

LAPPEENRANNAN LÄMPÖVOIMA OY

Jäteveden jälkikäsittelymenetelmät

Copyright © Pöyry Finland Oy

Kaikki oikeudet pidätetään Tätä asiakirjaa tai osaa siitä ei saa kopioida tai jäljentää missään muodossa ilman Pöyry Finland Oy:n antamaa kirjallista lupaa.

Copyright © Pöyry Finland Oy

Sisäinen tarkistussivu

Asiakas	Lappeenrannan Lämpövoima Oy
Otsikko	Jäteveden jälkikäsittelymenetelmät
Projekti	16UEC0192
Vaihe	
Työnumero	16UEC0192.TY7101
Luokitus	
Piirustus/arkistointi/sarjanro.	
Tiedoston nimi	16UEC0192_Tertiaarikasittely.docx
Tiedoston sijainti	
Järjestelmä	Microsoft Word 14.0
Ulkoinen jakelu	
Sisäinen jakelu	
Contribution	
Vastaava yksikkö	
Revisio	
Alkuperäinen	
Dokumentin pvm	8.3.2013
Laatija/asema/allekirj.	MHVA
Tarkistuspvm	8.3.2013
Tarkistanut/asema/allekirj.	KNS
A	
Dokumentin pvm	
Laatija/asema/allekirj.	
Tarkistuspvm	
Tarkistanut/asema/allekirj.	
B	
Dokumentin pvm	
Laatija/asema/allekirj.	
Tarkistuspvm	
Tarkistanut/asema/allekirj.	

Muuttunut edellisestä revisiosta

Sisältö

1	JOHDANTO	2
2	JÄLKIKÄSITTELYMENETELMÄT	3
2.1	Perinteinen tekniikka	3
2.1.1	DynaSand	3
2.1.2	AquaDisk	5
2.1.3	Actidisc	8
2.1.4	Flotaatio ja flotaatiosuodatus	10
2.2	Kalvosuodatustekniikka	12
2.2.1	MEMCOR-ultrasuodatus	12
3	KÄSITTELYMENETELMIEN VERTAILU	15
4	KONSULTIN SUOSITUS JA JATKOTOIMENPITEET	16
4.1	Prosessiratkaisu	16
4.2	Jatkotoimenpiteet	16
	KIRJALLISUUSVIITTEET	17

Liitteet Jälkikäsittelymenetelmien vertailutaulukko

1 JOHDANTO

Lappeenrannan uuden jätevedenpuhdistamon ja Toikansuon jätevedenpuhdistamon saaneeraus esisuunnittelutyön yhteydessä on tarkasteltu eri jälkikäsittelyvaihtoehtoja. Jälkikäsittelyvaihtojen tarkastelussa on painotettu erityisesti erittäin matalan fosforipitoisuuden (<0,1 mg P/l) saavuttamista jatkuvasti sekä puhdistusmenetelmän varmatoimisuutta normaali- ja poikkeustilanteissa.

Jäteveden jälkikäsittelymenetelmistä laadittiin esiselvitys syksyllä 2011. Selvityksen perusteella matala fosforipitoisuus voidaan saavuttaa sekä perinteistä tekniikkaa että kalvosuodatustekniikkaa hyödyntämällä. Kaikissa vaihtoehdoissa biologisesti käsitellyn jäteveden liukoinen fosfori saatetaan ensin kiinteään muotoon kemiallisella saostuksella. Kiintoainemuotoinen aines erotetaan eri jälkikäsittelyvaihtoehdoissa eri tavoin.

Esiselvityksen perusteella Lappeenrannan jätevedenpuhdistuksen jälkikäsittelyksi soveltuvista jälkikäsittelymenetelmistä pyydettiin budjettitarjoukset puhdistustekniikkaa edustavilta prosessitoimittajilta. Budjettitarjouspyynnössä käytettiin taulukossa Taulukko 1.1 esitettyä mitoituskuormitusta. Puhdistusvaatimuksena oli lähtevän veden kokonaisfosforipitoisuus alle 0,1 mg/l ja kiintoainepitoisuus alle 5 mg/l.

Taulukko 1.1. Jälkikäsittelyn mitoituskuormitus.

Parameter	Unit	Average	Design
Flow, Q	m ³ /d	20 000	30 000
Flow, q	m ³ /h	800	1 600
BOD ₇	kg/d	166	450
BOD ₇	mg/l	8	15
TSS	kg/d	312	750
TSS	mg/l	16	25
N _{tot}	kg/d	450	750
N _{tot}	mg/l	23	25
P _{tot}	kg/d	8	18
P _{tot}	mg/l	0,4	0,6

Tertiäärikäsittelyssä poistettavan fosforin koostumusta selvitettiin analysoimalla Toikansuon puhdistamolta lähtevästä fosforista liukoiset ja kiinteät reaktiiviset ja ei-reaktiiviset fraktiot. Analyysit tehtiin Lappeenrannan teknisessä yliopistossa konsultin laatiman koeohjelman mukaan. Nämä tulokset toimitettiin prosessitoimittajille tiedoksi. Tutkimuksessa selvitettiin myös eri kemikaaleilla sekä eri sekoitus-, hämmennys- ja selkeytysajoilla saavutettuja fosforinpoistotuloksia. Tuloksista on laadittu erillinen raportti.

Tässä raportissa tarkastellaan lähemmin viiden toimittajan tarjoamaa jälkikäsittelyratkaisua sekä annettuja budjettitarjouksia. Tarkasteltavat käsittelymenetelmät ovat jatkuvatoiminen hiekkasuodatus, kiekkosuodatus, mikrohiellä tehostettu selkeytys ja mikroosiivilöinti, flotaatio tai flotaatiosuodatus sekä ultrasuodatus. Prosessitoimittajat esittelivät jälkikäsittelyratkaisuaan tilaajan ja konsultin edustajille 4.12.2012 järjestetyssä seminaarissa. Seminaarissa saatu lisätieto on huomioitu tarjousten vertailussa. Budjettitarjousten yhteenvedo- ja vertailutaulukko on esitetty tämän raportin liitteenä.

2 JÄLKIKÄSITTELYMENETELMÄT

2.1 Perinteinen tekniikka

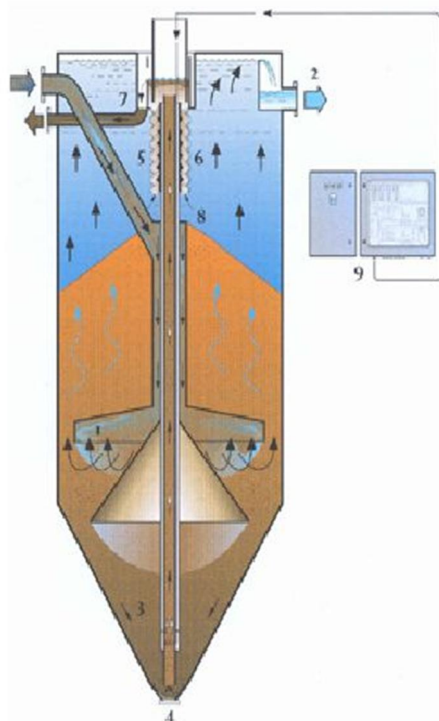
Syksyn 2011 selvityksen perusteella erittäin matala lähtevän jäteveden kokonaisfosforipitoisuus voidaan saavuttaa erilaisten tehostettujen perinteisten jälkikäsitteilytekniikoiden avulla. Täyden mittakaavan käyttökokemuksia on raportoitu kattavasti erityisesti Yhdysvalloista (mm. USEPA 2007, Bott et al. 2011).

2.1.1 DynaSand

Prosessikuvaus

DynaSand on jatkuvatoiminen hiekkasuodatusprosessi. Käsiteltävä vesi syötetään putkella suodatinpatjan sisään. Vesi nousee suodatinpatjan läpi ja poistetaan suodattimen yläosasta ylivuotoreunan kautta. Suodatinmateriaalina toimiva hiekka liikkuu suodatinaltaassa alaspäin. Suodatinhiekkaa pumpataan jatkuvasti suodatinaltaan alaosaan hiekanpesuriin paineilmatoimisten mämmuttipumppujen avulla. Puhdistettu hiekka johdetaan takaisin hiekkapatjan pinnalle. Pesuvedenä käytetään suodatettua vettä. Likainen pesuvesi poistetaan hiekkapesurista poistoyhteen avulla ja pumpataan esimerkiksi esiselkeytykseen. Pesuvedelle ei yleensä tarvita tasausallasta.

DynaSand-suodattimen periaate on esitetty alla (Kuva 2.1). Suodatinhiekan raekoko on 1,3-2 mm ja suodatinpatjan korkeus tyypillisesti 1-2 m, kun suodattimen ensisijaisena tehtävänä on poistaa kiintoainesta.

