuuden etenkin talvella. (Rantanen et al. 1999)

Euran saneeratulla jätevedenpuhdistamolla on käytössä kantoaineprosessi. Puhdistamolle johdetaan yhdyskuntajäteveden lisäksi myös teollisuusjätevesiä paperitehtailta sekä broilerikasvattamolta. Kantoainetta puhdistamolla on vain ilmastetuissa lohkoissa. Kantoaineet ovat kiinteästä muovista valmistettuja ja suhteellisen suurikokoisia (halkaisija 44 mm, korkeus 35 mm). Kokonaistypen reduktio oli 45 %, mutta prosessin optimointia on jatkettu paremman puhdistustuloksen saavuttamiseksi. (Tuominiemi & Huhtamäki 2005)

Raision puhdistamolla siirryttiin saneerauksen yhteydessä kokonaistypenpoistoon ja aktiivilietereaktorin ilmastettuihin lohkoihin lisättiin vapaasti liikkuvia kantoainekappaleita. Typen reduktio on ollut puhdistamolla välillä hyvä (70 - 80 %), mutta puhdistamolla on jouduttu tekemään runsaasti korjaustöitä saneerauksen jälkeen liittyen osittain kantoaineprosessin ominaispiirteisiin. (Huhtamäki 2006)

Malmössä Sjölundan jätevedenpuhdistamolla (550 000 AVL) on saneerauksen yhteydessä rakennettu jälkidenitrifikaatioreaktori, jossa on AnoxKaldnesin kantoainetta. Reaktoriin johdettu jätevesi tulee biosuotimista, joissa nitrifikaatio tapahtuu. Reaktoreiden yhteistilavuus on 6300 m³ ja kantoaineen täyttöaste 50 %. Käsitellyn jäteveden keskimääräinen kokonaistyyppipitoisuus on noin 5,4 mg/l ja kokonaistypen reduktio 82 %. (Hanner et al. 2003)

Oslon Bekkelagetin puhdistamolla (350 000 AVL) on käytössä jälkidenitrifikaatioreaktori, jossa on AnoxKaldnesin kantoainekappaleita.

2.1.4 Kustannukset

Tutkimuksen mukaan mikäli maanhankinta- tai rakennuskustannukset ovat merkittäviä, kantoaineprosessi on edullisin vaihtoehto. Muussa tapauksessa aktiivilietelaitos muodostuu yleensä halvemmaksi. Biofilmiprosessi vaatii noin 0,15 kWh/m³ enemmän ilmastusenergiaa kuin vastaava aktiivilieteprosessi.

Laitetoimittaja *Krügerin* edustajan (Osmo Hyyrynen) mukaan MBBR (AnoxKaldnesin kantoaineprosessi) ei ole hinnaltaan kilpailukykyinen vaihtoehto Espoon suunnitteilla olevan kalliopuhdistamon tapauksessa.

2.1.5 Edut ja haitat

Kantoaineprosessien huonoja puolia ovat väliverkkojen tukkeutumiseriski (altaiden tulviminen), kantoaineiden kuluminen ja rikkoutuminen, sekoitus haasteellista, huollettavuus ja altaiden tyhjentäminen hankalaa.

Hyviä puolia kantoaineprosesseissa on se, että niiden avulla pystytään tehostamaan aktiivilietelaitosten toimintaa kuorman tai puhdistusvaatimusten kasvaessa ilman, että allastilavuutta täytyy lisätä.

2.2 Kehikoihin kiinnitetyt kantoaineet

2.2.1 Prosessikuvaus

Cleartec Water Managementin valmistaman *Biotextil Cleartec* on aktiivilietealtaaseen kehikoihin kiinnitetyissä yksiköissä upotettava paikallaan pysyvä kantoaine. Polypropyleenistä valmistetun verkkomaisen kantoaineen pinta-ala on 320 - 450 m²/m³.

Aiemmin yhtiö nimeltä *Grünbeck* on markkinoinut samaa kantoainetta jonkin aikaa *Ringlace*-nimellä, vaikka se ei ole sama kantoaine kuin jo pitkään markkinoilla ollut Japanissa kehitetty *Ringlace*. (Jankowski 2008a)

Ringlace-prosessissa on kehyksiin pingotettuja joustavia PE-naruja, joihin on kiinnitetty pvc-renkaita. 80-luvulla on käytössä ollut myös *Bio-2-Sludge*-niminen prosessi. Siinä reaktoriin on upotettu kiinteitä kantoaineyksiköitä, joiden alapuolella on ilmastimia siten, että ne kierrättävät vettä kantoaineyksiköiden läpi. Myös muita vastaavia prosesseja on ollut käytössä. (Haimi 2006)

Biotextil Cleartec –prosessissa kantoaine-elementit on kiinnitetty kehikoihin siten, että niiden etäisyys toisistaan on $\geq 7,0$ cm. Kantoaineen yläreunan tulee olla vähintään 40 cm etäisyydellä veden pinnasta (mielellään > 60 cm). Alareunan tulee olla vähintään 40 cm ilmastinelementtien yläpuolella (mielellään 60 cm). Kehykset on yleensä kiinnitetty altaan reunoihin. Yksittäiset kehysyksiköt voidaan nostaa altaasta nosturilla prosessin ollessa käynnissä tarkistus- tai huoltotoimenpiteitä varten. Ilmastinelementit on myös kiinnitetty kehyksiin siten, että nekin nostetaan altaasta kehysyksiköiden mukana. (Cleartec Water Management 2008c)

96 cm levyisissä kantoainelakanoissa on vierekkäin yhteensä 16 alhaalta ylös kulkevaa biofilmin kasvualuetta, joista kukin on 2,5 cm levyinen. Kantoaineeseen voidaan sitoa biomassaa arvoon 0,05 kg TS/m² asti. Kaiken kaikkiaan kiintoainepitoisuutta voidaan prosessin avulla nostaa arvosta 2,5 – 4 g/l arvoon 5 – 8 g/l lisäämättä jälkiselkeyttämön kuormitusta. (Cleartec Water Management 2008a, Cleartec Water Management 2008c)

Prosessia on sovellettu toistaiseksi lähinnä tehostamaan jäteveden käsittelyä ilmastetuissa allaslohkoissa. Anaerobisissa reaktoreissa sitä on testattu korkeakuormitteisen tekstiiliteollisuuden jäteveden käsittelyssä. *Biotextil Cleartec* –prosessia on kuitenkin mahdollista käyttää reaktoreissa, joissa on mekaaniset sekoittimet. Tällöin sekoittimien täytyy asentaa siten, että sekoitus on biotekstiilien suuntaan imevää eikä niitä vasten painavaa. (Jankowski 2008b, Jankowski 2008c)

Syvimmät altaat, joissa prosessia on toistaiseksi sovellettu, ovat olleet syvyydeltään 5,5 m. Prosessin markkinoija on ilmoittanut suositellun altaiden maksimisyvyyden olevan 6 – 7 m, riippuen käytetyistä ilmastinyksiköistä. Nykyisissä sovelluksissa on käytetty hienokuplakalvoilmastimia, jotka toimivat hyvin em. syvyyteen asti, joten soveltuva altaan syvyys riippuu käytetyistä ilmastimista. Toinen altaan syvyyteen liittyvä huomioonotettava tekijä on se, että huoltotoimenpiteitä varten on pystyttävä nostamaan kehikot nosturilla riittävän korkealle, jotta kantoaineen ja ilmastimien kunto voidaan tarkastaa. Kantoaineena käytetyn biotekstiilin pituutta ei sinänsä ole rajoitettu, vaan se voidaan valmistaa kutakin sovellusta varten sopivan pituiseksi. (Jankowski 2008b)

Kantoaineeseen ei kerry paksuja biomassakerroksia, koska se on jatkuvassa pienessä liikkeessä ilmastuksen vuoksi ja ylimääräinen liete irtautuu tästä syystä. Koska kantoaineen pinnalla on stabiilit kasvuolosuhteet, siihen sitoutuvien organismien monimuotoisuus on suuri ja muodostuu pitkiä ravintoketjuja. Tämän vuoksi prosessin mukautuminen erilaisiin operointiolosuhteisiin on hyvä ja prosessin toiminta on stabiilia. (Cleartec Water Management 2008c)



Kuva 10. Biotextil Cleartec –yksiköitä ilmastusaltaassa

Prosessin aerobisten osien happipitoisuus voidaan pudottaa arvosta 2 mg/l arvoon 1,6 mg/l johtuen suuremmasta lieteiästä. Koska prosessissa on sekä liikkuvaa että kantoaineeseen sitoutunutta biomassaa, voidaan sillä parantaa puhdistustuloksia. Kantoaineeseen sitoutuneen biomassan ansiosta ilmastusaltaan lietepitoisuus kasvaa 30 - 50 % riippuen operointitavasta sekä lämpötilasta. (Cleartec Water Management 2008b, Cleartec Water Management 2008c)

Prosessin avulla lietteen laskeutumisoimaisuudet paranevat, mikä näkyy mm. alhaisempana lieteindeksinä (SVI). Biotextil Cleartec –prosessin avulla voidaan SVI laskea arvosta 140 – 200 ml/g arvoon 80 – 100 ml/g. (Cleartec Water Management 2008a)

Parannuksina samantyyppiseen Ringlaceen verrattuna Biotextil Cleartec –prosessilla on kestävämpi materiaali, suurempi kasvupinta-ala, alhaisemmat asennuskustannukset, biofilmin kasvualueet pysyvät vakioetäisyydellä toisistaan eivätkä ne takerru toisiinsa. (Jankowski 2008a)

2.2.2 Käyttökokemuksia

Vuosiin 2008/2009 mennessä referenssejä Biotextil Cleartec –prosesseille on noin 20, joista osa on yhdyskunta- ja osa teollisuusjätevedenkäsittelyssä. Suurin laitos, jossa saneeraus on käynnissä, on Terrassan puhdistamo *Barcelonassa* (450 000 AVL). Sovelluksia on Euroopassa, USA:ssa sekä Aasiassa. Suurin tällä hetkellä käytössä oleva ko. tekniikkaa hyödyntävä prosessi on saksalainen *Geiselbullachin* puhdistamo (250 000 AVL), jossa prosessia on testattu yli 10 vuotta.

Prosessia on käytetty nitrifikaatioon myös kylmissä olosuhteissa Mukwonagon (virtaama 5 700 m³/d) puhdistamolla *Wisconsinissa*. Testatessa prosessia siellä talviaikaan, vaihteli jäteveden lämpötila välillä 8 – 10 °C. Biotextil Cleartec –kantoaineen avulla pystyttiin aktiivilietealtaassa pitämään riittävästi nitrifioivaa biomassaa toisin kuin vertailulinjalla, jolla kantoainetta ei käytetty. (Nelson & Renner 2008)

2.2.3 Kustannukset

Konventionaaliseen aktiivilietepuhdistamoon nähden voidaan kokonaan ilmastetun aktiivilietealtaan tilavuutta pienentää noin 35 % ja selkeytysaltaan tilavuutta noin 42 % 100 000 asukkaan yhdyskuntajäteveden käsittelyssä Cleartec-biotekstiilitekniikan avulla. Säästöä investointikustannuksissa tästä seuraa valmistajan laskelman mukaan noin 3 200 000 € eli 32 € asukasta kohden. Kustannuslaskelmat on tehty käyttäen tavanomaista hintatasoa Saksassa, joten muissa maissa niissä saattaa olla eroja johtuen esimerkiksi materiaalihintojen vaihteluista. (Cleartec Water Management 2008b, Jankowski 2008c)

Samassa suhteessa (noin 35 %) voidaan pienentää myös ilmastettujen lohkojen tilavuutta prosessissa, jossa on sekä ilmastettuja että ilmastamattomia lohkoja, mikäli kantoainetta käytetään vain ilmastetuissa lohkoissa. Tämä alentaa osaltaan investointikustannuksia. (Jankowski 2008c)

Operointikustannuksia vähentää matalampi tarvittava happipitoisuus sekä alhaisemmat lietteenkäsittelykustannukset ylijäämälietteen pienemmän määrän johdosta. (Cleartec Water Management 2008b)

2.2.4 Edut ja haitat

Valmistajan esitteen mukaan prosessin etuina konventionaaliseen aktiivilieteprosessiin nähden ovat pienemmät ilmastus- ja laskeutusaltaat, korkea lieteikä, biomassakonsentraation kasvu sekä kyky hajottaa pitkäketjuisia orgaanisia yhdisteitä. Prosessi tarvitsee pienemmät investointikustannukset pinta-alan, allastilavuuden sekä ilmastusteknologian suhteen, vaatii vähemmän energiaa, tuottaa vähemmän lietettä ja on toiminnaltaan stabiilimpi aktiivilieteprosessiin verrattuna. Verrattuna prosesseihin, joissa on vapaasti liikkuvaa kantoainetta, Biotextil Cleartec in etu on mm. se, ettei tukkeutumista ja tulvimisriskiä ole sekä huoltotoimenpiteet ovat helpompia. (Cleartec Water Management 2008b)

Biotekstiilikantoaine on suhteellisen uutta teknologiaa, minkä vuoksi tutkimuksia, käyttökokemuksia ja referenssejä siihen liittyen löytyy niukalti muuten kuin ko. prosessia markkinoivan yhtiön omista testeistä. Cleartec Water Managementilta ei ole saanut tietoa mahdollisesta riippumattomien tahojen tekemästä tutkimuksesta, joista saisi vahvistusta prosessin esitteissä kerrotuille eduille. Prosessin käyttömahdollisuuksista ilmastamattomissa lohkoissa ei ole kokemuksia yhdyskuntajäteveden käsittelyssä. Prosessin käyttöönottoa ja huoltoa Espoon kalliopuhdistamolle suunnitelluissa aktiivilietealtaissa saattaa myös hankaloittaa niiden suunniteltu syvyys (15 m), sillä toistaiseksi prosessia on sovellettu suurimmillaan 5,5 m syvissä altaissa.

3. Flotaatio

3.1 Prosessikuvaus

Flotaatio on kompakti kiintoaineen erotusprosessi, jota voidaan käyttää yhdyskuntajätevedenpuhdistuksessa mm. jälkikäsitteilynä ja ohitusvesien käsittelyssä.

DAF-flotaatiossa (dissolved air flotation) kiintoaine erotetaan vedestä pienten ilmakuplien avulla. Ilmaa liuotetaan dispersioveteen paineen alla erillisessä säiliössä. Kun paine vapautetaan dispersiovedestä syöttämällä se suuttimien läpi flotaatioaltaan alkupäähän lähelle altaan pohjaa, vapautuu ilma mikrokuplina nostaen samalla niihin tarttuvan kiintoaineen altaan pinnalle lietteeksi. DAF-flotaatiossa mikrokuplien koko on tyypillisesti 40 – 70 µm ja ne sekoittuvat hyvin käsiteltävän vesimäärän kanssa flotaatioaltaaseen vapautuessaan. Dispersiovetenä käytetään yleensä flotaatioyksikössä käsiteltyä jätevettä. Riittävän suuri dispersioveden määrä on > 6 – 10 % prosessiin sisään tulevan veden virtaamasta. Normaalilla dispersioveden määrällä voidaan poistaa tehokkaasti kiintoainetta vedestä konsentraatioon 400 – 500 mg/l. Flotaation puhdistustehoa voidaan parantaa saostuskemikaalin ja polymeerin avulla. Kemikaalien syöttö voi olla ohjattu esimerkiksi sameusmittauksen perusteella. Mikäli flotaatiolla on eri käyttötarkoituksia,

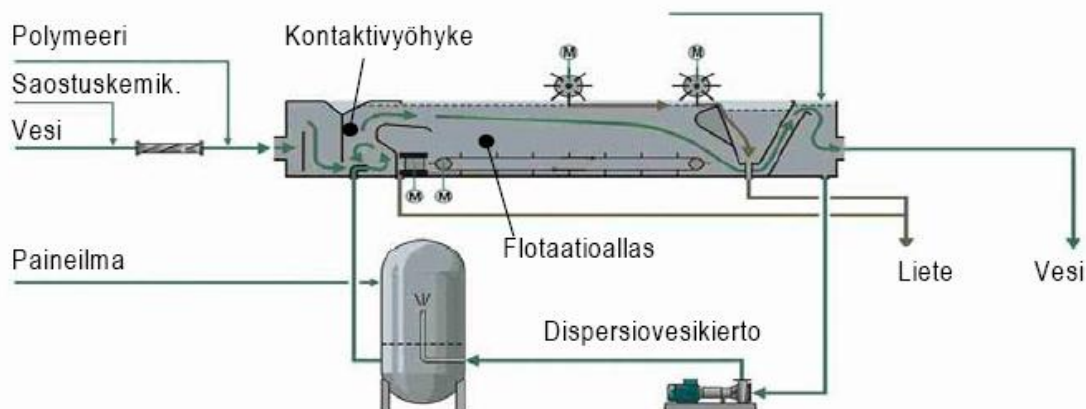
kemikaalien annostus tulee säätää sen mukaan, mitä vettä käsitellään. (Huhtamäki 2007b, Ødegaard 2001, Cheremisinoff 2002, Kiuru 2001)

Flotaatioaltaat voivat olla joko suorakaiteen muotoisia tai pyöreitä. Niitä edeltää usein erillinen flokkausreaktori, johon syötetään esim. saostuskemikaalia. Altaiden syvyys vaihtelee sovelluksesta riippuen. Flotaatioyksiköissä on alkupäässä pystysuuntainen levy, jota myöten vesi ja ilmakupliin sitoutunut kiintoaine johdetaan lähelle altaan pintaa. Flotaatioaltaat on useimmiten varustettu pintakaapimella, jonka avulla pinnalle kertynyt sakea liete poistetaan prosessista. Käsitelty jätevesi poistetaan flotaatioaltaasta altaan loppupäästä läheltä altaan pohjaa. Mikäli flotaatioyksikköä käytetään ohitusvesien käsittelyyn, tulee laitteistossa olla myös pohjalietteen poistojärjestelmä.

Flotaatioliete vastaa sakeudeltaan tiivistettyä lietettä, joten sen käsittely ei lisää puhdistamon sisäisiä vesikiertoja toisin kuin esimerkiksi hiekkasuodatus (huuhteluvedet).

Tyypillinen mitoituspintakuorma flotaatiolle jätevesisovelluksissa on nykyään noin 7 m/h. Uusimmat DAF-flotaatiotekniikoita pystytään operoimaan jopa hydraulisilla pintakuormilla 25 – 40 m/h. (Huhtamäki 2007b, Koivunen & Heinonen-Tanski 2008)

Kuopion kunnallisella jätevedenpuhdistamolla pilot-mittakaavan laitteistolla tehdyssä tutkimuksessa DAF-flotaatio havaittiin erinomaiseksi prosessiksi tertiäärikäsittelyssä sekä esiselkeytettyjen ohitusvesien käsittelyssä niin enteeristen mikrobien, fosforin, orgaanisen aineen sekä kiintoaineen määrän vähentämisessä. Saostuskemikaalimäärän ja dispersioveden kierrätysuhteen kasvattaminen paransivat tehokkaasti prosessin toimintaa. Hydraulisen pintakuorman nostaminen arvosta 5 m/h arvoon 10 m/h ei vaikuttanut merkittävästi prosessin puhdistustehoon. (Koivunen & Heinonen-Tanski 2008)



Kuva 11. Flotaation kaaviokuva (Huhtamäki 2007b)

3.2 Käyttökohteita

Suomessa flotaatiota käytetään yhdyskuntajätevedenpuhdistamoilla jälkikäsittelyssä Vaasassa, Raisiossa, Pietarsaareissa, Eurassa, Heinävedellä, Pieksämäellä, Tammisaareissa, Ähtärissä sekä Laihialla. Vaasassa ja Raisiossa flotaatiota käytetään ajoittain myös ohitusvesien käsittelyyn. (Huhtamäki 2007b, Koivunen & Heinonen-Tanski 2005)

Yhdyskuntajätevedenkäsittelyn lisäksi flotaatiota käytetään mm. erilaisissa teollisuuden sovelluksissa kuten öljyjen ja rasvojen erotuksessa, kaivosteollisuudessa sekä puunjalostusteollisuuden prosessien sisäisten vesien käsittelyssä. Sen käyttö on yleistä myös talous- ja raakaveden tuotannossa.

3.3 Kustannukset

Euran puhdistamolla (7500 m³/d) flotaation kemikaalikustannukset ovat noin 2,5 snt/m³ ja sähkönkulutus keskimääräisellä kuormituksella noin 0,2 kWh/m³ (noin 1 snt/m³). Suomalaisessa tutkimuksessa flotaation kustannuksia verrattiin hiekkapikasuodatuksen kustannuksiin mukaan lukien sekä investointi- että käyttökustannukset käsiteltyä jätevesikuutiota kohden. Flotaation todettiin olevan näistä kahdesta halvempi vaihtoehto. (Huhtamäki 2007c, Koivunen & Heinonen-Tanski 2005)

3.4 Edut ja haitat

Flotaation hyvinä puolina pidetään hyvää puhdistustulosta myös vaikeasti laskeutuvalla lietteelle ja pienille partikkeleille, pientä pinta-alan tarvetta, lyhyttä viipymäaika, suurienkin kiintoainepitoisuuksien hyvää sietokykyä sekä pientä lietteen tuottoa. Huonoina puolina flotaatiossa pidetään suurta energian ja kemikaalien tarvetta. (Huhtamäki 2007b, Ødegaard 2001)

4. Lamelliselkeytys

4.1 Prosessikuvaus

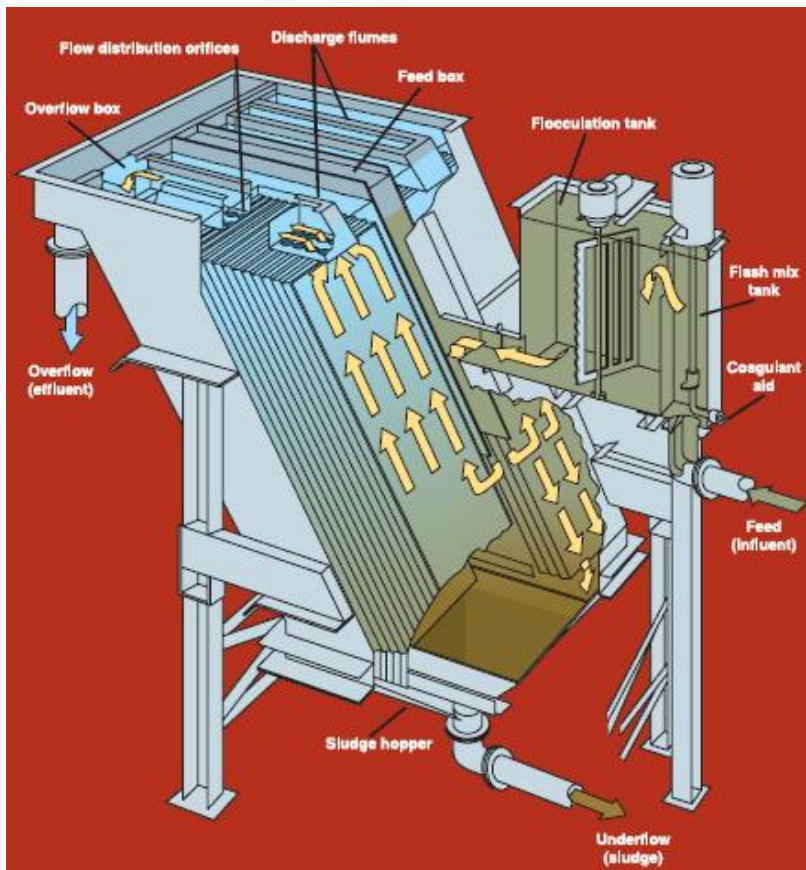
Lamelliselkeyttimessä on levyjä, jotka ovat 50 - 60 asteen kulmassa 5 - 10 cm välein. Yleisimmin käytetyssä vastavirtaprosessissa selkeytettävä jätevesi ohjataan useimmiten virtaamaan levyjen välissä alhaalta ylös (kuva 12). Kiintoaine laskeutuu levyjen pinnalle ja valuu gravitaation vuoksi alaspäin vesifaasin kulkiessa ylös välin toista puolta pitkin. Liette laskeutuu ja tiivistyy lamellilevyjen alla olevaan suppiloon tai suuremmassa

selkeyttimessä lietepoteroon, josta se kierrätetään takaisin aktiivilietealtaaseen tai pumpataan lietteenkäsittelyyn.

On myös lamelliselkeytysprosesseja, joissa vesi virtaus on järjestetty eri tavalla. Myötävirtaprosessissa vesi virtaa levyjen välissä ylhäältä alas samoin kuin lietekin. Ristivirtaprosessissa vesi virtaa levyjen välistä sivusuunnassa. Näissä prosesseissa on kuitenkin enemmän tukkiutumisen- ja huolto-ongelmia kuin vastavirtaprosesseissa eikä niiden lietteenerotuskyky ole yhtä hyvä. (Purac)

Lamelliselkeyttimien levyt voidaan valmistaa esimerkiksi PVC:stä, kuitulujitteisesta polymeeristä (FRP), alumiinista tai ruostumattomasta teräksestä. Eri materiaalit eroavat ominaisuuksiltaan mm. korroosionkeston, kestävyuden, muodonpitämisen, käsittelyn helppouden ja lietteen tarttumisen suhteen.

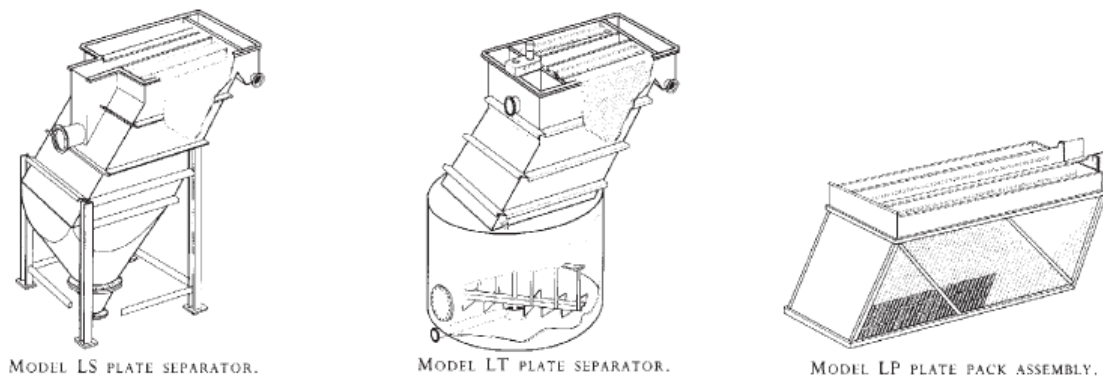
Lamelliselkeyttimen mitoittamiseen voidaan yleensä käyttää konventionaalisen selkeyttimen mitoittamiseen käytettävää kuormaa muuttamalla projisoitu pinta-ala konventionaalisen selkeyttimen vaatimaan pinta-alaan. (Parkson Corporation)



Kuva 12. Vastavirtalamelliselkeytin (Parkson Corporation)

Lamelliselkeytynyksikön voi asentaa myös aktiivilietealtaaseen. Altaasta poistuva vesi kulkee tällöin lamelliselkeyttimen läpi ennen jälkiselkeytystä, mikä mahdollistaa suuremman lietekonsentraation aktiivilietealtaassa. (Kolisch & Schirmer 2004)

Johnson-lamelliselkeyttimet vaativat kymmenesosan konventionaalisen selkeytsaltaan pinta-alasta. Jokaisella neliömetrillä lamelliselkeyttimen lattiapinta-alaa on esitteen mukaan 10 m^2 selkeytyspinta-alaa. Liikkuvia osia ei ole paljon, mikä vähentää operointi- ja huoltokustannuksia. (Johnson)



Kuva 13. Johnson LS-, LT- ja LP-yksiköiden kaaviokuvat (Nordic Water Products AB)

Johnson-laitteistoissa on kolme eri vaihtoehtoa: *LS*, jossa on lietteenkeräyssuppilo, *LT*, jossa on suurempi lietteentivistysyksikkö ja *LP*, joka voidaan asentaa esimerkiksi jo valmiina olevaan selkeytsaltaaseen sen kapasiteetin lisäämiseksi (kuva 13). *LS*- ja *LT*-yksiköiden eteen voidaan lisätä flokkauksreaktori, johon syötetään flokkaukskemikaalia selkeytyksen tehostamiseksi. Molempiin voidaan myös asentaa lietekaapimet. Ruotsalainen Johnson-yksiköitä markkinoiva *Nordic Water Products AB* on toimittanut lamelliselkeyttimiä yli 6 000 laitokselle 30 vuoden ajan. (Nordic Water Products AB)

Purac Gewe lamelliselkeyttimet tarvitsevat esitteen mukaan 10 – 20 % konventionaalisen selkeytsaltaan vaatimasta pinta-alasta. Investointikustannuksia säästy 25 – 50 % pienemmän tarvittavan pinta-alan johdosta.

4.2 Käyttökokemuksia

*Läckeby Water Groups*in kuuluvan *Puracin* lamelliselkeyttimiä ei juurikaan ole toimitettu Pohjoismaihin ja useimmat sovellukset ovat puhdasvesipuolella. Jätevedenkäsittelyssä ja erityisesti jälkiselkeytyksessä niiden käyttö ei ole yleistä. *Puracin* referenssilistalta löytyy muutama lamelliselkeyttimien sovellus jätevedenpuhdistamoilla: Ulu Pandan, *Singapore* ($10\,500 \text{ m}^3/\text{h}$), Jurong, *Singapore* (teollisuusjätevesi, $3\,300 \text{ m}^3/\text{h}$) sekä Como, *Italia* ($3\,000 \text{ m}^3/\text{h}$). (Holmström 2008)

Suomessa lamelliselkeyttäimiä markkinoivat ainakin *Oy WatMan Ab*, *Process and Layout Machinery Oy*, *VodaPro Oy* ja *EP Snetec Oy*.