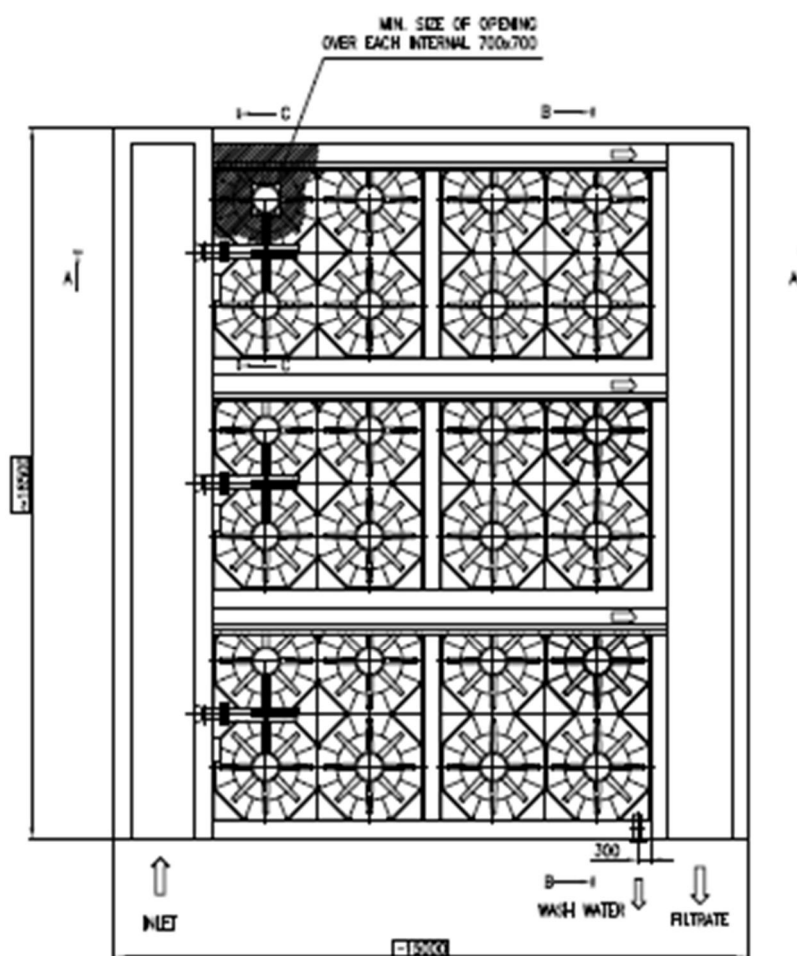


Kuva 2.1. DynaSand-suodattimen toimintaperiaate. (Kuva: Nordic Water)

Tarjotussa ratkaisussa DynaSand-suodatus on yksivaiheinen. Suodatuksessa on kolme linjaa, joissa on yhteensä 24 suodatinta (Kuva 2.2). Suodattimet rakennetaan betonialtaisiin, joiden kokonaissyvyys on noin 6-7 m. Suodattimen pohjakartio on teräksinen. Suodatinaltaiden lisäksi käsittely-yksikköön on varattava tilat kahdelle paineilmakom-

pressorille ja mammuttipumpuille sekä kemikaalisäiliöille ja -syöttöpumpuille. Käytännössä tarvitaan myös suodatinlaitosta edeltävä käsiteltävän veden nostopumppaus. Suodattimen päälle tarvittava hydraulinen korkeus on 1,3-1,5 mvp. Erityistä vaatimusta huonetilan korkeuden suhteen ei ole.

Kemikaali annostellaan suoraan putkisekoittimella varustettuun tuloputkeen tai tulo-kanavaan, eikä erillistä pikasekoitus- tai flokkausallastilavuutta tarvita. Toimittajan mukaan partikkelit ehtivät flokkautumaan suodattimessa siten, että syntyvän flokin koko on suodatusprosessin kannalta riittävä. Liian suuret ja ennaikaisesti syntyneet flokit voivat rikkoutua suodatinpatjassa ja heikentää suodatustulosta. Samasta syystä flokkauksen apuna ei ole tarpeen tai toivottavaa käyttää polymeeriä.



Kuva 2.2. Lappeenrantaan tarjotun DynaSand-toteutuksen tasokuva.

Käyttö

Suodatusta ohjataan virtaamamittauksen avulla. DynaSand pystyy käsittelemään noin 100 mg SS/l:n kiintoainekuormituksen. Korkeisiin kiintoainekuormituksiin voidaan varautua ns. hiekan tehopesulla, jolloin hiekan kiertoa nopeutetaan varustamalla prosessiyksikkö useammilla pneumatiikkakaapeilla. Poikkeuksellisia, yli 400 mg SS/l:n pitoisuuksia suodatin kestää vain lyhytaikaisesti tukkeutumatta. Tukkeutunut suodatin voidaan yleensä saattaa toimintakuntoon, jos hiekkaa saadaan pumpattua mammut-pumpuilla. Ylimääräisen veden johtaminen suodatinpatjaan voi auttaa pumppauksessa. Tukkeutuneen suodattimen käyttöönotto vie kuitenkin joka tapauksessa useita tunteja,

jopa useita päiviä. Poikkeavat kiintoainekuormitukset on siten tärkeää havaita nopeasti online-mittausten avulla ja ohjata suodattimien ohi, jotta tukkeutuminen vältetään.

Normaalitilanteessa suodattimen toimintaa seurataan veden laadun online-mittausten lisäksi hiekankierron ja pesuveden määrän mittauksin kuukausittain. Hiekankierron mitaus suoritetaan manuaalisesti erityisen mittatikun avulla.

Lappeenrantaan suunnitellun suodatuksen pesuveden määrä on keskivirtaamalla arviolta 3,5 %. Suodattimien ollessa jatkuvassa käytössä pesuveden määrä on tavallisesti noin 8 %. Pesuveden määrää voidaan vähentää käyttämällä suodattimia matalammilla virtaamilla vain osan ajasta, esimerkiksi 15 min/h, jolloin pesuveden määrä vähenee neljännekseen.

Referenssit

Yhdysvalloissa on useita alle 0,1 mg P/l:n fosforipitoisuuteen tähtäviä DynaSand-jälkikäsitteytystoteutuksia (USEPA 2007). Näissä kohteissa hiekkasuodatus on kuitenkin toteutettu kaksivaiheisena. Prosessitoimittajan mukaan kaksivaiheisen suodatuksen kustannukset ovat karkeasti noin kaksinkertaiset yksivaiheiseen suodattimeen verrattuna. Toisen vaiheen suodattimessa voidaan tosin käyttää matalampaa suodatinpatjaa ja vesi voidaan johtaa suodattimelle painovoimaisesti.

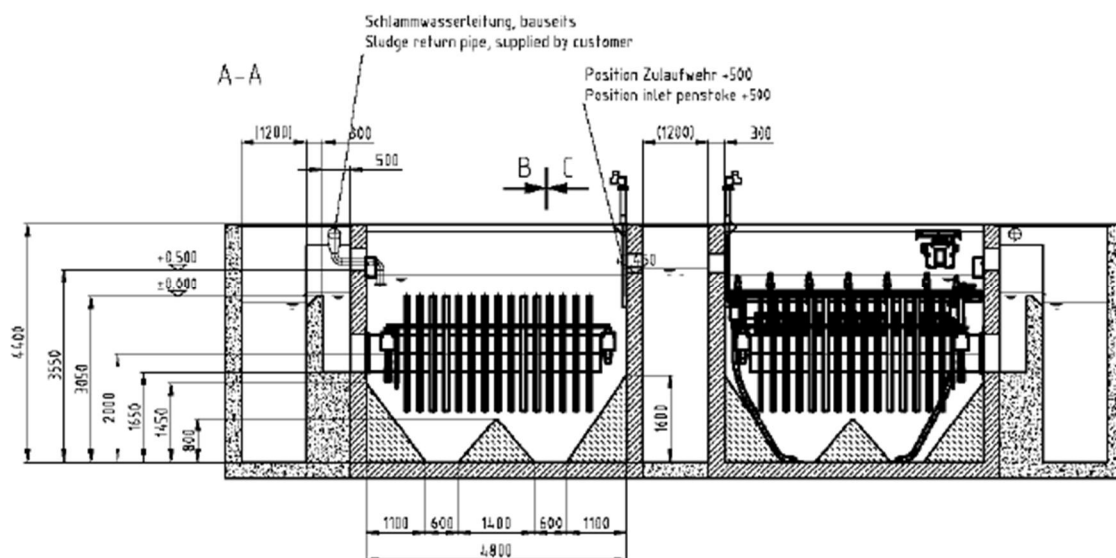
Toimittajan mukaan matala fosforipitoisuus voidaan saavuttaa myös yksivaiheisella ratkaisulla. Växjön Sundetin jätevedenpuhdistamolla (avl 100 000, 1 500 m³/h). Ruotsissa on saavutettu alle 0,1 mg/l:n kokonaisfosforipitoisuus yksivaiheisella DynaSand-suodatuksella vuosikeskiarvona usean vuoden ajan. Pitkäaikaisia alle 0,1 mg P/l:n puhdistustuloksia on myös saksalaiselta KA Warenin (700 m³/h) jätevedenpuhdistamolta.

Suomessa on useita DynaSand-toteutuksia. Yhdyskuntajäteveden jälkikäsitteilyssä DynaSand on mm. Hyvinkään, Seinäjoen, Riihimäen ja Vaasan jätevedenpuhdistamoilla. Riihimäen suodatinlaitoksen takuuarvo on fosforin osalta 0,2 mg P/l. Alle 0,1 mg P/l:n pitoisuuksia on saavutettu, mutta niihin ei ole ollut Suomessa tarpeen pyrkiä jatkuvasti. Hyvinkään ja Vaasan puhdistamoilla lähtevä kiintoainepitoisuus on alle 2 mg SS/l. Myös Toikansuon jätevedenpuhdistamolla on tehty DynaSand-koeajoja 2000-luvun alussa.

2.1.2 AquaDisk

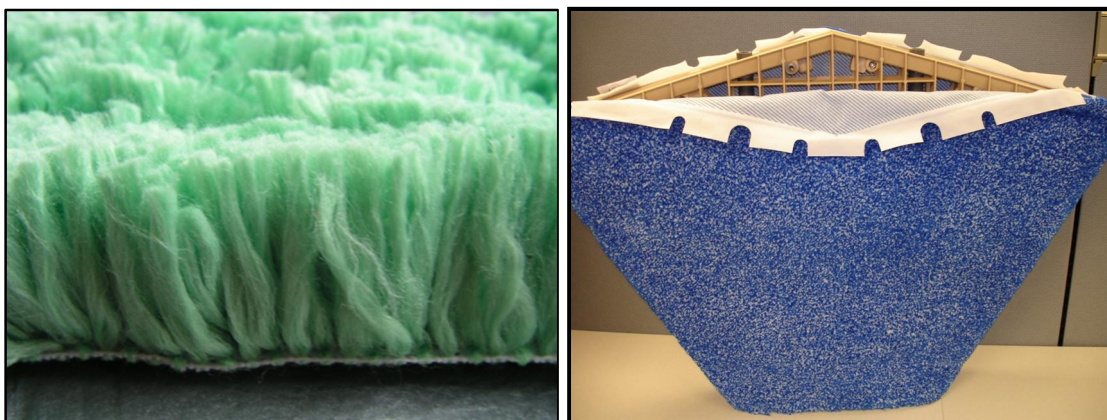
Prosessikuvaus

Aquadisk-kiekkosuodattimet ovat tekstiilipintaisia suodattimia, jotka asennetaan betonialtaisiin (Kuva 2.3). Lappeenrantaan tarjotussa prosessiratkaisussa on kahdeksan rinnakkaisista suodatuslinjaa. Suodatinaltailla on yhteinen tulokanava ja kaksi lähtevän veden kanavaa. Suodatinaltaat katetaan tai sijoitetaan sisätiloihin.



Kuva 2.3. Kiekkosuodatusaltaiden leikkauskuva.

Jätevedessä oleva laskeutuva kiintoainne kootaan betonialtaan alaosassa olevaan liete-kartiioon ja poistetaan pumpaamalla esim. kahden tunnin välein. Vesi suodatetaan suodattimen ulkopinnalta kiekon sisälle. Suodatettu vesi johdetaan suodatinkiekkujen keskellä kulkevaa keruuputkea pitkin pois suodatinaltaasta ja ylivuodon kautta suodatetun veden kanavaan. Vedessä olevat laskeutumattomat kiintoainepartikkelit poistuvat sekä siivilöitymällä että kiinnittymällä suodatinkankaan kuituihin (ks. Kuva 2.4). Suodatin-kangas on noin 2 cm:n paksuinen. Aquadisk-kiekkosuodattimia toimittaa saksalainen Mecana Umwelttechnik GmbH.



Kuva 2.4. Suodatinkangasta ja kiekkosuodattimen yksittäinen sektori.

Normaalitilanteessa suodattimet eivät liiku. Vesi johdetaan suodattimille painovoimaisesti ja veden suodattumiseen riittää tulo- ja lähtöjärjestelyjen hydraulinen korkeusero. Veden painovoimainen johtaminen käsittely-yksikköön on toivottavaa myös prosessin toiminnan kannalta. Suodatuksen vaatima hydraulinen korkeus on noin 0,3 m. Tulo- ja lähtöjärjestelyjen vaatima hydraulinen korkeusero huomioiden koko prosessiyksikön vaatima hydraulinen korkeus on noin 0,5 m. Prosessin tulojärjestelyjen hydraulisessa suunnittelussa on huomioitava erityisesti kemikaloinnissa muodostuneen flokin säilyminen ehjänä. Laitetoimittaja suunnittelee prosessiyksikön hydraulisen toteutuksen.

Käyttö

Suodattimien likaantuessa suodattumiseen tarvittava paine-ero kasvaa ja vedenpinta nousee altaassa. Suodattimen pesu käynnistetään pinnankorkeusmittauksen perusteella. Jos suodattimien kuormitus on vähäistä, pesu voidaan ohjelmoida käynnistymään myös tietyin väliajoin. Suodattimet pestään vastavirtahuuhtelun ja suodattimen ulkopintaa kulkevan imupumppauksen avulla. Pesun aikana suodatin pyörii keskiakselin ympäri nopeudella 1 rpm. Suodattimen pesu kestää alle 2 minuuttia. Yksi pesupumppu palvelee useampaa suodatinta. Veden suodatusta ei tarvitse keskeyttää suodattimen pesun ajaksi. Jäteveden tertiäärikäsittelyssä käytettävien suodattimien huuhteluvesi johdetaan usein jälkiselkeytysaltaisiin. Huuhteluveden tyypillinen määrä on 3-5 % käsiteltävästä jätevesivirtaamasta.

Kun automaattisesti käynnistyvien pesujen väli tihenee, suodatin pestään manuaalisesti. Pesua varten suodatinyksikkö pysäytetään ja suodattimet pestään sektoreittain. Yksi suodatinkiekko muodostuu kuudesta erillisestä suodatinsektorista (Kuva 2.4). Suodatin-kiekkon sektorit nostetaan pois altaasta yksittäin. Suodatinkangas irrotetaan kehikosta ja pestään sisäpuolelta painepesurin avulla. Suodattimien manuaalinen pesu on suoritettava tavallisesti 1-2 vuoden välein. Yhden suodatinyksikön manuaalinen pesu vie laite-toimittajan mukaan noin yhden miestyöpäivän.

Kiekkosuodatuksen ympärille tarvitaan 2-3 m tilaa, jotta suodatinosat voidaan nostaa altaasta ylös ja pestä suodatinaltaiden läheisyydessä. Suodattimia ei ole tarpeen nostaa altaasta asennuksen jälkeen pois, joten erityistä vaatimusta tilan korkeudelle ei ole. Suodattimet vaihdetaan sektoreittain. Suodattimien pesun ja vaihdon lisäksi prosessissa tarvittavin huolto- ja kunnossapitotoimenpiteisiin kuuluu tavanomainen koneistojen, kuten pumppujen, vaatima kunnossapito. Suodattimia lukuun ottamatta prosessiyksikön koneisto ja laitteet, esim. pesupumput ovat standardipumppuja, joten varaosia on saatavilla nopeasti joko Mecanalta tai muilta toimittajilta.

Suodatinkangas on herkkä esim. öljy- ja rasvapäästöille. Lappeenrantaan tarjottu suodatinkangaslaatu kestää kemikaalipesuja sekä esim. jäteveden jälkidesinfioinnissa käytettävää klooria. Suodattimien pesu kemikaalein ei kuitenkaan ole tavallisesti tarpeen.

Suodatin kestää noin 100-150 mg/l:n kiintoainekuormituksen lyhytaikaisesti, esim. virtaamapulssin aiheuttamana. Korkeampikaan kiintoainekuormitus ei ole suodatuksen toiminnan kannalta ongelmallinen, jos kiintoaine on laskeutuvaa. Jos kiintoaine ei laskeudu, suodattimien tukkeutuminen nopeutuu. Tietyllä kuormitustasolla suodatin joutuu jatkuvaan pesuun, jolloin pesuvien määrä saavuttaa suodoksen määrää. Poikkeavan kuormituksen jälkeen suodatin on kuitenkin palautettavissa nopeasti normaaliin toimintaan pesujen avulla.

Ennen suodatusta tehtävään kemialliseen saostukseen on kiinnitettävä erityistä huomiota erittäin matalan fosforipitoisuuden saavuttamiseksi, kuten kaikissa tarkastelluissa jälkikäsittelyvaihtoehdoissa. Hyvän fosforinpoistotuloksen saavuttamiseksi prosessitoimittaja painottaa kemikaalin tehokkaan pikasekoittamisen tärkeyttä. Lappeenrannan toteutukseen tarjotulla mikrosuodatinkankaalla suodatetun veden kiintoainepitoisuus on 1-2 mg SS/l.

Jäteveden matala lämpötila ei vaikuta merkittävästi kiekkosuodatuksen toimintaan tai tehokkuuteen. Matala lämpötila lisää kuitenkin kemiallisen saostuksen reaktioaikaa ja on se siten huomioitava kemikaloinnin suunnittelussa. Kylmän veden aikana polymeerin käyttö apuflokkulantina voi olla tarpeen. Haastavin aika kemikaloinnin kannalta on tyypillisesti lumien sulaminen, jolloin käsiteltävä virtaama on suuri ja jäteveden lämpötila matala. Pohjois-Amerikassa on useita kylmän jäteveden (esim. <2 °C) sovelluksia. Suodatinmateriaali soveltuu jäteveden käsittelyyn aina 40 °C:n saakka.

Kiekkosuodatuksen merkittävin käyttökustannus muodostuu suodatinkankaan vaihdosta. Suodatinkankaalle annetaan kolmen vuoden takuu. Laitetoimittajan mukaan tarvittava suodatinkankaan vaihtoväli riippuu käsiteltävän jäteveden laadusta, mutta on yleensä 5-10 vuotta. Suodatuksen energiankulutus on verrattain vähäinen, koska kiekkosuodattimet eivät liiku normaalitilanteessa. Prosessissa energiaa kuluu suodatinten pesuun (noin 5 kW 3 minuutin ajan tunnissa) sekä altaan pohjalle laskeutuneen lietteen pumppaamiseen.

Referenssit

Aquadisk-kiekkosuodatus on käytössä tertiäärikäsittelyssä lukuisilla yhdyskuntajätevedenpuhdistamoilla Euroopassa ja Yhdysvalloissa. Valtaosa noin 2000 referenssilaitoksesta on jäteveden jälkikäsittelytoteutuksia. Suomen ensimmäinen Aquadisk-toteutus on rakenteilla Lakeuden jätevedenpuhdistamolle Lapualla. Alle 0,1 mg P/l:n tuloksia on tavoiteltu ja saavutettu raportoidusti ainoastaan pilot-kokeissa. Pilot-kokeiden mittakaava on kuitenkin vastannut täyden mittakaavan laitoksia. Täyden mittakaavan sovelluksissa on useita alle 0,2 mg P/l:n puhdistusvaatimuksella toimivia laitoksia.