WatMan on toimittanut lamelliselkeyttäimiä lähinnä teollisuuden tarpeisiin. Toimituksia heillä on ollut noin kaksikymmentä. (Halanperä 2008)

Process and Layout Machinery Oy edustaa saksalaisen *Reber Systematikin* lamelliselkeyttäimiä. Ne on tarkoitettu lähinnä suhteellisen suurien kiintoainepitoisuuksien sisältävien teknisten nesteiden mm. teollisuuden prosessivesien puhdistamiseen. Selkeyttimien koot ovat yleensä virtaamille 6 – 60 m³/h eli monta kertaluokkaa pienemmille virtaamille kuin Espoon suunnitteilla olevan puhdistamon mitoitusvirtaamat. (Pesola 2008)

Kansainvälinen konsulttitoimisto *Earth Tech* on käyttänyt lamelliselkeyttäintä joissakin suunnittelemissaan jätevedenpuhdistamoilla tai niiden saneerauksissa. Skotlannissa *Aberdeenin Nigg* –puhdistamolla (265 000 AVL) on esiselkeyttimenä lamelliselkeyttin kuten myös *East Workshires* Goolen puhdistamolla (37 000 AVL). (Earth Tech)

Toinen konsulttitoimisto *Enpure Ltd.* on myös käyttänyt lamelliselkeyttäintä esiselkeyttimenä projekteissaan. Esimerkiksi *Larnen* puhdistamolla (33 000 AVL) Pohjois-Irlannissa ja *Moa Pointin* puhdistamolla (250 000 AVL) *Wellingtonissa* Uudessa-Seelannissa on em. sovelluksia. Moa Pointin lamelliselkeyttin poistaa noin 60 % jäteveden kiintoaineesta. (Enpure Ltd.)

Tukholman Käppalan jätevedenpuhdistamolla on ollut lamelliselkeyttäimiä käytössä 90-luvulla ennen puhdistamon laajentamista. Lamelleja käytettiin aktiivilietteen selkeyttämiseen ennen flokkausreaktoreja ja jälkiselkeyttäimiä. (Palmgren 2008)

4.3 Edut ja haitat

Lamelliselkeyttäimiä on käytössä enimmäkseen teollisuusjätevedenkäsittelyssä. Suomessa ei ole käytössä lamelliselkeyttäimiä yhdyskuntajätevesien puhdistamoilla. Ylijäämälietteen palauttaminen laitoksen alkuun on myös hankalaa, mikä lisää esiselkeytyksessä on käytössä lamellit.

Lamelliselkeyttimien on todettu soveltuvan hyvin epäorgaanisen kiintoaineen laskeuttamiseen. Sen sijaan orgaanisen kiintoaineen kuten aktiivilietteen on havaittu aiheuttavan levyjen välien tukkeutumista, mikä lisää huoltotoimenpiteiden tarvetta. (Woodard & Curran 2006)

Konventionaalisen selkeyttimen vaativa pinta-ala on 5 - 10 -kertainen lamelliselkeyttimen vaatimaan pinta-alaan, joten lamelliselkeyttimen merkittävä etu on pienempi tilantarve.

5. Rejktivesien erilliskäsittely

5.1 Yleistä rejktivesien merkityksestä

Lietteenkäsittelyssä syntyy väkeviä rejktivesiä mädätettäessä, tiivistettäessä ja kuivattaessa lietettä. Suuria typpikonsentraatioita sisältävät rejktivedet johdetaan yleensä puhdistamon vesilinjan alkupäähän, jolloin niistä aiheutuu merkittävä sisäinen kierto. Rejktivesissä voi typpikonsentraatio olla yli 1000 mg/l. Vaihtoehtona rejktivesien kierrättämiseksi puhdistamolla on niiden erilliskäsittely. Tehokkaalla rejktivesien käsittelyllä voidaan puhdistamon alkuosan typpikuormaa vähentää 10 - 15 %.

Rejktivesien käsittelyyn on kehitetty sekä biologisia että fysikaalis-kemiallisia menetelmiä. Biologisten prosessien hyviä puolia on niiden edullisuus fysikaalis-kemiallisiin menetelmiin nähden sekä se, ettei niissä muodostu ei-toivottuja sivutuotteita. Ne poistavat ammoniumtyypen lisäksi myös jäteveden orgaanista tyyppeä. Mikäli prosesseissa on denitrifikaatiovaihe, on ulkopuolisen hiililähteen lisääminen yleensä tarpeen.

5.2 Biologiset käsittelymenetelmät

5.2.1 Panosprosessit

Useissa tutkimuksissa on testattu biologisia panosprosesseja rejktivesien käsittelyyn. Nitrifikaatio ja denitrifikaatio tapahtuvat näissä samassa reaktorissa. Niillä päästään yli 90 % kokonaistyyppireduktioihin. pH:n säätö on tarpeen, sillä nitrifikaatiovaiheessa pH laskee muuten liian alhaiseksi, mikä heikentää merkittävästi prosessien puhdistustehoa.

Ruotsissa on käytössä useita täyden mittakaavan biologisia panosprosesseja rejktivesien käsittelyssä. Joissain sovelluksissa käytetään puhdistamolle tulevaa jätevettä hiililähteenä rejktiveden erilliskäsittelyssä ja toisissa lisätään ulkopuolista hiililähdettä prosessiin. Käsitellyn veden ammoniumtyypen pitoisuuksissa päästään jopa alle 1 mg/l arvoon, vaikka lähtötaso on noin 500 mg/l. (Ruissalo 2006)

Jyväskylän Nenäinniemen puhdistamolla on tutkittu laboratoriomittakaavassa panosprosessin käyttöä rejktivesien käsittelyssä. Kokeissa saavutettiin 99 % ammoniumtyypen ja 85 - 94 % kokonaistyyppien reduktiot. (Ruissalo 2006)

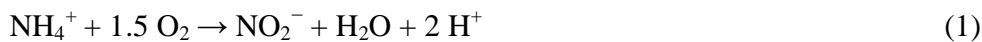
5.2.2 DN-prosessi

Jatkuvatoimisissa typenpoistoprosesseissa (esim. DN) nitrifikaatio- ja denitrifikaatio-vaiheet on eroteltu toisistaan. Kokonaistypen reduktio on parhaimmillaan noin 95 %.

Kuopion Lehtoniemen puhdistamolla on käytössä DN-typenpoistoprosessi rejektivesien erilliskäsittelyssä. Prosessia on sen käyttöönoton jälkeen tehostettu kantoainekappaleilla. (Ruissalo 2006)

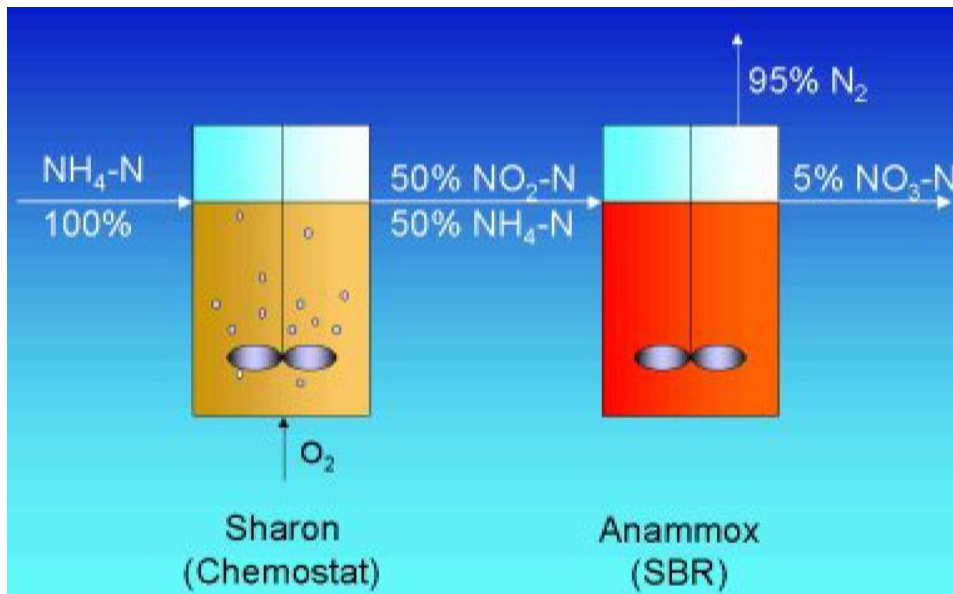
5.2.3 Sharon

Sharon-reaktorissa (Single reactor of bacteria for High activity Ammonia Removal Over Nitrite) hyödynnetään lietteenkäsittelyn rejektivesien korkeaa lämpötilaa, joka mahdollistaa mikrobien korkeat spesifiset kasvunopeudet. Prosessi tapahtuu 30 – 40 °C lämpötilassa sekoitetussa reaktorissa, johon johdetaan rajoitetusti ilmaa. Viipymäaika prosessissa on 1 – 2 vrk. Prosessissa hyödynnetään nitritaatiota konventionaalisen nitrifikaation sijaan ja typpi hapetetaan nitriitiksi:



Koska prosessissa on lyhyt viipymäaika ja korkea lämpötila, eivät nitriittiä nitraatiksi hapettavat bakteerit menesty reaktorissa. Prosessissa tapahtuva reaktio on eksoterminen eli lämpöä tuottava. Lisälämmitystä saatetaan silti tarvita talvella riippuen paikallisesta ilmastosta. Denitrifikaatio voidaan toteuttaa prosessissa käyttämällä esimerkiksi metanolia lisähiililähteenä.

Sharon-prosessi vaatii pienemmän pinta-alan kuin perinteinen nitrifikaatioon ja denitrifikaatioon perustuva prosessi. Alankomaissa on kuudella jätevedenpuhdistamolla Sharon-prosessiin perustuva rejektiveden erilliskäsittely. Suurin Sharon-prosessin sovellus on otettu käyttöön vuonna '07 New Yorkissa (Wards Island WWTP, AVL 3 000 000). Sharon-prosessin on arvioitu olevan kustannuksiltaan 0,9 - 1,4 €/ kg N poistettu. (van Loosdrecht & Salem 2006)



Kuva 14. Sharon-Anammox-prosessi

5.2.4 Anammox

Sharon-prosessia voidaan käyttää myös yhdessä Anammox-reaktorin (ANAerobic AMMONium OXidation) kanssa, jolloin noin 50 % ammoniumtypestä hapetetaan Sharon-reaktorissa nitriitiksi.

Alankomaissa on kehitetty erityisesti hyvin korkeita ammoniumpitoisuuksia sisältävien vesien käsittelyyn tarkoitettuja *Sharon-Anammox*-prosesseja. Niillä päästään yli 95 % ammoniumtyypen ja noin 90 % kokonaistypen reduktioihin. Prosessi toimii stabiilisti jopa kuormilla yli 10 kg N/m³ d. (Abma et al 2006)

Ennen toista biologista vaihetta poistetaan vedestä kiintoainetta, mikä edesauttaa Anammox-rakeiden muodostumista. Eräissä yhdyskunta-puhdistamოსovelluksissa käytetään tähän lamelliselkeytintä. Seuraavaksi vesi johdetaan anoksiseen Anammox-reaktoriin, jossa nitriitti ja ammonium muuttuvat typpikaasuksi ja vedeksi. Reaktioon ei tarvita ulkopuolista hiililähdettä. Reaktioon osallistuvat autotrofiset bakteerit ovat hitaasti lisääntyviä, minkä vuoksi viipymääjan täytyy olla riittävän suuri, jotta bakteerit eivät huuhtoudu pois. Reaktio tapahtuu seuraavan yhtälön mukaisesti:



Anammox-prosessi toimii parhaiten käytettäessä rakeista lietettä. Anammox-biomassasta muodostuu rakeita, joiden halkaisija on noin 1 mm. Rakeisen lietteen pinta-ala on suurempi kuin kantoaineeseen kiinnittyneen, minkä vuoksi myös aineensiirto on tällöin tehokkaampaa. Käytettäessä rakeista lietettä prosessissa tarvitaan myös lietteen laskeutus,

jotta biomassan viipymä olisi riittävä. Reaktorin sekoitus on helpompaa, kun käytetään rakeista lietettä verrattuna kantoaineeseen. (Abma et al. 2007)

Anammox-prosessi tarvitsee tilaa vähemmän kuin puolet konventionaaliseen aktiivilieteprosessiin nähden. Energiaa Anammox-prosessi käyttämiseen tarvitaan 60 % vähemmän perinteiseen prosessiin verrattuna. Lietteen tuotto Anammox-prosessilla on vähäistä. Täyden mittakaavan laitoksia on käytössä neljä, joista yksi on *Rotterdam*in yhdyskuntajätevedenpuhdistamon (Dokhaven, 620 400 AVL) rejektivesien käsittelyyn. (Abma et al. 2007, van der Star et al. 2007)

Huonona puolena Anammox-prosessissa on sen käynnistämisen hitaus. Ensimmäisen täysimittakaavaisen prosessin käynnistämiseen kului yli kolme vuotta, mutta viimeisimmän käyttöönotetun sovelluksen käynnistys kesti kaksi kuukautta. Ensimmäisen sovelluksen kohdalla käynnistämistä hidasti kokemuksen puute, epäoptimaalinen mitoitus sekä se, ettei sopivaa Anammox-siemenlietettä ollut saatavilla. (Abma et al. 2007, van der Star et al. 2007)

5.2.5 InNitri

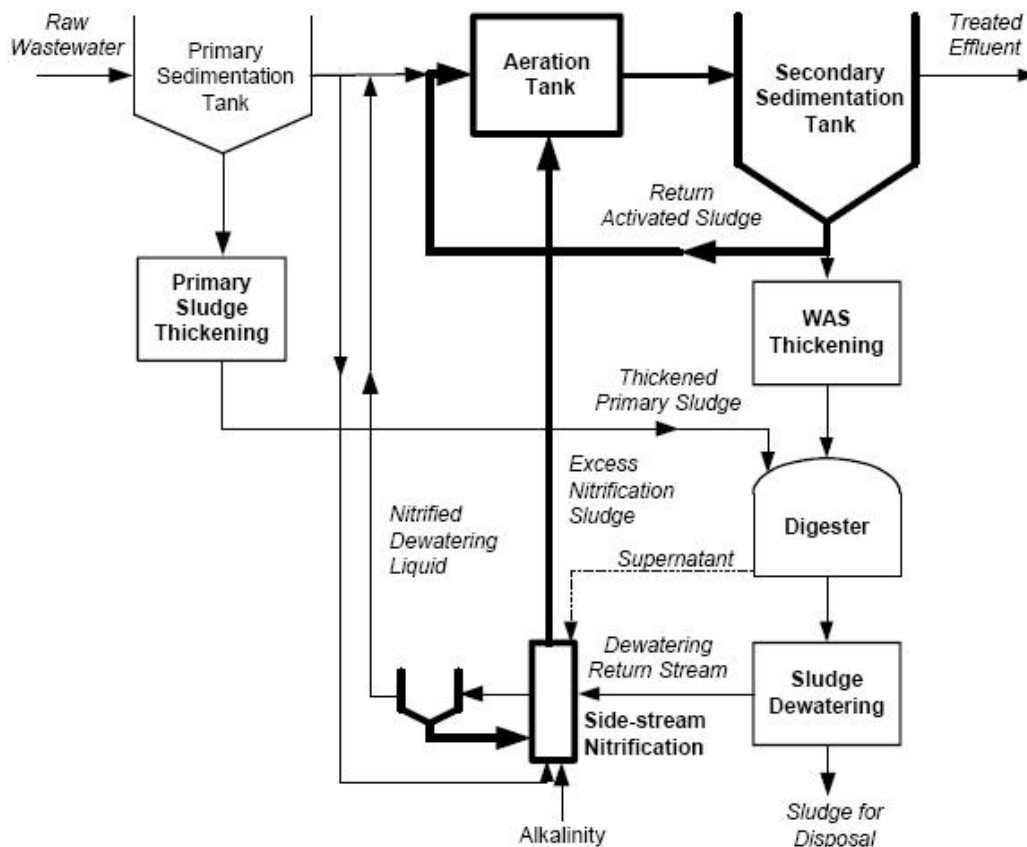
InNitri (Inexpensive Nitrification) on jäteveden tehostettuun nitrifikaatioon kehitetty prosessi, jota markkinoi Mixing & Mass Transfer (M²T) Technologies).