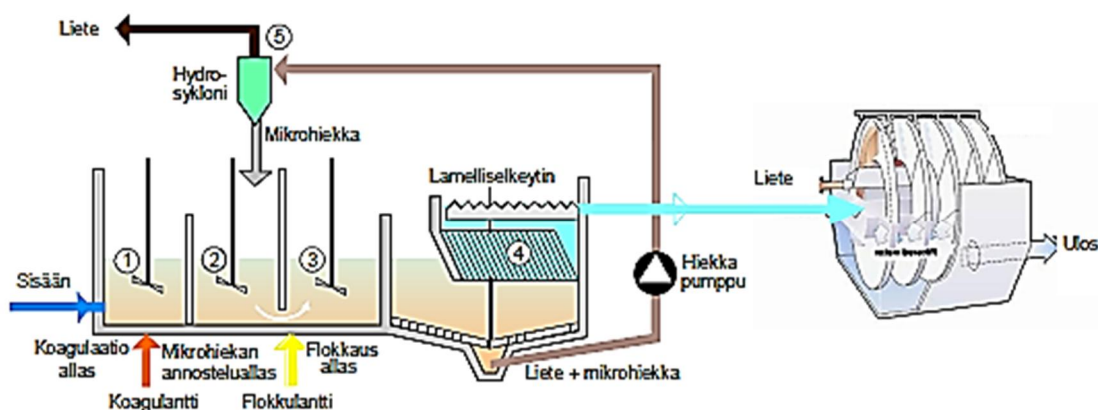
Prosessitoimittajan mukaan kaksivaiheisella suodatuksella ei ole saavutettavissa erityisiä etuja tarjottuun yksivaiheiseen suodatukseen verrattuna. Prosessin toimintavarmuus on huomioitu tarjotussa ratkaisussa prosessin riittävän väljänä mitoituksena ja käsittelykapasiteettina.

2.1.3

Actidisc

Prosessikuvaus

Actidisc on Actiflo:n eli kemiallisen saostuksen ja mikrohiellä tehostetun laskeutuksen sekä Hydrotech Discfilter -kiekkosuodattimen yhdistelmä. Prosessin periaate on esitetty kuvassa Kuva 2.5. Prosessin edustaja on Suomessa Aquaflo Oy. Actiflo-prosessi koostuu kolmivaiheisesta kemikalointialtaasta sekä lamellein varustetusta vaakaselkeytysaltaasta. Saostuskemikaali annostellaan kemikalointivaiheen ensimmäisessä altaassa, jossa on mekaaninen pikasekoitus. Toisessa altaassa veteen annostellaan mikrohiettä, joka tekee kemikaloinnissa muodostuvista flokeista raskaampia ja siten nopeammin laskeutuvia. Mikrohiekan raekoko on 150-180 µm. Myös mikrohiekan annostelualtaassa on pikasekoitus. Kolmantena vaiheena on flokkausallas, jossa syntyneen flokin kokoa kasvatetaan mekaanisen hämmennyksen avulla. Ennen flokkausta veteen voidaan annostella polymeeriä flokkauksen tehostamiseksi.



Kuva 2.5. Actidisc-käsittelymenetelmän periaatekuva. (kuva: Aquaflo Oy)

Kemikaloinnin jälkeen vesi ohjataan lamelliselkeytysaltaaseen. Mikrohiekkaa sisältävät flokit laskeutuvat altaan pohjalle ja selkeytetty vesi poistetaan lamellien läpi ylivuotona altaan yläreunasta. Lamellien tärkein tehtävä on vakauttaa altaan hydrauliikkaa. Mikrohiekkaa sisältävät flokit laskeutuvat erittäin nopeasti ja siten selkeytyksessä voidaan käyttää korkeaa, jopa 30 - 80 kertaa tavanomaista korkeampaa pintakuormaa (100 m/h). Tästä syystä Actiflo-prosessissa tarvittava selkeytystilavuus on merkittävästi pienempi kuin perinteisessä vaakaselkeytyksessä ja prosessin osan tilantarve vähäinen. Lamellit suositellaan pestäväksi viikoittain painepesurin tai vesiletkun avulla.

Selkeyttimien pohjalle laskeutunut liete-hiekkaseos pumpataan hydroykloniin, jossa ominaispainoltaan eroavat hiekka ja liete erotetaan toisistaan keskipakovoiman avulla. Hiekka kierrätetään takaisin prosessiin. Liete-hiekkaseoksen kierrätysvirtaama on tyypillisesti noin 4-5 % käsiteltävästä jätevesivirtaamasta. Mikrohiekkaa annostellaan prosessiin automaattisesti virtaama suhteessa. Mikrohiekan kulutus on arvioilta 3-5 g/m³. Lietteen mukana poistuvan mikrohiekan ei ole havaittu lisäävän koneiston ja laitteiston kulumista tai aiheuttavan muita ongelmia seuraavissa prosessinosissa, sillä lietteen mukana on jo ennalta saman kokoluokan hiekkaa.

Actiflo-prosessin selkeytetty vesi johdetaan painovoimaisesti jälkikäsittelyn toiseen vaiheeseen, mekaaniseen Hydrotech-kiekkosuodatukseen. Vesi suodatetaan siivilöiden sisäpuolelta ulospäin. Polypropeenista valmistetun siivilän reikäkoot ovat 10-100 µm. Suodatin pestään vastavirtapesulla, eikä suodatusta tarvitse keskeyttää pesun ajaksi. Pesuveden määrä on tyypillisesti 1-3 % käsiteltävästä virtaamasta. Pesusuuttimien toiminta on tarkastettava viikoittain tukkeutumisen varalta.

Käyttö

Laitetoimittajan arvion mukaan suodatinelementit on vaihdettava kerran 20 vuoden aikana. Ensimmäisen viiden käyttövuoden aikana suodatinelementtien vaihtotarve on arviolta enintään 5 %. Suodatinmateriaalin tukkeutumista ja mahdollista rikkoutumista suositellaan seurattavaksi viikoittain. Koko käsittelyprosessissa tarvittava hydraulinen korkeus on noin 700 mm, josta mikrosiivilöinnin osuus on alle 250 mm.

Poikkeuksellisiin kiintoainekuormituspiikkeihin (esim. 100 mg SS/l) voidaan varautua mitoittamalla Actiflo-yksikkö riittävän väljästi. Prosessitoimittajan mukaan tavoiteltu puhdistustulos voidaan tällöin saavuttaa myös lyhytaikaisen poikkeuksellisen kuormitustilanteen aikana. Erittäin suuri kiintoainekuormituspiikki (esim. 3 000 mg SS/l) heikentää saavutettua puhdistustulosta, mutta molempien prosessinosien toiminta normalisoituu automaattisesti tulokuormituksen palatessa normaalille tasolle. Huippuvirtaamatilanteissa päävirta voidaan tarvittaessa ohjata Actiflo-prosessin ohi mikrosiivilöintiin ja biologisen prosessin ohitse johdetut vedet Actiflo-käsittelyyn.

Jäteveden matala lämpötila vaikuttaa prosessin toimintaa erityisesti flokkauksen heikentymisen ja siivilöinnin heikomman läpäisevyyden kautta. Flokkauksen onnistuminen ja vahvan flokin muodostuminen on tärkeää optimaalisen puhdistustuloksen saavuttamiseksi. Veden tulojärjestelyjen hydrauliikan suunnittelussa on huomioitava muodostuneen flokin säilyminen ehjänä.

Referenssit

Molemmat prosessivaiheet saavuttavat yksinäänkin 0,1 mg/l:n fosforipitoisuuden. Kaksisivaiheisella prosessilla turvataan matalan fosforipitoisuuden saavuttaminen jatkuvasti.

Actiflo-prosessilla on lukuisia täyden mittakaavan toteutuksia yhdyskuntajäteveden tertiäärikäsittelystä Euroopassa ja muualla maailmassa. Alle 0,1 mg P/L:n fosforipitoisuuksia on saavutettu pelkällä mikrosiivilöinnillä mm. Raholan ja Ruhlebenin (Saksa) pilot-koeajoista sekä Göteborgin Ryan jätevedenpuhdistamolta. Syracusan (NY, USA) jätevedenpuhdistamon tertiäärikäsittelyn puhdistusvaatimus on fosforipitoisuuden osalta 0,12 mg P/l.

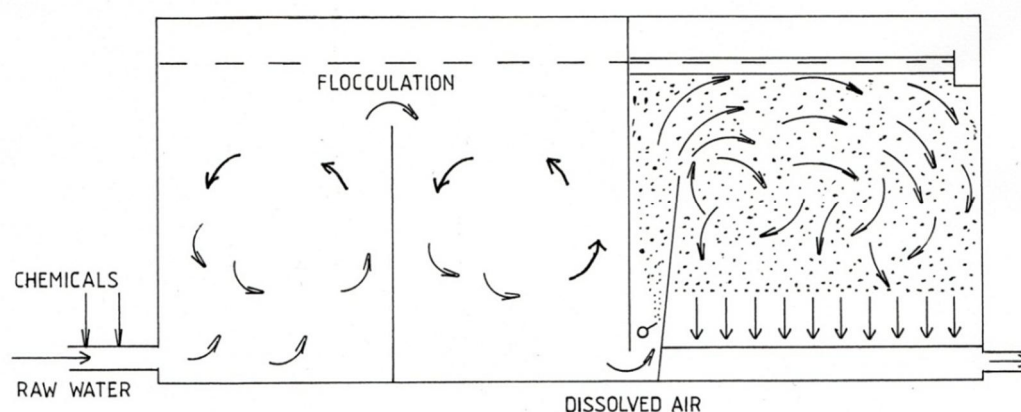
2.1.4 Flotaatio ja flotaatiosuodatus

Prosessikuvaus

Flotaatiossa kemikaloinnissa syntyneet flokit erotetaan vedestä nostamalla ne ilmakuplien avulla altaan pintaan. Ns. korkeapaineflotaatiossa (DAF, dissolved air flotation) ilmakuplat tuotetaan syöttämällä käsiteltävään veteen dispersiovettä, johon on liuotettu ylipaineistettua (6 bar) ilmaa. Dispersiovesi annostellaan käsiteltävään veteen, jolloin siitä vapautuu ilmakuplia paineen laskiessa. Ilmakuplat törmäyvät vedessä oleviin kiintoainepartikkeleihin ja nostavat ne mukanaan altaan pinnalle. Dispersiovetenä käytetään tavallisesti puhdistettua jätevettä. Tarvittava dispersioveden määrä on noin 15 % käsiteltävän veden määrästä. Ilmakuplien koko on tyypillisesti 20-100 µm.

Rictor Oy:n patentoimassa flotaatoratkaisussa, ns. pyörrevirtaflotaatiossa, flotaatioal- taaseen aiheutetaan turbulenttinen virtaus, jolloin ilmakuplien ja kiintoainepartikkelien törmäily tehostuu. Turbulenttinen virtaus saadaan aikaan patentoidun reikäpohjaratkai- sun avulla. Selkeytetty vesi poistetaan reikäpohjan kautta altaan alaosaan. Perinteiseen flotaatioon verrattuna pyörrevirtaflotaatiossa käytettävä pintakuorma, noin 40 m/h, on huomattavasti suurempi ja tilantarve vastaavasti pienempi.

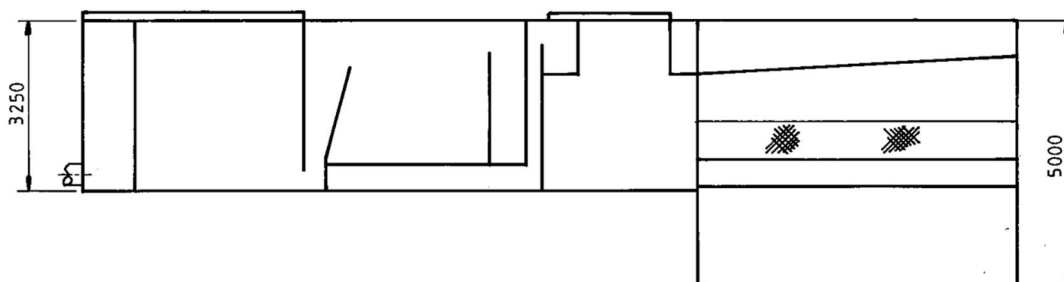
Periaatekuva Rictor Oy:n käsittelyratkaisusta on esitetty kuvassa Kuva 2.6. Flotaatiota edeltää kiintoainepartikkelien kemiallinen koagulointi ja flokkaus. Koagulantti ja mah- dollinen apuflokkulanttina käytettävä polymeeri annostellaan prosessiyksikön tuloput- keen ja flokkausta tehostetaan kahdessa mekaanisella hämmentimellä varustetussa al- taassa. Flotaation optimaalinen flokkikoko on pienempi kuin laskeutukseen perustuvissa erotusmenetelmissä. Liian suuri flokkikoko tai raskaat flokit heikentävät flotaation toi- mintaa.



Kuva 2.6. Pyörrevirtaflotaation periaatekuva.

Kiintoaineen erottumista voidaan tehostaa yhdistämällä flotaatioon hiekkasuodatusy- sikkö. Hiekkasuodatus voidaan toteuttaa joko samassa altaassa flotaation kanssa tai eril-

lisessä altaassa. Saadun budjettitarjouksen perusteella flotaation ja suodatuksen toteuttaminen erillisissä altaissa (Kuva 2.7) vaatii pienemmän kokonaisallastilavuuden ja on edullisempaa. Erillisissä yksiköissä toteutettuna prosessiyksikön vaatima hydraulinen korkeus on prosessitoimittajan mukaan pienempi ja muodostuva vesi-lieteseoksen määrä pienempi. Flotaatiosuodatuksen tarvitsema hydraulinen korkeus on 2,6 m. Erikseen toteutettavien yksiköiden hydraulisen korkeuden tarvetta ei ilmoitettu. Suodatus vaatii nostopumppauksen. Jos jälkikäsittelynä on pelkkä flotaatio, nostopumppausta ei tarvita.



Kuva 2.7. Periaatekuva pyörrevirtaflotaation ja hiekkasuodatuksen yhdistämisestä.

Hiekkapatjan korkeus suodatinyksikössä on 70 cm ja käytettävän hiekan raekoko 0,8-2 mm. Käsiteltävä vesi virtaa suodattimessa ylhäältä alaspäin. Suodatin pestään vastavirtapesulla. Pesua tehostetaan ilman avulla. Käsiteltävästä vedestä riippuen suodattimen pesuväli on 1-3 d ja tyypillinen tarvittava pesuveden määrä on noin 5 % käsiteltävästä vedestä. Pesuvesiallas on sijoitettu alustavassa suunnitelmassa suodattimen alle.

Prosessialtaiden lisäksi pyörrevirtaflotaatioissa tarvitaan tilat prosessikemikaaleille sekä flotaatiolaitteistolle. Flotaatiolaitteisto, johon sisältyy dispersiovesisäiliöt ja -pumput sekä paineilmakompressorit, on prosessin toimittajan suunnittelema ja teettämä. Flotaatioissa tarvittava laitteisto voidaan sijoittaa flokkausaltaiden päälle tilan säästämiseksi. Flotaatioaltaita ei kateta. Jokainen käsittelylinja varustetaan omalla laitteistollaan, jotta käsittelylinjoja voidaan ajaa erikseen. Flotaatiosuodatus ei vaadi normaalin laitteiston huollon ja suodatinten säännöllisen automaattisen pesun lisäksi erityisiä kunnossapitoimenpiteitä.

Käyttö

Kemikaalien annostelun tarkka säätäminen on tärkeää erittäin matalan fosforipitoisuuden saavuttamisessa käsiteltävän veden laadun vaihdellessa. Prosessitoimittajan mukaan tavoiteltava fosforipitoisuus ei vaikuta varsinaisen flotaatiosuodatus-prosessin mitoittamiseen tai muuhun toteutukseen, vaan fosforipitoisuus riippuu ensisijaisesti kemikaloinnin tehokkuudesta. Flotaation ja hiekkasuodatuksen yhdistelmä lisää prosessin kiintoaineen poistotehon varmatoimisuutta. Käyttökustannusten minimoimiseksi suodatusyksikkö voidaan ottaa käyttöön vain tarvittaessa, jos tavoiteltu puhdistustulos saavutetaan jo pelkän flotaation avulla.

Prosessitoimittajan mukaan pyörrevirtaflotaatio kestää väliaikaisia kiintoainekuormituspiikkejä (esim. 100 mg SS/l), jos virtaama on 2/3 mitoitusvirtaamasta. Normaalista suurempi kiintoainekuormitus lisää dispersioveden tarvetta. Prosessitoimittajan mukaan arvioitu 15 %:n dispersiovesiosuus sisältää varauksen poikkeuksellisiin kiintoainekuormituspiikkeihin.

Rictor Oy:llä on useita referenssejä pyörrevirtaflotaation käytöstä kunnallisen jätevedenpuhdistuksen jälkikäsittelyssä. Viimeaikaisia toteutuksia ovat Suomessa mm. Kokolan ja Hämeenlinnan jälkikäsittely-yksiköt. Prosessitoimittajan mukaan alle 0,1 mg

P/l:n puhdistustuloksia on saavutettu mm. Hudsonissa (MA, USA) ja Hämeenlinnan jätevedenpuhdistamon koeajoissa, mutta tietoja alle 0,1 mg P/l:n saavuttamisesta pitkäaikaisesti ja jatkuvasti ei ole, koska vaadittu fosforipitoisuus on ollut laitoksilla korkeampi (<0,3 mg P/l). Varsinaista prosessidataa tai muita yksityiskohtaisia tietoja saavutetuista puhdistustuloksista ei toimitettu budjettitarjouksen yhteydessä.

2.2 Kalvosuodatustekniikka

Syksyn 2011 selvityksen perusteella todettiin, että perinteisten jälkikäsitteilytekniikoiden ohella tavoiteltu erittäin hyvä puhdistustulos voidaan saavuttaa verrattain kustannustehokkaasti ultrasuodatuksen avulla. Selvityksessä vertailtiin useita eri kalvosuodatustekniikoita. Ultrasuodatus poistaa kiintoaineen lisäksi myös bakteerit sekä valtaosan viruksista, koska ne ovat tavallisesti kiinnittyneinä suurempiin partikkeleihin.