Nitrifikaatio tapahtuu InNitri-prosessissa lyhyellä lietteen viipymääjalla (SRT) myös alhaisilla lämpötiloilla ja reaktori vaatii merkittävästi pienemmän pinta-alan konventionaaliseen nitrifikaatioreaktoriin nähden.

Prosessissa aktiivilietereaktoriin lisätään jatkuvatoimisesti nitrifioivia bakteereja korvaamaan ylijäämälietteen mukana poistettuja nitrifioivia bakteereja. Lisättäviä bakteereita kasvatetaan erillisessä pienessä sivuvirtaprosessissa, joka koostuu ilmastusaltaasta ja selkeyttimestä. Sivuvirtaprosessiin syötetään runsaasti ammoniumtyyppä sisältävää ja lämmintä rejektivettä joko lietteen mädätyksestä tai lietteen vedenpoistosta.

Mallintamalla on InNitri-prosessin havaittu tarvitsevan noin 60 % konventionaalisen nitrifikaatioprosessin lietteen viipymääjasta (SRT). Tästä johtuen se mahdollistaa merkittäviä kustannussäästöjä alhaisen lämpötilan jätevesiä käsitellessä. (EPA 2007)

Toistaiseksi InNitri-prosessista ei ole täyden mittakaavan sovelluksia. Kokonaistypenpoistoa ajatellen prosessista on hyötyä lähinnä nitrifikaation tehostamiseen, mutta denitrifikaatio tulee toteuttaa normaaliin tapaan esimerkiksi aktiivilietealtaan anoksissa lohkoissa.

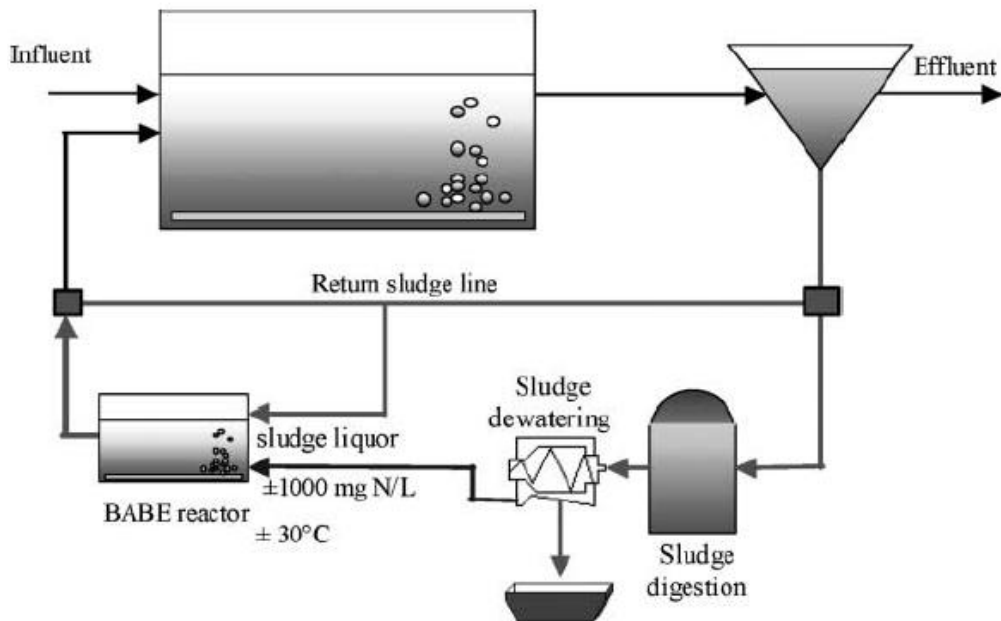


Kuva 15. InNitri-prosessi

5.2.6 Babe

Babe (BioAugmentation Batch Enhanced) on biologinen yhdessä altaassa toimiva panosprosessi, joka soveltuu suurilla ammoniumtyppipitoisuuksia sisältävien reaktivesien käsittelyyn. Prosessissa on viisi vaihetta: (1) täyttö, (2) sekoitus ja ilmastus. (3) sekoitus, (4) laskeutus ja (5) laskeutus ja tyhjennys. Prosessi toimii 20 – 25 °C:n lämpötilassa. Mikäli lämpötila on alhaisempi, täytyy reaktorin tilavuutta kasvattaa merkittävästi. (EPA 2007)

Laboratoriomittakaavan tutkimuksessa Babe-prosessilla on saavutettu 90 % Kjeldahl-typireduktio. Täyden mittakaavan Babe-prosessin sovellusta on testattu Alankomaissa Groningenissa (*Garmerwolden* puhdistamo, 300 000 AVL). (STOWA 2006a)



Kuva 16. Babe-prosessi

Babe-prosessilla on kaksi päätarkoitusta: sivulinjan rejektivesien biologinen käsittely sekä nitrifioivien bakteerien kasvattaminen päälinjalle. Se voi tarjota enemmän tilaa denitrifikaatiovyöhykkeelle päävesiprosessilinjalla nitrifikaation ollessa riittävän tehokasta. Tutkimuksessa todettiin, että valtaosa nitrifioivista bakteereista Babe-reaktorissa olivat samantyyppisiä kuin päävesilinjalla. Optimaalinen lietteen viipymäaika (SRT) Babe-reaktorissa vaihteli välillä 0,50 – 2 d riippuen nitrifioijien hajoamisnopeudesta ja reaktorin tyypikuormasta. (Salem et al. 2004)

5.2.7 Muut biologiset prosessit

Rejektivesien käsittelyyn on käytetty myös kalvobioreaktoria sekä erilaisia biofilmprosesseja (mm. kantoaine-prosessit). Kokeissa, joissa testattiin sekä kantoaineprosesseja että vapaan lietteen prosesseja, osoittautuivat kantoaineprosessit hyvän nitrifikaatioasteen kannalta varmemmiksi. (Ruissalo 2006)

5.3 Fysikaalis-kemialliset käsittelymenetelmät

5.3.1 Struviittisaostus

Struviittisaostuksessa rejektivesien sisältämää liukoista ammoniumtyyppiä saostetaan magnesiumilla ja fosfaatilla nostamalla pH:n arvoon 8,5 - 10. Toinen nimi em. prosessille on magnesium-ammonium-fosfaatti-prosessi (*MAF*-prosessi). Saostuneet $MgNH_4PO_4$ -kiteet laskeutuvat reaktorin pohjalle. (Ruissalo 2006)

MAF-prosessilla on päästy kokeissa 85 - 90 % ammoniumtyppireduktoon. Haittapuolena prosessissa on sen kemikaaleista johtuva kallis hinta. Tämän vuoksi on pyritty magnesiumin ja fosfaatin kierrätykseen takaisin prosessin alkuun, mutta se on joissain tapauksissa osoittautunut ongelmalliseksi. (Ruissalo 2006)

Laboratoriomittakaavan kokeissa saavutettiin panosreaktorilla mädättämön rejektivesistä 92 % ammoniumreduktio. Kierrätettyjen kemikaalien teho heikkeni kokeissa ajan mittaan epäaktiivisten komponenttien muodostumisen myötä. (Türker & Celen 2007)

Prosessia käytetään myös mm. kaatopaikkojen suotovesien käsittelyssä ja muissa jätevedenkäsittelysovelluksissa.

5.2.2 Ammoniakkistriippaus

Ammoniumtyyppiä voidaan poistaa rejektivesistä strippaamalla sitä nestefaasista kaasufaasiin esimerkiksi ilmalla ja vesihöyryllä. Ennen strippausta on ammonium muutettava ammoniakiksi nostamalla veden pH-arvoa. Prosessissa vapautunut ammoniakki sidotaan esimerkiksi rikkihapolla ammoniumsulfaatiksi. Höyrystriippausprosessissa on testeissä saavutettu yli 90 % typpireduktio. (Ruissalo 2006)

Lietteenkäsittelymenetelmistä anaerobisesta mädätyksestä tuleva rejektivesi on strippausprosessia varten parempi vaihtoehto kuin termisestä käsittelystä tuleva rejektivesi alhaisemman COD-pitoisuuden vuoksi. Toisaalta anaerobisen käsittelyn jälkeen rejektivedessä on runsaasti hiilidioksidia, joka täytyy poistaa ennen strippausta. Alhaisessa lämpötilassa tarvitaan strippaukseen enemmän kaasua, koska ammoniakin liukoisuus veteen on tällöin suurempi. (Ruissalo 2006)

Strippausprosessi on halvempi kuin esimerkiksi struviittisaostus, mutta kalliimpi kuin biologiset käsittelymenetelmät. Haittapuolina on prosessin monimutkaisuus sekä syntyvien kaasujen käsittelytarve. (Ruissalo 2006)

5.2.3 Kustannukset

Fysikaalis-kemialliset käsittelymenetelmät ovat biologisia menetelmiä merkittävästi kalliimpia. Esimerkiksi Sharon-prosessiin verrattuna niiden kustannukset ovat 5 - 9 kertaa korkeammat. (van Loosdrecht & Salem 2006)

6. EM-tekniikka ja täsmämikrobit

6.1 EM-tekniikka

Japanilainen professori *Teruo Higa* kehitti 1980-luvulla räätälöidyn mikrobiseoksen, jota kutsutaan nimellä markkinanimellä *EM, Effective Microorganisms*. Seoksen sanotaan vaikuttavan positiivisesti monenlaisiin asioihin aina maanviljelystä terveystuotteisiin elintarvikkeisiin ja mm. puhdistavan jätevedettä. EM-mikrobeja myydään mm. jauheena, liuoksena ja keraamisiin kappaleisiin sekoitettuna.

EM-tekniikan käytöstä jätevedenkäsittelyssä on julkaistu lukuisia tutkimuksia Kiinassa (kiinaksi). Muuten aiheesta löytyy niukasti tutkimustietoa, toki EM-valmisteiden markkinoijien mainostekstejä on saatavilla.

EM-mikrobien vaikutusten tutkimista hankaloittaa se, etteivät valmistajat yleensä kerro valmisteensa tarkkaa koostumusta. EM-seos sisältää ainakin maitohappobakteereita, fotosynteettisiä bakteereita, hiivoja, sädebakteereita sekä fermentoivia sieniä. Suomessa niiden tutkimiseen ei ole saatu tarvittavaa rahoitusta. Menetelmän toimivuudesta ei ole tieteellistä näyttöä. (Lehtovaara 2007)

Tutkimuksessa, jossa selvitettiin, että pienentääkö EM-tekniikka puhdistamolietteen tilavuutta päädyttiin johtopäätökseen, ettei lietteen tilavuudessa ollut riittävää muutosta. EM-tekniikan käyttöä tutkittiin *Coffs Harbourin* puhdistamolla sekä viidessä septitankissa. Puhdistamolla tuloksista ilmeni EM-annoksen lisäämisen aiheuttavan merkittävää pH-arvon laskua, lietteen parempaa laskeutumista ja merkittävää BOD₅-arvon kasvua. (Szymanski & Patterson 2003)

6.2 Täsmämikrobit

6.2.1 Pienpuhdistamot

Rovaniemeläinen *Juvegroup Oy*:n tytäryhtiö *Clewer Oy* on markkinoinut täsmämikrobeja (tailor-made biofilm) hyödyntävän CLEWER-prosessin jätevedenkäsittelyyn. Sopivat mikrobit räätälöidään erityisesti jokaista sovelluskohdetta varten. Yhtiön mainostekstin mukaan prosessi saadaan kantoaineeseen adsorboitujen täsmämikrobien avulla kompaktimmaksi, tehokkaammaksi sekä vähemmän lietettä tuottavaksi.

CLEWER-puhdistamot ovat kompakteja pienpuhdistamoita, joita markkinoidaan lähinnä haja-asutusalueiden jätevedenkäsittelyyn sekä teollisuuden tarpeisiin. Suurempien jätevesimäärien käsittelyyn puhdistamoita asennetaan useita rinnakkain. Suurempia sovelluksia on mm. kaatopaikkojen suotovesien käsittelyyn. Yhdyskuntajätevedenpuhdistuksesta ei yrityksen www-sivuilla mainita suuren mittakaavan referenssejä.

Teollisuusjäteveden käsittelysovelluksessa (Oras Oy:n tehdas) saatiin yhtiön tiedotteen mukaan hapenkulutus putoamaan kymmenesosaan lähtötasosta. Puhdistustaso on pysynyt vastaavana kuin aiemmin ja myös raskasmetalleja on poistettu täsmämikrobien avulla. Syntyvän lietteen määrä on vähentynyt ja energiaa säästetty. (Kaitasalo 2001)

6.2.2 Muut prosessit

Kiinalaisessa tutkimuksessa täsmämikrobeja käytettiin käsiteltäessä jätevettä kalvobioreaktorilla (MBR) pilot-mittakaavassa. Tutkimuksessa käytettiin sekä heterotrofisia että autotrofisia bakteereita. Bakteerien lisäys lyhensi selvästi kalvobioreaktorin käynnistysaikaa. Myös prosessin nitrifikaatio parani ja toiminta stabiloitui bakteerien lisäyksen myötä. (Jin et al. 2005)

7 Hydrolyysi

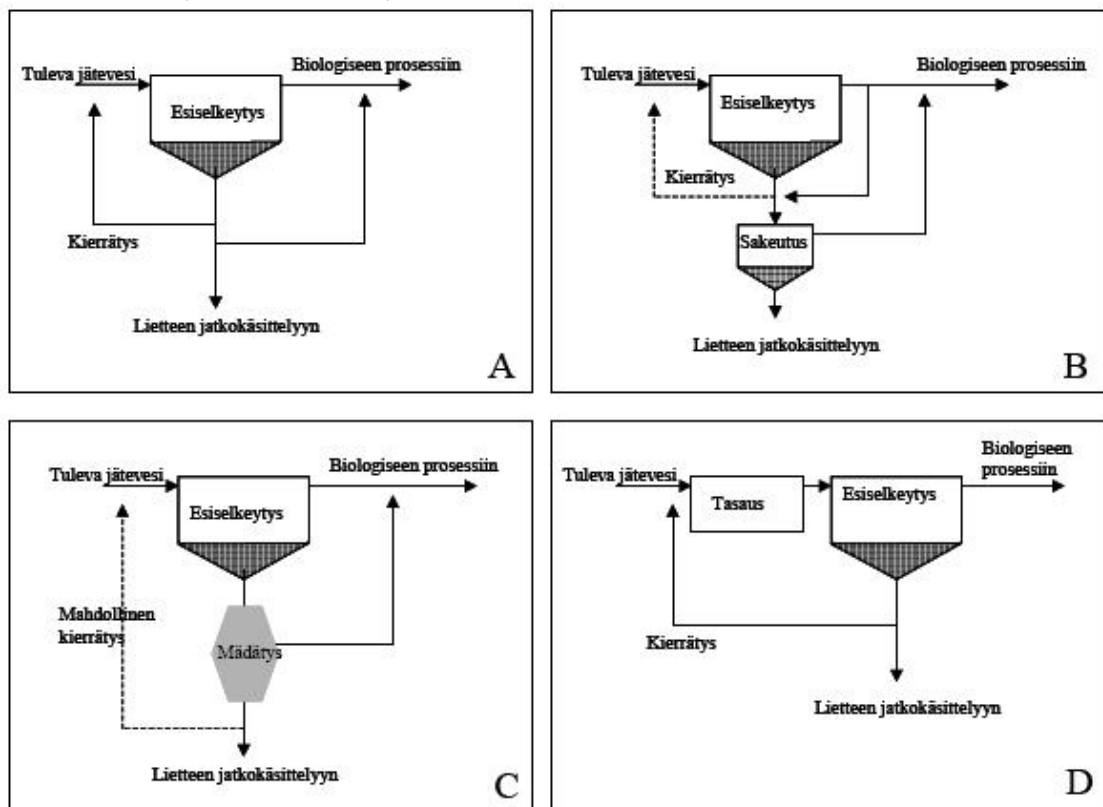
7.1 Prosessikuvaus

Hydrolyysiä voidaan käyttää esikäsittelymenetelmänä jäteveden tai lietteen käsittelyssä. Anaerobisissa oloissa tapahtuvassa hydrolyysissä hajoaa jäteveden orgaanisesta aineksesta komponentteja, joista on apua biologisessa ravinteidenpoistossa. Myös syanidia, fosforia ja muita hydrolysoituvia ainesosia sisältäviä voidaan mahdollisesti käsitellä hydrolyysin avulla. Lisäksi monet muut jäteveden komponentit voidaan käsitellä hydrolyysillä ympäristöystävällisempään muotoon. Hydrolyysi tapahtuu tehokkaimmin korotetussa lämpötilassa ja paineessa. (Cheremisinoff 2002)

Hydrolyysiin perustuvia esifermentointimenetelmiä on kehitetty helposti hajoavan liukoisien orgaanisten aineiden lisäämiseksi jätevedessä. Tällöin ulkopuolisen hiililähteen käyttötarve denitrifikaatiossa pienenee. Fermentoinnissa kehittyvät haihtuvia rasvahappoja VFA, joita ravinteita poistavat bakteerit käyttävät hyödykseen.