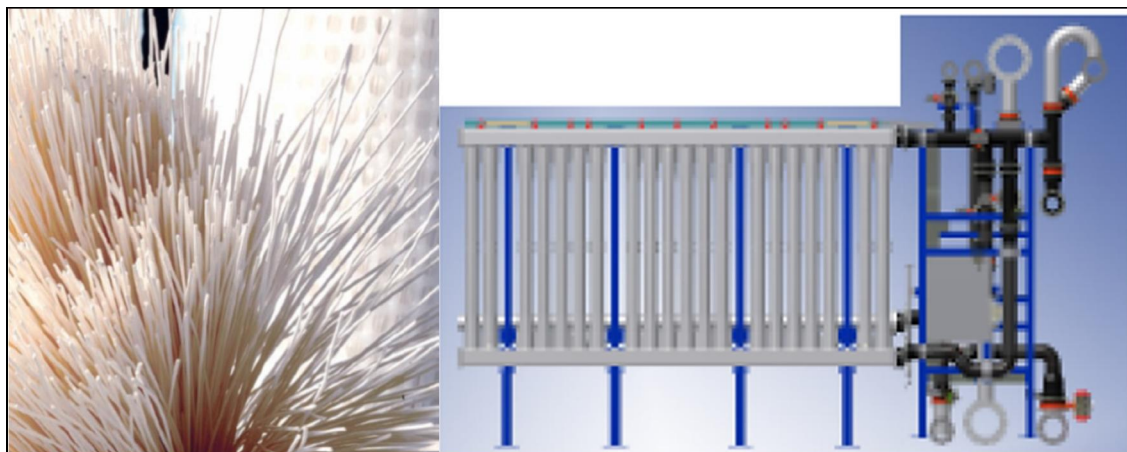
Tertiäärivaiheen ultrasuodatuksesta pyydettiin tämän työn aikana budjettitarjouksia sekä onttokuitu- että tasomaisten kalvojen toimittajilta. Tasomaisten kalvojen toimittajan (Kubota) mukaan tasomaiset kalvot eivät ole kilpailukykyisiä onttokuitukalvojen kanssa tertiäärivaiheen ultrasuodatuksessa, eikä budjettitarjousta siten saatu.

2.2.1 MEMCOR-ultrasuodatus

Prosessikuvaus

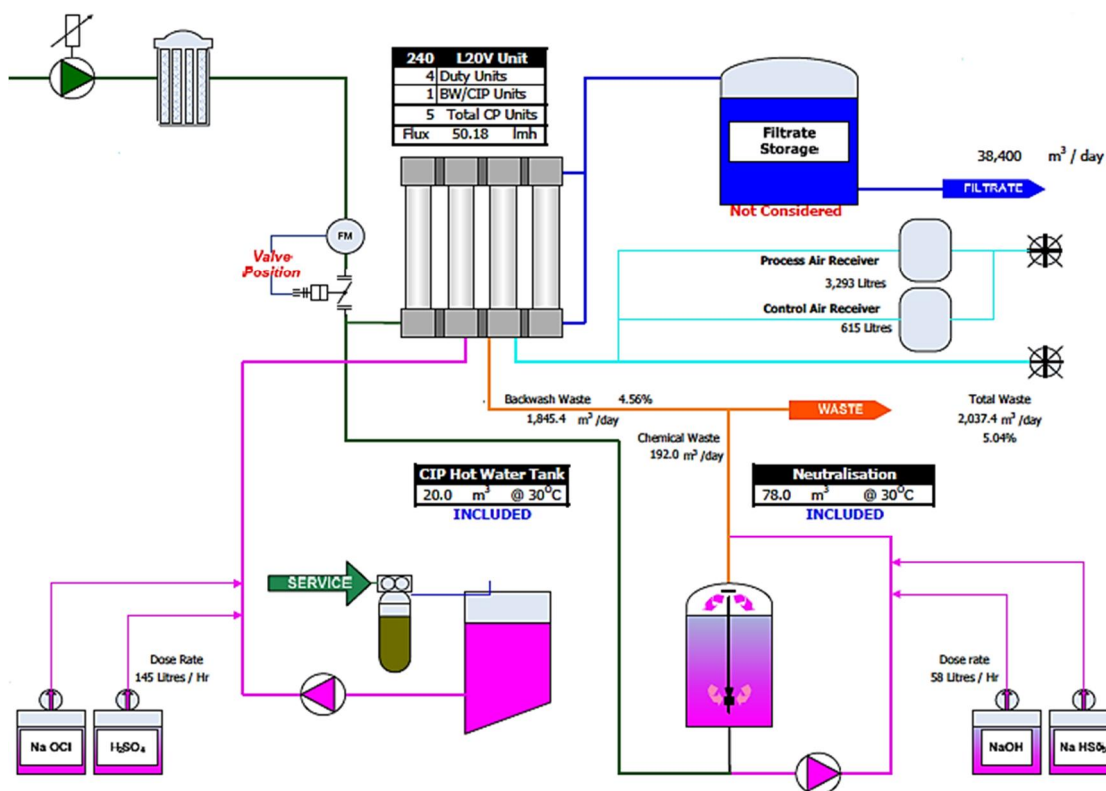
Siemens Oy:n tarjoamassa kalvosuodatusratkaisussa biologisesti käsitelty jätevesi suodatetaan Memcor-onttokuitukalvoilla. Biologisesti käsitelty jätevesi on esikäsiteltävä hienovälppäyksen, esim. rumpusiivilä avulla ennen kalvosuodatusta. Hienovälppäyksen säleväli on 0,5 mm ja sen avulla käsiteltävästä vedestä poistetaan kalvoille haitalliset pienet partikkelit ja mm. hiukset.

Kalvojen materiaali on polyvinyylideenifluoridia (PVDF) ja huokoskoko 0,04 µm. Käytännön toteutuksissa kalvot niputetaan pystysuoraan moduuleiksi ja moduulit kaseteiksi, jotka muodostavat yhden käsittely-yksikön (Kuva 2.8). Yhdessä kalvomoduulissa on noin 10 000 yksittäistä kuitua ja 35 000 m² suodatuspinta-alaa. Tarjotussa käsittelyratkaisussa on yhteensä viisi käsittely-yksikköä, joista neljä on käytössä ja yksi pesussa. Yhdessä käsittely-yksikössä on standardimallin mukaisesti 240 kalvomoduulia. Käsittelyprosessin kapasiteettia voidaan nostaa yksinkertaisesti lisäämällä rinnakkaisten kalvomoduulikasettien määrää ja tarvittavan lisätilan määrä on pieni. Yleisesti kalvosuodatusprosessin tilantarve on tyypillisesti noin 40 % pienempi kuin perinteisillä käsittelymenetelmillä.



Kuva 2.8. Yksittäisiä Memcor-onttokuitukalvoja ja kalvomoduulikasetti.

Jätevesi suodatetaan johtamalla vesi paineella putkimaisen kalvon ulkopuolelta sisäpuolelle. Vesi johdetaan kalvon läpi pumppauksella aikaansaadun paineen avulla. Kalvojen läpäisyyn tarvittava paine tai suodatetun veden saanto kasvaa kalvon likaantuessa. Läpäisyypaineen (TMP, transmembrane pressure) maksimi on esitetystä käsittelyratkaisussa 150 kPa. Suodatettu vesi johdetaan onttokuitukalvon sisäpuolelta kokoojaputkeen ja edelleen pois käsittely-yksiköstä. Kalvosuodatuksen prosessikaavio on esitetty alla (Kuva 2.9).

**Kuva 2.9. Kalvosuodatuksen prosessikaavio.**

Käyttö

Vedestä erotetut partikkelit jäävät kalvon pinnalle. Kalvot pestään säännöllisesti vastavirtapesulla suodatetulla vedellä. Vastavirtapesu tehdään 25 minuutin suodatuksen jälkeen ja pesutapahtuman kesto on alle kolme minuuttia. Tarvittava pesuveden määrä on noin 4 % käsiteltävästä virtaamasta. Pesuvedelle ei tarvita erillistä allasta tai pumppausta. Vastavirtapesussa käytetään apuna ilmaa, jota syötetään kalvomoduuliin moduulin alaosasta. Pesuvesi johdetaan yleensä puhdistusprosessin alkuun.

Vesi-ilmapesun lisäksi kalvoja pestään säännöllisesti kemikaalien avulla, jotta kalvojen läpäisevyys säilyy. Pesuohjelmaan sisältyy kahdenlaisia kemikaalipesuja, niin sanottuja kunnossapitopesuja (maintenance wash) ja CIP- eli paikallaanpesuja (clean-in-place). Kunnossapitopesun kesto on lyhyempi ja se suoritetaan noin kahden päivän välein. Voimakkaampi CIP-pesu suoritetaan noin kolmen viikon välein. Kemikaalipesut käynnistetään joko tietyin aikavälein tai kalvon läpäisyypaineen (TMP) ylittyä asetetun maksimiarvon. Optimaalinen pesuohjelma voidaan määrittää lopullisesti aina vasta käyttökokemusten perusteella.

Kunnossapitopesu tehdään natriumhypokloriitin (NaOCl) avulla. CIP-pesusekvenssin ensimmäisessä vaiheessa käytetään rikkihappoa (H_2SO_4) ja toisessa vaiheessa natriumhypokloriittia. Pesun tehostamiseksi kemikaalien laimennusvesi lämmitetään $30\text{ }^\circ\text{C}$:n lämpötilaan. Pesu kestää tyypillisesti noin 2-3 tuntia molemmilla kemikaaleilla. Käytetyt pesukemikaalit neutraloidaan lipeän (NaOH) tai rikkihapon avulla ja johdetaan koko puhdistusprosessin alkuun. Kemikaalien kulutus on joitakin satoja litroja kuukaudessa. Pesukemikaalit vastaanotetaan ja varastoidaan puhdistamoilla tyypillisesti 1 m^3 :n säiliöissä.

Säännöllisen pesuohjelman lisäksi kalvojen kunnossapitoon kuuluu kalvojen eheyden säännöllinen tarkistaminen. Kalvojen eheys tarkistetaan säännöllisesti paineistamalla tehtävällä kuntotarkastuksella. Kalvojen merkittävä rikkoutuminen näkyy myös läpäisy paineen alenemisena. Ultrasuodatusprosessiin rakennetaan usein suodatetun veden säiliö, josta kalvojen kuntotarkastuksessa käytettävä vesi otetaan. Laitetoimittajan arvion mukaan kalvojen eheyden tarkistamiseen ja mahdolliseen korjaamiseen kuluu vuosittain työaika keskimäärin 1-2 d. Prosessiin liittyvät laitteet, kuten pumput, kompressorit ja mittausinstrumentit vaativat tavanomaiset huoltotoimenpiteet.