Esifermentaatio on anaerobisen mädätyksen ensimmäinen vaihe, jossa tapahtuvat pääasiassa hydrolyysi ja asidogeneesi. Mädätysprosessin edetessä tästä pidemmälle tapahtuu metanogeneesi, jolloin esimädätys epäonnistuu.

Esifermentaatio voidaan toteuttaa erilaisilla prosessikonfiguraatioilla. Ns. in-line esifermentorina voidaan käyttää esiselkeytysallasta, jonka pohjalle annetaan muodostua lietepatja ja joka on varustettu lietteen kierrätyksellä. Rinnakkaisessa (side-stream) esifermentaatioissa lietettä syötetään esiselkeytyksestä erilliselle käsittelylinjalle, joka koostuu sekoitusreaktorista, lietteen tiivistämisestä tai molemmista edellä mainituista. Näistä in-line esifermentointi ratkaisu on halvempi ja kompaktimpi, mutta rinnakkainen esifermentointi on operoinnin kannalta joustavampi. Rinnakkaiseen esifermentointiprosessiin syötetään tiivistettyä primäärilietettä ja in-line prosessiin jätevettä. Esifermentoinnin eri toteutustapoja on esitetty kuvassa 17 ja niiden eroja on koottu taulukkoon 2. (STOWA 2006b)



Kuva 17. Esifermentoinnin toteutustapoja (Mikola 2005)

Taulukko 2. Tavallisimmat esifermentoinnin toteutustavat (Mikola 2005)

Sijointus	Laitteisto	Tuleva aine	Lietteen poisto	Käsitellyn jäteveden poisto
In-line -esifermentointi				
APT	Painovoimainen selkeytin	Tuleva jätevesi	Lietteen kierrätys, poisto tai syöttö prosessiin	Prosessiin
Rinnakkainen (side-stream) yksivaiheinen esifermentointi				
Staattinen	Painovoimainen selkeytin	Raakalietettä esiselkeyttimestä	Poisto, ei kierrätystä	Prosessiin
Complete-mix	Sekoitusallas	Raakalietettä esiselkeyttimestä	Ei ole	Prosessiin tai kierrätys esiselkeytyksen alkuun
Rinnakkainen (side-stream) kaksivaiheinen esifermentointi				
Complete-mix sakeuttamo	Sekoitusallas ja selkeytin	Raakalietettä esiselkeyttimestä sekoitusaltaaseen	Sakeutetun lietteen kierrätys sekoitusaltaaseen tai poisto	Sakeuttamon ylivuoto prosessiin

Myös palautuslietteen hydrolyysiä on tutkittu. Kahden ruotsalaisen ja kahden tanskalaisen puhdistamon palautuslietettä hydrolysoitiin laboratorio-olosuhteissa. Niillä puhdistamoilla, joilla ei ollut esiselkeytystä, oli hydrolysoidussa lietteessä enemmän liukoista orgaanista ainesta. Aikaisemmat tutkimukset ovat kuitenkin osoittaneet, että palautuslietteen hydrolyysin saanto on merkittävästi pienempi kuin primäärietteen hydrolyysin. Palautuslietteen hydrolyysin etuna kuitenkin on sen helpompi toteutus ja operointi. (Jönsson & Jansen 2006)

7.2 Käyttökokemuksia

Suomessa hydrolyysiä on testattu esiselkeytysaltaaseen sovelletussa tasausaltaassa *Savonlinnan* Pihlajaniemen puhdistamolla. Käytetty menetelmä pohjautui UCT:n (University of Cape Town) kehittämään prosessiin, jota oli muokattu paremmin Suomen olosuhteisiin soveltuvaksi. Hydrolyysi toimii myös talvella veden lämpötilan ollessa 8 - 10 °C, jolloin liukoisen orgaanisen aineen lisäys oli noin 10 %. Kesä- ja syysaikaan vesien ollessa lämpimämpiä lisäys oli jopa 30 %. Koelinjalla, jolla hydrolyysiä testattiin, oli reductiot merkittävästi parempia ja jälkiselkeytetyn veden pitoisuudet pienempiä kuin vertailulinjalla. Tutkimuksessa sekoitettiin tasausaltaassa ollutta lietettä pumppaamalla sitä lietepoterosta tasausaltaan puoliväliin. Pumpauskustannukset tasausaltaan osalta olivat vain 0,5 % koko laitoksen energiakustannuksista. Yleensä tasausaltaan kooksi riittää 4 - 6 tunnin keskivuorokausivirtaamaa vastaava tilavuus. (Mikola 2005)

Tutkimuksessa, jossa vertailtiin aktiivilieteprosessia, jossa oli rinnakkainen esifermentaatio esiselkeytyksen tilalla sekä konventionaalista esiselkeytyksellä varustettua prosessia, havaittiin biologisen fosforinpoiston ja hapen hyödyntämisen parantuneen sekä haihtuvien rasvahappojen ja lietteen konsentraation kasvaneen selvästi

esifermentaatioprosessissa vertailuprosessiin nähden. Sen sijaan denitrifikaatioon esifermentaatiolla ei ollut suurta merkitystä, sillä käsitellyn jäteveden nitraattikonsentraatioissa ero oli noin 5 % esifermentaatioprosessin hyväksi. (McCue et al. 2006)

Tanskassa on lähes 30 biologisesti fosforia poistavalla laitoksella käytössä palautuslietteen rinnakkainen hydrolyysi. Näistä kaksi sijaitsee *Aalborgissa* (330 000 AVL ja 100 000 AVL). Hydrolyysistä on tutkimuksen mukaan hyötyä erityisesti biologisessa fosforinpoistossa, mutta jonkin verran myös typenpoistossa. (Vollertsen et al. 2006)

7.3 Edut ja haitat

Primäärilietteen hydrolyysia varten tarvitaan suuria laitehankintoja ja prosessin säätölaitteistoja, jotta se olisi luotettava prosessi (Jönsson & Jansen 2006). Anaerobisissa prosesseissa on otettava huomioon riittävä hajukaasujen keräys ja käsittely työskentelyolosuhteiden vuoksi.

Hydrolyysin etuja ovat helposti käytettävän orgaanisen aineksen määrän lisääntyminen ravinteita poistavien bakteerien käytettäväsi ja sen myötä tuleva käyttökustannusten säästö tarvittavien kemikaalimäärien pienentyessä.

8. Aktiivilieteprosessin eri vaiheiden optimointi

Simuloimalla tehdyssä tutkimuksessa optimoitiin anoksisten täysin sekoitettujen lohkojen kokoa ja määrää prosessin kinetiikan perusteella. Keskeisenä muuttujana simuloinneissa oli nopeasti ja hitaasti biohajoavien substraattien suhde S_S/X_S . Esidenitrifikaatiolohkoja kannattaa olla ainakin kaksi yhden sijaan niiden reaktionopeuksien ja toiminnan joustavuuden parantamiseksi. Ensimmäisessä lohossa nopeasti biohajoavaa substraattia S_S kulutetaan alhaisimmalla mahdollisella denitrifikaatioasteella. Toisessa lohossa S_S :n käyttöaste maksimoituu sen konsentraation ollessa rajoittavana tekijänä. Mahdollisessa kolmannessa lohossa denitrifikaatio tapahtuu hitaasti biohajoavien substraattien X_S hydrolyysituotteiden avulla. Viimeisen esidenitrifikaatiolohkon koko suositellaan suunniteltavaksi mahdollisen jälkidenitrifikaatiolohkon nitraattitypenpoistotehokkuuden mukaan. Myös hydrolyysikinetiikan arvionti on tärkeää anoksisten lohkojen etuja maksimoitaessa. (Plósz 2007)

Aktiivilieteprosessin sekoitettujen lohkojen määrän optimointia tutkittiin kineettisten muuttujien perusteella. Keskeinen muuttuja tutkimuksessa oli substraattikonsentraation ja sen puolikylläisyyskertoimen (half saturation coefficient) suhde S/K_S . Johtopäätöksenä todettiin, että altaan jakaminen lohkoihin voi nopeuttaa merkittävästi keskimääräistä substraatin muutosnopeutta. Kolme reaktoria sarjassa kahden sijaan on useimmissa olosuhteissa tehokkaampi ratkaisu. Reaktiokinetiikan perusteella optimoidut lohkojen

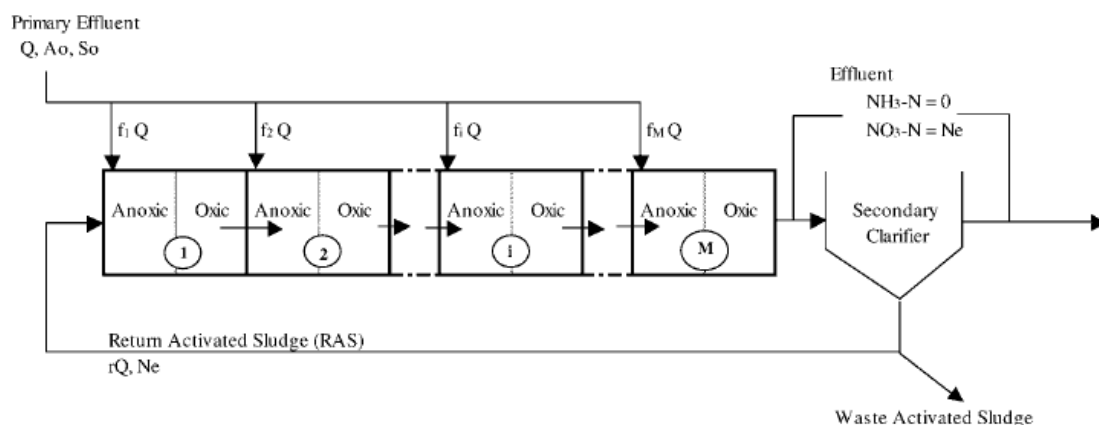
koot ovat myös merkittävästi parempi vaihtoehto kuin keskenään samankokoiset lohkot. (Scuras et al. 2001)

Optimointia on tutkittu enemmän panosprosesseille sekä jaksoittain ilmastetuille jatkuvatoimisille laitoksille kuin prosesseille, joissa on erilliset lohkot.

9. Porrassyöttöiset aktiivilieteprosessit

9.1 Prosessikuvaus

Aktiivilieteprosessia voidaan tehostaa käyttämällä ns. porrassyöttöistä (step-feed) prosessia, jossa jätevesi syötetään useaan kohtaan tulppavirtausreaktoria. Biologisen typenpoiston yhteydessä altaassa vuorottelevat anoksiset ja aerobiset vyöhykkeet, joista jätevesi syötetään optimoiduissa suhteissa anoksiisiin vyöhykkeisiin (kuva 18). Prosessissa on myös palautuslietteen kierrätys.



Kuva 18. Porrassyöttöinen aktiivilieteprosessi (Tang et al. 2007)

Samankokoisella selkeytysaltaalla varustetuilla porrassyöttöisillä prosesseilla voidaan käsitellä noin 20 % suurempia kuormia kuin vastaavankokoisilla konventionaalisilla aktiivilieteprosesseilla. Vaihtoehtoisesti samaan puhdistustulokseen päästään nelivaiheisella porrassyöttöisellä prosessilla 25 % pienemmällä allastilavuudella kuin perinteisellä prosessilla. Lisäksi porrassyöttöisten prosessien nitrifikaatio on vähemmän herkkä ongelmille kuin perinteisen aktiivilieteprosessin. Porrassyöttöiset prosessit ovat myös osoittautuneet toiminnaltaan luotettaviksi ja säädettävyydeltään joustaviksi. (Johnson et al. 2005, Zhu et al. 2007)

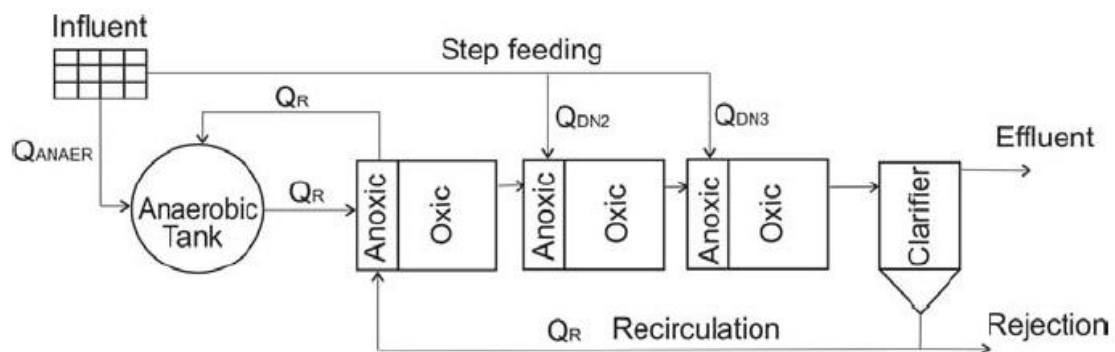
Matemaattisesti mallintamalla on optimoitu porrassyöttöisen prosessin konfiguraatiota. Tutkimuksen mukaan prosessissa ei käytännössä ole tarpeen olla kolmea tai neljää porrasta enempää typenpoistoa ajatellen, sillä porrasmäärän lisäämisestä sitä

suuremmaksi on enää marginaalista hyötyä. Typenpoistotehokkuus on voimakkaasti riippuvainen prosessiin syötetyn jäteveden jakosuhteista eri portaisiin, jäteveden BOD_{liuk}/TKN -suhteesta sekä palautuslietteen määrästä. Koska yhdyskuntajäteveden koostumus vaihtelee vuorokauden aikana, voidaan typenpoiston maksimoimiseksi vaihtaa operointistrategiaa useasti vuorokaudessa. (Tang et al. 2007)

9.2 Käyttökokemuksia

New Yorkin suurin jätevedenpuhdistamo *Newton Creek WWTP* on uudistettu kokonaistyyppä poistavaksi muuttamalla laitos porrassyöttöiseksi. Muutoksen jälkeen sen kokonaistypen reduktio oli 76 – 85 %. Myös *New Yorkin* *Tallman Islandin* ja *Moreno Valleyn (Kalifornia)* puhdistamoilla on myös testattu täyden mittakaavan porrassyöttöisiä typenpoistoprosesseja. Kanadassa *Lethbridgen* puhdistamo on muokattu porrassyöttöiseksi biologisesti ravinteita poistavaksi prosessiksi. Toinen *Vancouverin* puhdistamoista (*Vancouver Westside WWTP*) on saneerattu kolmivaiheiseksi porrassyöttöiseksi prosessiksi. *Singaporessa*, jossa maa on kallista, on rakenteilla suuri kuusivaiheinen porrassyöttöinen puhdistamo (*Changi Water Reclamation Plant*), jonka keskimääräinen virtaamapasiteetti on $2\,409\,200\text{ m}^3/\text{d}$. *Uudessa Seelannissa* *Mangeren* puhdistamolla on myös käytössä porrassyöttöinen prosessi. (Zhu et al. 2007, Johnson et al. 2005, deBarbadillo et al. 2002)

Kreikassa on testattu kahden vuoden ajan pilot-mittakaavassa porrassyöttöistä biologisesti ravinteita poistavaa prosessia, joka on muunnelma UCT-prosessista (kuva 19). Tutkimuksessa prosessiin syötettiin *Xanthin* kaupungin puhdistamolle tulevaa raakaa jätevettä. Koko koejakson Kjeldahl-typen reduktio oli 90 % ja fosforin 67 %. (Vaiopoulou & Aivasidis 2008)



Kuva 19. Porrassyöttöinen modifioitu UCT-prosessi (Vaiopoulou & Aivasidis 2008)

Myös *Taiwanissa* on tutkittu biologisesti ravinteita poistavan prosessin optimointia pilot-laitteiston ja mallinnuksen avulla. Tutkimuksessa muutettiin AOA-tyyppinen prosessi tehokkaamaksi ravinteiden poiston osalta muuttamalla se porrassyöttöiseksi. (Ouyang et al. 2001)

9.3 Edut ja haitat

Prosessi vaatii perinteistä aktiivilieteprosessia pienemmän tilan ja sen operointi on joustavampaa.

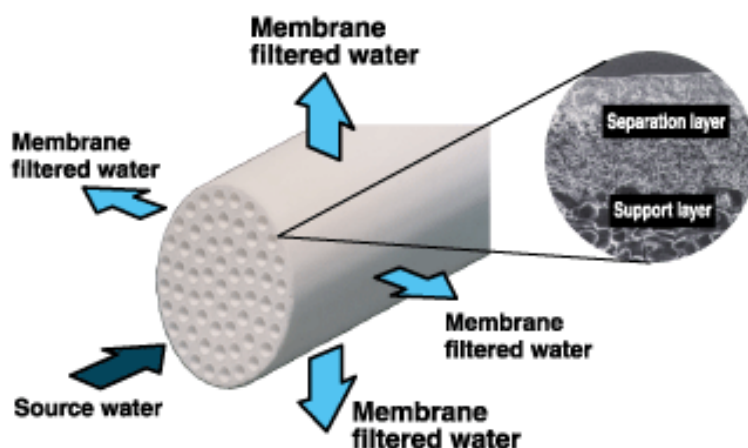
Porrassyöttöisten prosessien optimaalinen suunnittelu ja operointi on vaativaa, koska tulovirtaaman laatu vaihtelee ja reaktorin konfiguraatio on monimutkainen. Vaahtoamiongelmia saattaa esiintyä reaktorin alkupäässä, koska siellä kiintoainepitoisuudet (MLSS) ovat suuria.

10. Keraamiset kalvot

10.1 Prosessikuvaus

Keraamiset kalvot valmistetaan useista päällekkäisistä keraamisista kerroksista, jotka muotoillaan epäsymmetriseksi, useakanavaiseksi elementiksi. Materiaalina voidaan käyttää esim. alumiinioksidia, zirkoniumoksidia ja titaani(di)oksidia. Puhdistettua kalvojen läpi mennyttä nestettä kutsutaan permeaatiksi ja sitä osaa syötöstä, joka ei läpäise kalvoja, kutsutaan konsentraatiksi. (Sondhi et al. 2003)

Prosesseissa, joissa käytetään keraamisia kalvoja kiintoaineen erotukseen, koko biomassamäärä pysyy bioreaktorissa. Prosessin etuna on sen kompaktius, luotettavuus ja vähäbakteerinen käsitelty vesi. Haittapuolena on suuri energiankulutus, joka johtuu mm. kalvojen puhtaana ja läpäisevinä pitämiseen tarvittavasta suuresta virtausnopeudesta. (Xu et al. 2003)



Kuva 20. Keraaminen kalvo

Keraaminen kalvosuodatusyksikkö voi olla joko bioreaktorista erillään oleva ristivirtausyksikkö (cross-flow) tai bioreaktoriin upotettu putkimainen suodatusyksikkö. (Sun et al. 2002)

Huokosten koot vaihtelevat eri suodatusyksikköjen välillä, mutta jätevedenkäsittelysovelluksissa on käytetty ultrasuodatusta (1 – 100 nm) tai mikrosuodatusta.

Keraamisten kalvojen tukkeutuminen voi tapahtua huokosten tukkeutumisen, huokosten kokoonpuristumisen sekä likakakun muodostumisen myötä. Yleisesti kaikki kolme mekanismia vaikuttavat samanaikaisesti kalvojen likaantumiseen. (Shan 2004)

Sovelluksia, joissa keraamisia kalvoja käytetään tertiäärikäsittelyssä, on myös tutkittu. Ultrasuodattimilla saadaan pienennettyä haitallisten aineiden pitoisuuksia. Suomessa on tutkittu puunjalostusteollisuuden aktiivilietelaitoksella käsitellyn jäteveden tertiäärikäsittelyä. Joissain sovelluksissa on käytetty kemiallista saostusta keraamisten kalvojen kanssa. (Salladini et al. 2007, Laitinen et al. 2001)

Keraamisten kalvojen vastavirtahuuhtelu pulsseittain paineen alla (backpulsing) onnistuu paremmin kuin polymeereistä valmistetut kalvojen puhdistus johtuen keraamisten kalvojen kestävydestä suuressa paineessa. Sopiva huuhtelutiheys voi olla esimerkiksi 0,5 s/min. (Shan 2004, Salladini et al. 2007)

Kemiallinen puhdistus on yleisesti käytössä ja tehokkaaksi havaittu keraamisten kalvojen yhteydessä. Se koostuu esimerkiksi kolmivaiheisesta käsittelystä vedellä, hapolla sekä emäksellä. (Fan et al. 2000)

10.2 Edut ja haitat

Keraamisten kalvojen etuja on niiden hyvä kemiallinen stabiilius, mekaaninen kestävyys ja suuri erotustehokkuus. Ne kestävät korkeita lämpötiloja ja hyvin happamia tai emäksisiä olosuhteita, mikä vuoksi niitä voidaan käyttää moniin tarkoituksiin, joihin polymeeriset ja muut epäorgaaniset kalvot eivät sovellu. Keraamisten kalvojen käyttöikä on myös pidempi kuin polymeerikalvojen. (Xu et al. 2003, Sondhi et al. 2003)

Keraamisten kalvojen hinta on korkeampi kuin polymeerikalvojen, minkä vuoksi niiden sovelluksien arvellaan pääasiassa löytyvän alueilta, joissa ympäristö on erityisen aggressiivinen tai erotettavat aineet arvokkaita.

11. Yhteenveto

Espoon Veden on teettänyt jätevesien puhdistusta koskevan pitkän tähtäyksen kehittämissuunnitelman, jossa tarkasteltiin Suomenojan puhdistamon kehittämistä ja laajentamista vastaamaan tulevaisuuden tarpeita tai uuden kalliotiloihin sijoitettavan jätevedenpuhdistamon rakentamista. Kehittämissuunnitelmassa suositeltiin, että jätevesien käsittely siirretään vuoteen 2017 mennessä Suomenojalta kalliopuhdistamoon.

Espoon Vesi on käynnistänyt puhdistamohankkeen yva-menettelyn (ympäristövaikutusten arviointi). Hankkeen mitoitusvuotena käytetään vuotta 2040, mutta puhdistamon pitää pystyä toimimaan ja tarvittaessa laajentumaan hyvin pitkään vuoden 2040 jälkeenkin.

Pöyry Environment Oy on tehnyt ympäristövaikutusten arviointiselostukseen prosessitarkastelut vesiprosessi- ja lietteenkäsittelyvaihtoehtojen suhteen. Puhdistamohankkeen ympäristövaikutusten arviointiselostukseen liittyen Teknillisen korkeakoulun (TKK) Vesihuoltotekniikan laboratoriossa laadittiin tämä kirjallisuus-selvitys vaihtoehtoisista vesiprosesseista, jotka eivät sisälly arviointiselostuksessa esitettyihin prosessitarkasteluihin. Selvityksen tarkoituksena on tarkastella prosessien teknistä toteutettavuutta sekä soveltuvuutta Espoon mittakaavaan ja ilmasto-olosuhteisiin.

Jätevedenpuhdistusprosesseja, joissa käytetään puhdasta happea, on markkinoilla lukuisia erilaisin teknisin ratkaisuin. Pääosin niitä on Euroopassa käytössä teollisuuden jätevesien käsittelyssä. Yhdyskuntajätevesisovelluksissa yleisin käyttökohde on käsittelyn tehostus kuormitushuippujen ja häiriötilanteiden aikana. Viime vuosilta löytyy tutkimuksia aiheesta niukalti. Puhdas happi –prosessit vaikuttavat olevan kohtuullisen laajalti käytettyjä Pohjois-Amerikassa, joskin ainakin julkaistujen tutkimusten valossa suurin mielenkiinto niitä kohtaan oli 70-90-luvuilla. Puhdasta happea käyttämällä voidaan lisätä puhdistamojen kapasiteettia, tasata kuormitushuippuja sekä tehdä saneerauksien yhteydessä tilaa esim. denitrifikaatiovaiheelle. Käyttökustannuksiltaan puhtaan hapen käyttö vaikuttaa kalliimmalta kuin perinteisen ilmastuksen, mutta aiheesta olisi vielä syytä tehdä tarkempia kustannusvertailuja yhdenmukaisin lähtökohdin, jotta saataisiin vertailukelpoisempia kustannusarvioita eri vaihtoehtoista. Käytännöllisin vaihtoehto on tuottaa happirikasta kaasua puhdistamolla paikan päällä ilmasta erottamalla esimerkiksi molekyyliseulojen kuten PSA ja VSA avulla.

Kantoaineprosesseissa voi olla vapaasti reaktorissa liikkuvia kantoaineita tai kiinteästi esimerkiksi reaktoriin asennettaviin kehikoihin kiinnitettyjä kantoaineita. Kantoaineprosesseissa biomassaa kiinnittyy kantoaineen pinnalle, minkä avulla reaktorin aktiivisen biomassan määrää pyritään lisäämään. Osa prosesseista on läpivirtausprosesseja ja osa hybridiprosesseja, joissa on kantoaineeseen sitoutuneen biomassan lisäksi lietteen kierrätyksellä ylläpidettyä vapaata lietettä. Useimmiten kantoainetta köytetään ilmastetuissa reaktoreissa nitrifikaation tehostamiseksi, mutta on myös sovelluksia, joissa niitä käytetään ilmastamattomissa reaktoreissa. Yleisimmin kantoaineprosesseja sovelletaan puhdistamojen saneerauksen yhteydessä, jotta allastilavuutta ei tarvitsisi lisätä. Vapaasti liikkuvien kantoaineiden huonoina puolina on mm. väliverkkojen

tukkeutumisriski, joka voi johtaa altaan tulvimiseen sekä huoltotoimenpiteiden hankaluus. Pohjoismaissa kantoaineprosesseja on käytetty monenlaisiin sovelluksiin ja Suomessa on muutama yhdyskuntajätevedenpuhdistamo, jolla on prosessissaan käytössä vapaasti liikkuvia kantoaineita. Kehikoihin kiinnitetyt kantoaineet eivät ole olleet yhtä suosittuja kuin vapaasti liikkuvat. Tässä selvityksessä on keskitytty uuteen biotekstiilikantoaineeseen, joka vaikuttaa lupaavalta, mutta jolla on käyttökohteita toistaiseksi niukasti ja josta on julkaistu tutkimuksia melko vähän. Huoltotoimenpiteiden osalta se vaikuttaa kätevämmältä kuin prosessit, joissa on vapaasti liikkuvia kantoaineita eikä altaiden tulvimisriskiä ole. Kantoaineprosessit toipuvat yleensä häiriötilanteista nopeammin kuin konventionaaliset aktiivilieteprosessit.

Flotaatio on kompakti kiintoaineen erotusprosessi, jota voidaan käyttää yhdyskuntajätevedenpuhdistuksessa mm. jälkikäsittelyä ja ohitusvesien käsittelyssä. DAF-flotaatiossa kiintoaine erotetaan vedestä pienten ilmakuplien avulla. Ilmaa liuotetaan dispersioveteen paineen alla erillisessä säiliössä. Flotaatioaltaissa on alkupäässä pystysuuntainen levy, jota myöten vesi ja ilmakupliin sitoutunut kiintoaine johdetaan lähelle altaan pintaa. Flotaatiota edeltää usein erillinen flokkausreaktori, johon syötetään saostuskemikaalia. Suomessa on flotaatio käytössä usealla yhdyskuntajätevedenpuhdistamolla jälkikäsittelyprosessina. Muutamalla puhdistamolla sitä käytetään myös ohitusvesien käsittelyyn. Flotaation etuja ovat hyvä puhdistustulos myös vaikeasti laskeutuvalla lietteellä ja pienille partikkeleille, pieni pinta-alan tarve, lyhyt viipymäaika, suurien kiintoainepitoisuuksien hyvä sietokyky sekä pieni lietteen tuotto. Huonoina puolina flotaatiossa pidetään suurta energian ja kemikaalien tarvetta.

Lamelliselkeyttimessä on levyjä, jotka ovat 50 - 60 asteen kulmassa 5 - 10 cm välein. Yleisimmin käytetyssä vastavirtaprosessissa selkeytettävä jätevesi ohjataan useimmiten virtaamaan levyjen välissä alhaalta ylös. Kiintoaine laskeutuu levyjen pinnalle ja valuu gravitaation vuoksi alaspäin vesifaasin kulkiessa ylös välin toista puolta pitkin. Liette laskeutuu ja tiivistyy lamellilevyjen alla olevaan suppiloon tai suuremmassa selkeyttimessä lietepoteroon, josta se kierrätetään takaisin aktiiviliettealtaaseen tai pumpataan lietteenkäsittelyyn. Lamelliselkeytynyksikön voi asentaa myös aktiiviliettealtaaseen, mikä mahdollistaa suuremman lietekonsentraation pitämisen altaassa. Lamelliselkeyttimiä on käytössä enimmäkseen teollisuusjätevedenkäsittelyssä. Suomessa ei ole käytössä lamelliselkeyttimiä yhdyskuntajätevesien puhdistamoilla. Ylijäämalietteen palauttaminen laitoksen alkuun on myös hankalaa, mikäli esiselkeytyksessä on käytössä lamellit. Orgaanisen kiintoaineen kuten aktiivilietteen on havaittu aiheuttavan levyjen välien tukkeutumista, mikä lisää huoltotoimenpiteiden tarvetta. Konventionaalisen selkeyttimen vaativa pinta-ala on 5 - 10 -kertainen lamelliselkeyttimen vaatimaan pinta-alaan, joten lamelliselkeyttimen merkittävä etu on pienempi tilantarve.