Kalvosuodatustekniikoiden käyttökustannukset ovat tyypillisesti korkeammat kuin perinteisiä tekniikoita käytettäessä. Kalvosuodatuksessa tarvittavan läpäisy paineen aikaansaaminen vaatii energiaa, mutta merkittävä osuus käyttökustannuksista muodostuu myös kalvojen vaihtamisesta. Energian osuus käyttökustannuksista on tyypillisesti noin 50 % ja pesukemikaalien osuus 5 %. Kalvoille annetaan kolmen vuoden takuu. Todellinen käyttöaika on laitetoimittajan mukaan kuitenkin 5-10 vuotta olosuhteista riippuen.

Kalvosuodatuksen ensisijaisena etuna perinteiseen käsittelytekniikkaan verrattuna on puhdistustuloksen pysyvyys ja prosessin käyttövarmuus. Kalvosuodatetun veden laatu pysyy tasaisena ja kiintoaineksen erotusteho korkeana veden laadusta riippumatta. Suodatetun veden kiintoainepitoisuus on alle 1 mg SS/l . Kalvosuodatus ei vaadi partikkelien flokkaamista, eikä erillistä flokkausallasta siten tarvita. Polymeerejä ei saa käyttää kalvosuodatuksen yhteydessä, eivätkä erilliset apuflokkulantit ole prosessissa tarpeenkaan.

Fosfaattien tehokas kemiallinen saostus on tärkeää myös kalvosuodatusvaihtoehdossa, jotta voidaan saavuttaa erittäin matala käsitellyn veden kokonaisfosforipitoisuus. Prosessitoimittaja suosittelee kiinnittämään erityistä huomioita kemikaalin tehokkaaseen sekoittumiseen ja annostelemaan kemikaalin putkisekoitusyksikköön. Kalvosuodatuksen yhteydessä voidaan käyttää sekä rauta- että alumiinipohjaisia kemikaaleja. Koska kalvosuodatus ei vaadi varsinaista koagulointia, tarvittava saostuskemikaalin määrä on yleensä pienempi kuin perinteisiä jälkikäsitteilymenetelmiä käytettäessä.

Yleisesti kalvosuodatusta voidaan pitää kustannustehokkaana, kun käsiteltävän veden kiintoainepitoisuus on alle 50 mg SS/l . Kalvosuodatus kestää kuitenkin lyhytaikaisia kiintoainekuormituspiikkejä, vaikka kuormituksen kasvaessa kalvojen tukkeutuminen nopeutuu. Kalvosuodatusprosessi palautuu kuitenkin poikkeuksellisesta kuormituksesta tavanomaisten pesujen avulla. Yleisesti poikkeustilanteisiin varaudutaan mitoittamalla prosessin kapasiteetti riittävän suureksi.

Veden viskositeetti kasvaa lämpötilan laskiessa. Veden viskositeetin aiheuttamalla kalvojen läpäisevyyden heikkenemisellä on laitetoimittajan mukaan merkitystä vain puhdasta vettä käsiteltäessä. Jätevettä käsiteltäessä kalvojen läpäisevyys heikkenee matalissa lämpötiloissa, koska käsiteltävän veden orgaanisen aineksen hajoaminen on ollut edeltävissä prosessinosissa vähäisempää ja orgaanisen aineksen aiheuttama kalvojen tukkeutuminen lisääntyy. Suodattimien huuhteluväliä on lyhennettävä kylmän jäteveden aikana.

Referenssit

Memcor-kalvosuodatuksen täyden mittakaavan tertiäärikäsittelytoteutukset liittyvät usein jäteveden uusiokäyttöön alueilla, jossa makeasta vedestä on pulaa. Lukuisia tertiäärisuodatussovelluksia on mm. Australiassa ja Yhdysvalloissa. Alle 0,1 mg P/l:n fosforipitoisuutta on tavoiteltu toistaiseksi ainoastaan pilot-mittakaavan koeajoissa. Pilotkoeajojen tulosten mukaan alle 0,1 mg P/l:n fosforipitoisuus voidaan saavuttaa ultrasuodatuksen avulla jatkuvasti.

3 KÄSITTELYMENETELMIEN VERTAILU

Tarjottujen käsittelyratkaisujen perustiedot on koottu liitteenä esitettyyn taulukkoon. Taulukossa esitetyt investointikustannukset eivät ole suoraan vertailukelpoisia keskenään, koska tarjottujen laitetoimitusten sisällöt eroavat toisistaan. Esim. välttämättömät kemikalointiyksiköt sekä sähkö- ja automaatiovarustus sisältyvät osaan toimituksista, osaan taas eivät. Käsittelymenetelmien vertailun perusteella voidaan todeta seuraavaa:

Toimintavarmuus

- Kaikkia tarkasteltuja jälkikäsittelyprosesseja ohjataan automaattisesti.
- Jatkuvatoiminen hiekkasuodatus ja flotaatio ovat herkimpiä poikkeukselliselle kiintoainekuormituksen nousulle. Jatkuvatoimisen hiekkasuodatuksen palauttaminen toimintakuntoon poikkeuksellisen suuren kuormituspiikin jälkeen voi olla hidasta.
- Kiekkosuodatuksessa ja kalvosuodatuksessa itsenäisten käsittelylinjojen lukumäärä on suuri (8 kpl ja 5 kpl), jolloin yhden käsittelylinjan häiriötilanteella ei ole suurta vaikutusta käsittelyprosessin kapasiteettiin.
- ACTIDisc-ratkaisun ja flotaatiosuodatuksen kaksivaiheisuus lisää prosessin toimintavarmuutta.
- Ultrasuodatusprosessiin liittyy verrattain paljon laitteita ja siten huollettavia kohteita.

Puhdistustulos

- Kalvosuodatuksen puhdistustulos on vakaa riippumatta käsiteltävän jäteveden laadun vaihteluista. Myös kiekkosuodatuksen kiintoaineen erotusteho on verrattain vakaa.
- Kaksivaiheisissa perinteisissä käsittelyratkaisuissa ensimmäisen vaiheen heikentyneitä puhdistustulosta voidaan korjata vielä toisessa vaiheessa ja puhdistustulos on siten vakaampi.
- Kemiallisen saostuksen tehokkuus, ts. se, kuinka hyvin liukoinen fosfori saadaan sidottua kiinteään olomuotoon, on ensiarvoisen tärkeää kaikissa jälkikäsittelyvaihtoehtoisissa. Lisäksi perinteisiä tekniikoita käytettäessä flokkauksen onnistuminen eli flokkien koko ja muut fysikaaliset ominaisuudet on tärkeää. Kalvosuodatuksessa flokkauksen onnistuminen ei ole kriittistä.
- Erittäin matalan fosforipitoisuuden (< 0,1 mgP/l) jatkuvaa saavuttamista ei ole dokumentoitu kattavasti flotaation, flotaatiosuodatuksen ja yksivaiheisen jatkuvatoimisen hiekkasuodatuksen osalta.

Tilantarve

- Kalvosuodatuksen tilantarve on tyypillisesti pienempi kuin perinteisiä tekniikoita käytettäessä. Kalvosuodatuksessa tarvittava allastilavuus on vähäinen.
- Perinteisistä tekniikoista pienin tilantarve on ACTIDisc-ratkaisulla.
- Suurin tilantarve ja allastilavuus tarvitaan flotaatiosuodatuksessa, jossa flotaatio ja hiekkasuodatus toteutetaan erillisissä altaissa.
- Erillinen pikasekoitus- ja flokkausallas tarvitaan kaikissa muissa käsittelyvaihtoehtoisissa paitsi kalvosuodatuksessa ja jatkuvatoimisessa hiekkasuodatuksessa.

Investointikustannukset

- Kalvosuodatuksen investointikustannukset ovat merkittävästi suuremmat, karkeasti kolminkertaiset, perinteisiin tekniikoihin verrattuna
- Flotaation ja flotaatiosuodatuksen investointikustannukset ovat alhaisimmat. Tosin flotaatoratkaisuissa tarvittava allastilavuus on suurin, eikä rakennusteknisten töiden osuutta ole arvioitu.
- Kalvosuodatuksen lisäksi ainakin Dynasand ja flotaatiosuodatus vaativat nosto-pumppauksen käsiteltävälle vedelle.

Käyttökustannukset

- Kalvosuodatuksen käyttökustannukset ovat lähes kaksinkertaiset verrattuna perinteisiin jälkikäsitteilytekniikoihin.
- Jatkuvatoimisen yksivaiheisen hiekkasuodatuksen käyttökustannukset on arvioitu alhaisimmiksi.
- Sähköenergian kulutus on pienin kiekkosuodatuksessa. ACTIDisc-, flotaatio- ja kalvosuodatusratkaisujen sähköenergian kulutus on samaa tasoa ja selvästi muita tarkasteltuja käsittelymenetelmiä suurempi.
- Kemikaalien kulutus on vähäisintä kalvosuodatuksessa.

Muuta

- Kalvosuodatus poistaa bakteerit lisäksi valtaosan viruksista, jolloin jäteveden jatkuva desinfiointi ei välttämättä ole tarpeen.

4 KONSULTIN SUOSITUS JA JATKOTOIMENPITEET

4.1 Prosessiratkaisu

Konsultin näkemyksen mukaan erittäin tehokkaan puhdistustuloksen saavuttamiseen jatkuvasti suurimmalla mahdollisella toimintavarmuudella soveltuu parhaiten tertiääri-nen ultrasuodatus tai kaksivaiheinen perinteinen jälkikäsitteily, kuten ACTIDisc.