Lietteenkäsittelyssä syntyy väkeviä rejektivesiä mädätettäessä, tiivistettäessä ja kuivattaessa lietettä. Suuria typpikonsentraatioita sisältävät rejektivedet johdetaan yleensä puhdistamon vesilinjan alkupäähän, jolloin niistä aiheutuu merkittävä sisäinen kierto. Vaihtoehtona rejektivesien kierrättämiselle puhdistamolla on niiden erilliskäsittely. Tehokkaalla rejektivesien käsittelyllä voidaan puhdistamon alkuosan typpikuormaa

vähentää 10 - 15 %. Rejektivesien käsittelyyn on kehitetty sekä biologisia että fysikaalis-kemiallisia menetelmiä. Biologista prosesseista osa on panosprosesseja ja osa jatkuvatoimisia. Useat prosesseista on patentoituja ja osa niistä on vielä kehitysvaiheessa. Fysikaalis-kemiallisia prosesseja ovat mm. struviittisaostus ja ammoniakkiprippaus. Biologisten prosessien hyviä puolia on niiden edullisuus fysikaalis-kemiallisiin menetelmiin nähden sekä se, ettei niissä muodostu ei-toivottuja sivutuotteita. Ne poistavat ammoniumtyypen lisäksi myös jäteveden orgaanista tyyppiä. Mikäli prosesseissa on denitrifikaatiovaihe, on ulkopuolisen hiililähteen lisääminen yleensä tarpeen.

EM-tekniikassa käytetään räätälöityä mikrobiseosta. Yksi sen lukuisista käyttökohteista on jätevedenkäsittely, mutta menetelmän toimivuudesta ei ole tieteellistä näyttöä ja tutkimuksia aiheesta on niukalti. EM-mikrobien vaikutusten tutkimista hankaloittaa se, etteivät valmistajat yleensä kerro valmisteensa tarkkaa koostumusta. Myös muita räätälöityjä mikrobiseoksia on hyödynnetty jätevedenkäsittelyssä, mutta harvemmin suuren mittakaavan puhdistamoissa.

Anaerobisissa olosuhteissa tapahtuvaa hydrolyysiä voidaan käyttää esikäsittelymenetelmänä jäteveden tai lietteen käsittelyssä. Hydrolyysiin perustuvia esifermentointimenetelmiä on kehitetty helposti hajoavan liukoisen orgaanisen aineksen lisäämiseksi jätevedessä. Tällöin ulkopuolisen hiililähteen käyttötarve denitrifikaatiossa pienenee. Fermentoinnissa kehittyä haihtuvia rasvahappoja VFA, joita ravinteita poistavat bakteerit käyttävät hyödykseen. Esifermentaatio voidaan toteuttaa erilaisilla prosessikonfiguraatioilla. Ns. in-line esifermentorina voidaan käyttää esiselkeytysallasta, jonka pohjalle annetaan muodostua lietepatja ja joka on varustettu lietteen kierrätyksellä. Rinnakkaisessa esifermentaatiossa lietettä syötetään esiselkeytyksestä erilliselle käsittelylinjalle, joka koostuu sekoitusreaktorista, lietteen tiivistämisestä tai molemmista edellä mainituista. Näistä in-line esifermentointi ratkaisu on halvempi ja kompaktimpi, mutta rinnakkainen esifermentointi on operoinnin kannalta joustavampi. Suomessa hydrolyysiä on tutkittu suuressa mittakaavassa tasausaltaassa toteutettuna ja havaittu sen parantavan ravinteidenpoistoa.

Simuloimalla on tutkittu aktiivilieteprosessin anoksisien lohkojen koon ja määrään optimointia prosessin kinetiikan perusteella. Keskeisenä muuttujana simuloinneissa oli nopeasti ja hitaasti biohajoavien substraattien suhde. Esidenitrifikaatiolohkoja kannattaa tutkimuksen mukaan olla ainakin kaksi yhden sijaan niiden reaktionopeuksien ja toiminnan joustavuuden parantamiseksi. Reaktiokinetiikan perusteella optimoitujen lohkojen kokojen on havaittu olevan merkittävästi parempi vaihtoehto kuin keskenään samankokoiset lohkot.

Aktiivilieteprosessia voidaan tehostaa käyttämällä ns. porrassyöttöistä prosessia, jossa jätevesi syötetään useaan kohtaan tulppavirtausreaktoria. Biologisen tyyppipoiston yhteydessä altaassa vuorottelevat anoksiset ja aerobiset vyöhykkeet, joista jätevesi syötetään optimoiduissa suhteissa anoksisiin vyöhykkeisiin. Prosessissa on myös palautuslietteen kierrätys. Samaan puhdistustulokseen päästään nelivaiheisella porrassyöttöisellä prosessilla 25 % pienemmällä allastilavuudella kuin perinteisellä aktiivilieteprosessilla. Mallintamalla tehdyn tutkimuksen mukaan kolme tai neljä porrasta

on käytännössä riittävä portaiden määrä typenpoistoa ajatellen. Porrassyöttöiset prosessit ovat osoittautuneet toiminnaltaan luotettaviksi ja säädettävyydeltään joustaviksi. Porrassyöttöisten prosessien optimaalinen suunnittelu ja operointi on kuitenkin vaativaa, koska tulovirtaaman laatu vaihtelee ja reaktorin konfiguraatio on monimutkainen. Ulkomailla on käytössä useita suuria porrassyöttöisiä prosesseja erilaisissa ilmasto-olosuhteissa.

Keraamisia kalvoja voidaan käyttää jätevedenpuhdistuksessa polymeerikalvojen sijaan. Prosesseissa, joissa käytetään keraamisia kalvoja kiintoaineen erotukseen, koko biomassamäärä pysyy bioreaktorissa. Prosessin etuna on sen kompaktius, luotettavuus ja vähäbakteerinen käsitelty vesi. Haittapuolena on suuri energiankulutus, joka johtuu mm. kalvojen puhtaana ja läpäisevinä pitämiseen tarvittavasta suuresta virtausnopeudesta. On myös sovelluksia, joissa keraamisia kalvoja käytetään tertiäärikäsittelyssä kuten ultrasuodatuksessa. Keraamiset kalvot valmistetaan useista päällekkäisistä keraamisista kerroksista, jotka muotoillaan epäsymmetriseksi, useakanavaiseksi elementiksi. Materiaalina voidaan käyttää esim. alumiinioksidia, zirkoniumoksidia ja titaani(di)oksidia. Keraamisten kalvojen etuja on niiden hyvä kemiallinen stabiilius, mekaaninen kestävyys, suuri erotustehokkuus ja pitkä käyttöikä. Keraamisten kalvojen hinta on korkeampi kuin polymeerikalvojen, minkä vuoksi niiden sovelluksia on pääasiassa alueilla, joissa ympäristö on erityisen aggressiivinen tai erotettavat aineet arvokkaita.

12. Johtopäätökset ja suositukset

Tässä selvityksessä käsitellyistä prosesseista osa on vielä kehitysvaiheessa tai niistä on saatavilla niukalti tutkimustietoa tai käyttökokemuksia Suomen kaltaisista ilmasto-olosuhteista, joten niiden osalta ei näiden tietojen pohjalta kannattane Espoon puhdistamoprojektin mittakaavassa lähteä kokeiluihin. Olennaista on saada puhdistamolle varmatoiminen prosessikokonaisuus pitkällä tähtäimellä. Esiin on kuitenkin noussut joitain kiinnostavia prosessivaihtoehtoja, jotka kannattaa pitää mielessä puhdistamon suunnitteluprojektin edetessä.

Porrassyöttöisellä aktiivilieteprosessilla pystyttäisiin pienentämään aktiivilietevaltaan tarvittavaa tilavuutta ja lisäämään puhdistamon operoinnin joustavuutta ja erilaisia ajostrategioita. Ko. prosesseista on suuren mittakaavan referenssejä erilaisista ilmasto-olosuhteista, joten sikäli prosessi vaikuttaisi olevan sovellettavissa myös Espoon kalliopuhdistamoon.

Mikäli päädytään prosessiin, jossa lämpimän veden aikaan toteutetaan biologista fosforinpoistoa, olisi esifermentointiprosessi varsin hyödyllinen. Esifermentointiprosesseista rinnakkainen operoinnin kannalta joustavampi ja siten in-line prosessia suositeltavampi vaihtoehto. Jos biologista fosforinpoistoa ei tulla toteuttamaan, ei esifermentointi kuitenkaan ole tarpeen.

Rejektivesien erilliskäsittelyllä pystytään pienentämään merkittävästi puhdistamalla käsiteltävää typpikuormaa, joten se on harkinnanarvoinen vaihtoehto riippuen tosin valittavasta lietteenkäsittelymenetelmästä. Useat selvityksessä käsitellyt patentoidut rejektivesien erilliskäsittelyprosessit ovat vasta kehitysvaiheessa eikä suuren mittakaavan sovelluksia ole montaa. Joka tapauksessa biologiset menetelmät vaikuttavat fysikaalis-kemiallisia menetelmiä suositeltavimmilta ja yksinkertaisemmilta. Pohjoismaissa on sovellettu erilaisia panosprosesseja ja jatkuvatoimisia prosesseja, joista kannattaisi tiedustella tarkempia käyttökokemuksia, mikäli rejektivesien erilliskäsittelyä harkitaan vakavasti. Puhdistamon suunnittelussa kannattaa myös ottaa huomioon mahdollisuus ottaa tulevaisuudessa käyttöön rejektivesien erilliskäsittelyprosessi, vaikka sitä ei toistaiseksi pidettäisi tarpeellisena.

Selvitystyistä prosesseista esimerkiksi kantoaineprosesseja sekä puhtaan hapen käyttöä on useimmiten sovellettu aktiivilietelaitosten saneerauksen yhteydessä ja harvemmin uutta puhdistamoa rakennettaessa. Siten ne tulisivat luontevimmin kyseeseen silloin, jos päädytään kalliopuhdistamon sijaan laajentamaan Suomenojan puhdistamoa. Puhdasta happea hyödyntäviä prosesseja ei Pohjoismaissa ole juurikaan sovellettu yhdyskuntajäteveden käsittelyssä. Kantoaineprosesseja sen sijaan on käytössä enemmän. Kantoaineprosesseista kehikoihin kiinnitetyt prosessit, kuten selvityksessä tarkemmin kuvailtu biotekstiiliprosessi, ovat huoltotoimenpiteiden osalta helpompia kuin prosessit, joissa on vapaasti liikkuvia kantoainekappaleita. Toisaalta niistä ei toistaiseksi ole kovin paljon käyttökokemuksia etenkin suuressa mittakaavassa. Kalliopuhdistamoon biotekstiiliprosessin soveltaminen olisi hankalaa, koska niiden kantoaineyksiköiden nostaminen altaasta vaatisi huomattavan korkean tilan altainen yläpuolelle.

Flotaation etuna jälkikäsittely-yksikkönä on sen sovellusmahdollisuus myös ohitusvesien käsittelyyn tarvittaessa. Toisaalta on muita jälkikäsittelyprosesseja, jotka soveltuvat paremmin typenpoistoon, joka on tärkeä osa jätevedenkäsittelyä ja jonka poistovaatimusten kiristymiseen tulevaisuudessa on syytä varautua.

Räätälöityjä mikrobeja käyttävän EM-tekniikan jätevedenpuhdistussovellusten osalta uupuu riittävää tieteellistä tutkimustietoa ja näyttöä sen toimivuudesta, minkä vuoksi tekniikkaa ei voi suositella jatkotutkimuksiin. Keraamisten kalvojen osalta jatkoselvityksiä kannattaa tehdä, mikäli päädytään kalvoja hyödyntävien prosessien käyttöön.

Lähteet

Abma W., Schultz C., Mulder J.-W., van Loosdrecht M., van der Star W., Strous M., Tokutomi T. 2007. The advance of Anammox. *Water21*, February 2007, 36-37.

Abma W., Schultz C., Wouters J.W., Mulder J.-W., van Loosdrecht M.C.M., van der Star W., Strous M., Tokutomi T. 2006. Full scale granular sludge ANAMMOX process. 4th CIWEM Annual Conference 12th–14th September 2006 New Castle upon Tyne, 8 s.

Air Products. OXY-DEP – Biological Waste Water Treatment Using Pure Oxygen, 9 s.

deBarbadillo C., Carrio L., Mahoney K., Anderson J., Passarelli N., Streett F., Abraham K. 2002. Practical considerations for design of a step-feed biological nutrient removal system. *Florida Water Resources Journal*, January 2002, 18- 20, 33-35.

Cheremisinoff N.P. 2002. *Handbook of Water And Wastewater Treatment Technologies*. Butterworth-Heinemann, (ss. 317-323, s. 565)

Cleartec Water Management. 2008a. Biotextil Cleartec – Arguments. 2 s.

Cleartec Water Management. 2008b. Economical reconstruction of existing waste water treatment plants using high-efficiency textile fixed bed in combination with aeration plates. 8 s.

Cleartec Water Management. 2008c. Technical information, Biotech Cleartec, High-performance dip-coated textile fixed bed. 9 s.

Dumas Taffarel E. 2008. Henkilökohtainen tiedonanto, Air Products, 14.4.2008)

Eilamo M. 2008a. Henkilökohtainen tiedonanto, Oy AGA Ab Finland, 6.4.2008.

Eilamo M. 2008b. Henkilökohtainen tiedonanto, Oy AGA Ab Finland, 12.6.2008.

Eilamo M. 2008c. Henkilökohtainen tiedonanto, Oy AGA Ab Finland, 27.6.2008.

Eilamo M. 2006. Preventing odour problems in sewers, Oy AGA Ab Finland, esitelmä 15.11.2006, 19 s.

Fan X.-J., Urbain V., Qian Y., Manem J. 2000. Ultrafiltration of activated sludge with ceramic membranes in a cross-flow membrane bioreactor process. *Wat. Sci. Tech.*, 41(10-11), 243-250.

Germain E., Bancroft L., Dawson A., Hinrichs C., Fricker L., Pearce P. 2007. Evaluation of hybrid processes for nitrification by comparing MBBR/AS and IFAS configurations. *Wat. Sci. Tech.*, 55(8-9), 43-49.

- Haimi H. 2006. Kantoaineen käyttö jäteveden käsittelyssä. Helsinki University of Technology, Plant Design Report Series, Report 92, 18 s.
- Haimi H. 2001. Uuden jätevedenpuhdistusmenetelmän testaaminen isossa mittakaavassa. Diplomityö, Teknillinen korkeakoulu, Puunjalostustekniikan osasto, 108 s.
- Hairston D. 2001. Wastewater Treatment: O₂ to the Rescue. Chemical Engineering, Jan 2001, ss. 35-39.
- Halanperä A. 2008. Henkilökohtainen tiedonanto, Oy WatMan Ab, 14.4.2008.
- Hanner N., Aspegren H., Nyberg U., Andersson B. 2003. Upgrading the Sjölanda WWTP according to a novel process concept. Wat. Sci. Tech., Vol. 47(12), 1-7.
- Holmström I. 2008. Henkilökohtainen tiedonanto, Purac, 16.4.2008.
- Hostikka S., Rantanen P. 2003. Nitrifioiva kantoaineprosessi - kokeilun tuloksia. Vesitalous, 6/2003, 23-29.
- Huhtamäki M. 2007a. Biofilmi- ja aktiivilieteprosessin yhdistelmä ravinteiden poistossa. Käytännön kokemuksia ja suuntaviivoja laitosten suunnittelulle ja käytölle. 20 s.
- Huhtamäki M. 2007b. Flotaatio asumajätevesien käsittelyssä. Tekniikan ja laitteiston valinta ja käyttö. 10 s.
- Huhtamäki M. 2007c. Flotaatio yleistyy jälki- ja ohitusvesien käsittelyssä. Kuntatekniikka, 1/2007, 50-53.
- Huhtamäki M. 2006 Kantoaineet tehostavat puhdistamon toimintaa. Tekniikka ja kunta, 7/2006, 32-35.
- Jankowski K. 2008a. Henkilökohtainen tiedonanto. Cleartec Water Management, 2.6.2008.
- Jankowski K. 2008b. Henkilökohtainen tiedonanto. Cleartec Water Management, 10.6.2008.
- Jankowski K. 2008b. Henkilökohtainen tiedonanto. Cleartec Water Management, 25.6.2008.
- Jin M., Wang X.-W., Gong T.-S., Gu C.-Q., Zhang B., Shen Z.-Q., Li J.-W. 2005. A novel membrane bioreactor enhanced by effective microorganisms for the treatment of domestic wastewater. Appl. Microbiol. Biotechnol., 69(2), 229-235.

- Johnson B.R., Goodwin S., Daigger G.T., Crawford G.V. 2005. A comparison between the theory and reality of full-scale step-feed nutrient removal systems. *Wat. Sci. Tech.*, 52(10-11), 587-596.
- Jöhnsson K., Janssen J. la C. 2006. Hydrolysis of return sludge for production of easily biogradable carbon: effect of pre-treatment, sludge age and temperature. *Wat. Sci. Tech.*, 53(12), 47-54.
- Kaitasalo D. 2001. Jätevedet puhtaaksi biologisesti – myös metalliteollisuudessa. http://www.tekes.fi/Ajankohtaista/uutisia/uutis_tiedot.asp?id=967&paluu=
- Koivunen J., Heininen-Tanski H. 2008. Dissolved air flotation (DAF) for primary and tertiary treatment of municipal wastewaters. *Environ. Technol.*, 29(1), 101-109.
- Koivunen J., Heinonen-Tanski H. 2005. Korkeapaineflotaatio ja peretikkahappodesinfiointi jäteveden käsittelyssä. *Vesitalous*, 3/2005, 18-23.
- Koliscj G., Schirmer G. 2004. Lamella separators in the upgrading of a large urban sewage treatment plant. *Wat. Sci. Tech.*, 50(7), ss. 205-212.
- Kiuru H.J. 2001. Development of dissolved air flotation technology from the first generation to the newest (third) on (DAF in turbulent flow conditions). *Wat. Sci. Tech.*, 43(8), 1-7.
- Laitinen N., Luonsi A., Levänen E., Nyström M. 2001. Effect of backflushing conditions on ultrafiltration of board industry wastewaters with ceramic membranes. *Sep. Purif. Technol.*, 25(1-3), 323-331.
- Lehtovaara R. 2007. EM-mikrobit eivät reagoineet laboratoriossa. *Aamulehti*, 14.9.2007, http://www.aamulehti.fi/sunnuntai/teema/asiat_paajutut/5572875.shtml
- Linde AG. Enhanced Waste Water Treatment with Pure Oxygen., 12 s.
- Linde AG. Linde at IFAT 2002: Efficient, cost-effective treatment of waste water. Press Brief, 6 s.
- Linde Gas / AGA, Gas Applications in Water Treatment, 8 s.
- Linde Gas / AGA. Oxygen – the breath of life. Aerobic wastewater engineering with SOLVOX, 16 s.
- van Loosdrecht M.C.M., Salem S. 2006. Biological treatment of sludge digester liquids. *Wat. Sci. Tech.*, 53(12), 11-20.
- Massachusetts Water Resources Authority, The Deer Island Sewage Treatment Plant, <http://www.mwra.state.ma.us/03sewer/html/sewditp.htm> , 31.3.2008.

McCue T.M., Randall A.A., Eremektar F.G. 2006. Contrasting the Benefits of primary Clarification versus Prefermentation in Activated Sludge Biological Nutrient Removal Systems. *J. Environ. Eng.*, 132(9), 1061-1067.

Mikola A. 2005. Tasauksen vaikutus aktiivilieteprosessiin ja biologiseen ravinteiden poistoon – ”TAVARA”-projekstin loppuraportti. Tekninen korkeakoulu, Vesihuoltotekniikan laboratorio, 115 + 38 s

Mixing & Mass Transfer Technologies UNOX Wastewater Treatment Systems, , LCC, http://www.m2ttech.com/products/unox_wastewater.asp , 31.3.2008.

Nelson D.J., Renner T.R. 2008. Nitrifying in the cold: A Wisconsin facility experiments with IFAS to ensure nitrification in winter. *Wat. Environ. Tech.*, 20(4), 54-58.

Nordic Water Products AB. Compact Settling with the Johnson Lamella Separator. 8 s.

Noyes R. (Edit.) 1994. Unit Operations in Environmental Engineering. Noyes Publications, (s. 424-425)

Ouyang C.-F., Chou Y.-J., Chang H.-Y., Liu W.-T. 2001. Optimization of enhanced biological wastewater treatment process using step-feed approach. *Advances in water and wastewater treatment technology*, Elsevier, 295-304.

Palmgren T. 2008. Henkilökohtainen tiedonanto, Käppala Association, 20.4.2008.

Parkson Corporation. Lamella Gravity Settler – Inclined Plate Settler., 2 s.

Pesola K. 2008. Henkilökohtainen tiedonanto, Process and Layout Machinery Oy, 18.4.2008.

Pigott S. 2008. Henkilökohtainen tiedonanto sähköpostitse 3.4.2008, BOC.

Plósz B.G. 2007. Optimization of the activated sludge anoxic reactor configuration as a means to control nutrient removal kinetically. *Wat. Res.*, 41(8), 1763-1773.

Praxair. Mixflo Wastewater Treatment System, 2 s.

Praxair. Praxair In-Situ Oxygenation (I-SO) System for Industrial Applications, 2 s.

Praxair. Praxair In-Situ Oxygenation (I-SO) System for Municipal Wastewater Treatment, 2 s.

Praxair. Water Treatment – Oxygen and CO₂ Options, 1 s.

Pöyry Environment Oy. 2008. Espoon Vesi: Espoon jätevedenpuhdistamon prosessivertailu. Luonnos 13.6.2008, 11 s.

Rantanen P., Aurola A.-M., Hakkila K., Hernesmaa A., Jørgenssen K., Laukkanen R., Melasniemi H., Meriluoto J., Nikander S., Pelkonen M., Renko E., Valve M., Pauli A. 1999. Biologisen fosforin- ja typenpoiston tehokkuus, prosessinohjaus ja mikrobiologia. Suomen ympäristö 318, Suomen ympäristökeskus, 153 s.

Ruissalo M.K. 2006. Yhdyskuntajätevedenpuhdistamon rejektivesien erilliskäsittely – Biologinen typenpoisto panostoimisessa reaktorissa ja ftalaattien käyttäytyminen erilliskäsittelyssä. Pro gradu –tutkielma, Jyväskylän yliopisto, Bio- ja ympäristötieteiden laitos, 96 s.

Rutt K., Seda J., Johnson C.H. 2006. Two year case study of integrated fixed film activated sludge (IFAS) at Broomfield, Co WWTP. Proceedings of the 79th Annual Water Environment Federation Technical Exposition and Conference, Dallas, Oct 21-25, Water Environment Federation, 226-239.

Salem S., Berends D.H.J.G., van der Roest H.F., vand der Kuij R.J., van Loosdrecht M.C.M. 2004. Full-scale application of the BABE technology. Wat Sci. Tech., 50(7), 87-96.

Salladini A., Prisciandaro M., Barba D. 2007. Ultrafiltration of biologically treated wastewater by using backflushing. Desalination, 207(1-3), 24-34.

Scuras S.E., Jobbagy A., Grady Jr C.P.L. 2001. Optimazation of activated sludge reactor configuration: kinetic conciderations. Wat. Res., 35(18), 4227-4284.

Sen D., Murthy S., Phillips H., Pattarkine V., Copithorn R.R., Randall C. 2007. Minimizing aerobic and post anoxic volume requirements in tertiary integrated fixed-film activated sludge (IFAS) and moving bed biofilm reactor (MBBR) systems using the Aquifas model. Proceedings of the 81th Annual Water Environment Federation Technical Exposition and Conference, Chicago, Oct 18-22, Water Environment Federation., 28 s.

Shan H. 2004. Membrane fouling during the microfiltration of primary and secondary wastewater treatment plant effluents. Master's thesis, University of Pittsburg, School of Engineering, 106 s.

Sondhi R., Bhave R., Jung G. 2003. Applications and benefits of ceramic membranes. Membrane Technology, November 2003, 5-8.

van der Star W.R.L., Abma W.R., Blommers D., Mulder J.-W., Tokutomi T., Strous M., Picioreanu C., van Loosdrecht M.C.M. 2007. Startup of reactors for anoxic ammonium oxidation: Experiences from the first full-scale anammox reactor in Rotterdam. Wat. Res., 41(18), 4149-4163.

STOWA (Dutch Foundation for Applied Water Research). 2006a. Babe Process. Fact Sheets. <http://www.stowa-selectedtechnologies.nl/Sheets/Sheets/Babe.Process.html>

STOWA (Dutch Foundation for Applied Water Research). 2006b. Prefermentation of Primary Sludge. Fact Sheets. <http://www.stowa-selectedtechnologies.nl/Sheets/Sheets/Prefermentation.of.Primary.Sludge.html>

Sun D.D., Zeng J.L., Tay J.H. 2002. A submerged tubular ceramic membrane bioreactor for high strength wastewater treatment. *Wat. Sci. Tech.*, 47(1), 105-111.

Szymanski N., Patterson R.A. 2003. Effective Microorganisms (EM) and Wastewater Systems. Future Directions for On-site Systems: Best Management Practice. Proceedings of On-site '03 Conference by Patterson, R.A. and Jones, M.J. (Eds). Held at University of New England, Armidale 30th September to 2nd October 2003. Published by Lanfax Laboratories Armidale. pp 347-354.

Tang C.-C., Kuo J., Weiss J.S. 2007. Maximum nitrogen removal in the step-feed activated sludge process. *Wat. Environ. Res.*, 79(4), 367-374.

Thomas C.D., Barratt P.A., Holmes R.B. The OXY-DEP VSA system – exciting new approach to aeration for waste water treatment. Knowledge Paper, Air Products, 20 s.

Tuominiemi K., Huhtamäki M. 2005. Euran puhdistamosaneeraus tyyppiä poistavaksi. *Vesitalous*, 2/2005, 44-49.

Türker M., Celen I. 2007. Removal of ammonia as struvite from anaerobic digester effluents and recycling of magnesium and phosphate. *Biosour. Technol.*, 98(8), 1529-1534.

United States Environmental Protection Agency EPA, 2007. Wastewater Technology Fact Sheet: Side Stream Nutrient Removal. EPA 832-F-07-017, Office of Water, 7 s.

Vaiopoulou E., Aivasidis A. 2008. A modified UCT method for biological nutrient removal: Configuration and performance. Article in press. *Chemosphere*, doi:10.101/j.chemosphere.2008.04.044.

Vollertsen J., Petersen G., Borregaard V.R. 2006. Hydrolysis and fermentation of activated sludge to enhance biological phosphorus removal. *Wat. Sci. Tech.*, 53(12), 55-64.

Wallis-Lage C., Johnson T., Hemken B., Sabherwal B. 2006. New technologies force change traditional design-build strategy. Proceedings of the 79th Annual Water Environment Federation Technical Exposition and Conference, Dallas, Oct 21-25, Water Environment Federation, 251-262.

Woodard & Curran, Inc. 2006. Industrial Waste Treatment Handbook. Second Edition. Elsevier Inc., (s. 300), 549 s.

Xu N., Xing W., Xu N., Shi J. 2003. Study on ceramic membrane bioreactor with turbulence promoter. Sep. Purif. Technol., 32(1-3), 403-410.

Zhu G., Peng Y., Wang S., Wu S., Ma B. 2007. Effect of influent flow rate distribution on the performance of step-feed biological nitrogen removal process. Chem. Eng. J., 131(1-3), 319-328.

Ødegaard H. 2001. The use of dissolved air flotation in municipal wastewater treatment. Wat. Sci. Tech., 43(8), 75-81.

Liite 1. Prosessien etuja ja haittoja

Prosessi	Edut	Haitat
Puhdas happi -prosessit	+ puhdistuskapasiteetin lisäys + kuormitushuippujen tasaus + parempi lietteen laskeutuminen	- vähän referenssilaitoksia - käyttökustannukset suuret
Vapaasti liikkuvat kantoaineet	+ puhdistuskapasiteetin lisäys + toipuu nopeasti häiriötilanteista	- huoltotoimenpiteet hankalia - altaiden tulvimisriski - sekoitus haasteellista - suhteellisen kallis
Biotekstiilikantoaine	+ puhdistuskapasiteetin lisäys + toipuu nopeasti häiriötilanteista + parempi huollettavuus kuin muissa kantoaineprosesseissa	- vähän referenssilaitoksia - vähän tutkimustietoa - hankala syvissä altaissa - vähän kokemuksia käytöstä ilmastamattomissa altaissa
Flotaatio	+ kompakti prosessi + pieni lietteentuotto + suurien kiintoainepitoisuuksien sietokyky + voi käyttää ohitusvesien myös käsittelyyn	- suuri energian ja kemikaalien tarve
Lamelliselkeytys	+ pieni pinta-alan tarve	- vähän referenssilaitoksia yhdyskuntajäteveden käsittelystä - lamellilevyjen tukkeutuminen
Biologiset rejektivesien käsittelymenetelmät	+ ei muodostu ei-toivottuja sivutuotteita + osassa ei tarvitse denitrifikaatiossa hiililähdettä + hyvä kokonaistyppireduktio	- monet prosessit vasta kehitysvaiheessa - monista prosesseista suhteellisen vähän referenssejä
Fysikaalis-kemialliset rejektivesien käsittelymenetelmät	+ typpi saadaan talteen esim. lannoituskäyttöön	- korkeat käyttökustannukset - prosessit monimutkaisia
EM-tekniikka		- menetelmän toimivuudesta ei tieteellistä näyttöä - niukasti tutkimustietoa jätevedenkäsittelysovelluksista
Hydrolyysi	+ säästää kemikaaleja + ravinteidenpoisto tehostuu	- muodostuu hajukaasuja - tarvitaan suuria laitehankintoja
Porrassyöttöiset prosessit	+ operointi joustavaa + prosessi tehostuu	- suunnittelu ja operointi vaativaa - vaahtoamisongelmia saattaa esiintyä
Keraamiset kalvot	+ hyvä kemiallinen stabiilius + kestävyys + suuri erotustehokkuus + pitkä käyttöikä	- hinta korkea