Ultrasuodatuksen keskeinen vahvuus on, että puhdistustulos ei riipu flokkauksen onnistumisesta eikä myöskään kuormitusvaihteluista poikkeuksellisen korkeita kiinto-ainekuormia (= aktiivilietteen massiivinen karkaaminen) lukuun ottamatta. Kaikilla muilla käsittelymenetelmillä erittäin tiukan fosforinpoistotuloksen saavuttaminen riippuu vahvasti flokkauksen onnistumisesta, mikä puolestaan vaatii tarkkaa kemikaalin annostelua ja kulloistenkin olosuhteiden mukaista optimointia.

Kaksivaiheisen perinteisen jälkikäsitteilyn etuna on, että ”ylikapasiteetti” varmistaa puhdistustulosta poikkeustilanteissa ja vähentää ratkaisun herkkyttä kuormitusvaihteluille ja flokkauksen parhaalle mahdolliselle onnistumiselle. Perinteinen ratkaisu on sekä investointi- että käyttökustannuksiltaan edullisempi kuin kalvosuodatus, joskin vaihtoehtojen kustannuserolla ei ole kovin suurta merkitystä koko puhdistamoinvestoinnin suuruusluokka huomioon ottaen.

4.2 Jatkotoimenpiteet

Uuden puhdistamon ja Toikansuon saneerauksen esisuunnitelmassa esitetään tehostetun tertiäärikäsittelyn mitoituskuormitus ja tehdään tilavaraus jälkikäsitteily-yksikölle siten, että mitään käsittelyvaihtoehtoa ei suljeta pois vielä tässä vaiheessa.

Jätevesien käsittelyn YVA-prosessissa jäteveden jälkikäsitteilyn eri vaihtoehdot huomioidaan ns. huonoimman tapauksen periaatteella, jolloin ympäristövaikutukset arvioidaan

suurimmat ympäristövaikutukset aiheuttavan käsittelyvaihtoehdon mukaan. Eri käsittelyvaihtoehdot eroavat toisistaan mm. tilantarpeen ja kemikaalien sekä energian kulutuksen osalta. Biologisesti käsitellyn veden jälkikäsittelyn ympäristövaikutukset ovat erittäin vähäiset, eivätkä ne muodosta merkittävää osaa koko puhdistamon ympäristövaikutuksista.

Jätevedenpuhdistamon seuraavien suunnitteluvaiheiden aikana on tarpeen suorittaa pilot-mittakaavan koeajoja valitulla jälkikäsittelytekniikalla, jotta voidaan varmistaa tekniikan soveltuvuus Lappeenrantaan ja jälkikäsittely-yksikön oikea mitoitus. Tertiäärikäsitteystä laadittua selvitystä ja mahdollisia koeajotuloksia voidaan hyödyntää myös tilanteessa, jossa uuden puhdistamon lupaehdot ovat BAT-tasoa (esim. <0,3 mg P/l). Tarkastellut jälkikäsittelymenetelmät soveltuvat myös BAT-tason puhdistamon jälkikäsittelymenetelmiksi. Jälkikäsittelymenetelmän valintakriteereitä painotetaan tällöin eri tavoin.

KIRJALLISUUSVIITTEET

Bott, C., Parker, D., Jimenez, J., Miller, M., Neethling, J.B. *WEF/WERF study of BNR plants achieving very low N & P limits: evaluation of technology performance and process reliability*. Proceedings of the 11th IWA specialized conference on design, operation and economics of large wastewater treatment plants, 4-8 Sept 2011, Budapest, Hungary.

USEPA (United States Environmental Protection Agency). *Advanced wastewater treatment to achieve low concentration of phosphorus*. EPA 910-R-07-002, Office of water and watersheds, 2007.

LIITE 1. Jälkikäsittelymenetelmien vertailutaulukko

Toimittaja	Perinteinen tekniikka				Kalvosuodatus tekniikka		Muuta huomioitavaa
	Aquaflow	Hyxö	Mecana	Rictor	Rictor	Siemens	
Tekniikka	ACTIDisc	DynaSand	AquaDisc-kiekkosuodatus	Pyörreflotaatio	Pyörreflotaatio + hiekkasuodatus	MEMCOR-ultrasuodatus	
Tekniikan kuvaus	Kemiallinen saostus ja mikrohiekkalla tehostettu lamelliselkeytys Activlo-menetelmällä, mikrosiivilöinti Discfilter-kiekkosuodatuksella	Kemiallinen saostus ja jatkuva toiminen hiekkasuodatus	Mikrosuodatus tekstiilipäällysteisillä kiekkosuodattimilla	Kemiallinen saostus ja pyörreflotaatio		MEMCOR-ultrasuodatus onttokuitukalvoilla (huokoskoko 0,04 µm)	
Käsittelyvaiheiden lkm*	2 vaihetta	1 vaihe	1 vaihe	1 vaihe	2 vaihetta	1 vaihe	
Käsittelylinjojen lkm	2 Activlo-linjaa, 1 suodatuslinja	3 linjaa (yhteensä 24 suodatinta)	8 linjaa (yhteensä 8 suodatinta)	2 linjaa	2 flotaatiolinjaa, 3 suodatuslinjaa	5 suodatusyksikköä, joista yksi pesussa (jokaisessa 2x120 kalvomoduulia)	
Altaiden lkm	7 kpl (koagulointi 1 kpl, mikrohiekan annostelu 2 kpl, flokkaus 2 kpl, lamelliselkeytys 2 kpl)	3 kpl, ei pikasekoitus- tai flokkausallasta. Kemikaali annostellaan putkisekoittimella ja flokkautuminen tapahtuu suodattimessa.	8 kpl, lisäksi tarvitaan pikasekoitus ja flokkaus	2 kpl	5 kpl (+ huuhteluvesiallas)	Vain suodatetun veden allas. Kemikaalin sekoitus voidaan toteuttaa putkessa. Ei erillistä flokkausta.	
Altaiden tilavuus	460 m ³ (38 m ³ , 2x29 m ³ , 2x91 m ³ , 2x91 m ³)	900 m ³ (3x300 m ³)	406 m ³ (8x51 m ³), pikasekoitus ja flokkaus esim. 50 m ³ +140 m ³ . Yht. 596 m ³ (lisäksi tasausallas pesuvesille)	740 m ³ (2x370 m ³)	1430 m ³ + huuhteluvesiallas 280 m ³	Suodatetun veden allas 229 m ³	Arvioitu flokkaustilavuus Mecanan tarjouksesta
Altaiden pinta-ala	103 m ² (8,4 m ² , 2x6,5 m ² , 2x20,3 m ² , 2x20,3 m ²)	150 m ² (3x50 m ²)	92 m ² (8x11,5 m ²), pikasekoitus ja flokkaus esim. 15 m ² + 40 m ² . Yht. 147 m ²	210 m ² (2x105 m ²)	390 m ² + huuhteluvesiallas		
Tarvittava hydraulinen korkeus	Noin 700 mm	> 1300 mm	675 mm (yleensä 300-500 mm, josta suodatuksen painehäviö 300 mm)	350 mm	< 2600 mm?	Syöttöpaine 220 kPa	
Nostopumppaus	Johdetaan painovoimaisesti	Todennäköisesti kyllä	Johdetaan mieluiten painovoimaisesti	Johdetaan painovoimaisesti	Todennäköisesti kyllä	Kyllä, syöttöpumput sisältävät tarjoukseen	Riippuu pohjaolosuhteista ja edeltävän prosessin hydraulisesta profiilista

	Perinteinen tekniikka			Kalvosuodatus tekniikka			
Toimittaja	Aquaflow	Hyxo	Mecana	Rictor	Rictor	Siemens	
Tilan tarve	124 m ² (altaat 103 m ² , Discfilter 21 m ³)	Kokonaispinta-ala 303 m ²	Kokonaispinta-ala 233 m ² , ei sis. mahdollista pesuvesien tasusallasta	210 m ²	390 m ²	459 m ²	Muuta huomioitavaa Ilmoitetut tilantarpeet eivät ole keskenään täysin vertailukelpoisia. Ultrasuodatuksen tilantarve yleensä
Tilan korkeus	3 m	3 m	3 m. Suodattimia ei tarvitse nostaa kokonaan ylös asennuksen jälkeen.	3 m	3 m	5,3 m (neutralointisäiliön kohdalla)	
Oheistilojen tarve	Kemikaalointi (saostus ja polymeeri)	Kemikaalilitat (saostus). Mahdollinen tasausallas pesuvesille.	Pikasekoitus ja flokkaus, kemikaalilitat (saostus). Pesuvesi- ja lietepumppaamo.	Kemikaalilitat (saostus ja polymeeri), dispersiovesilaitteet, kompressorit	Kemikaalilitat (saostus ja polymeeri), dispersiovesilaitteet, kompressorit. Tasausallas huuhteluvesille.	Kemikaalilitat (saostus- ja pesukemikaalit)	Mm. SIA-tilat tarvitaan kaikissa vaihtoehdossa. Taulukkoon koottu erityiset tilantarpeet.
Kemikaalit ja muut prosessiin lisättävät aineet	Saostuskemikaali, polymeeri, mikrohiekkä	Saostuskemikaali	Saostuskemikaali	Saostuskemikaali, polymeeri, dispersioilma	Saostuskemikaali, polymeeri, dispersioilma	Saostuskemikaali, pesukemikaalit natriumhypokloriitti ja rikkihappo, sooda pesukemikaalien neutralointiin	
Muuta	Siivilöinnin pesu käynnistetään veden pinnankorkeuden perusteella, siivilöinti jatkuu normaalisti pesun aikana	Suodatinta pestää jatkuvasti käytön aikana	Suodattimen pesu käynnistyy altaan pinnankorkeuden noustessa tietylle tasolle. Suodatusta jatketaan pesun aikana.		Hiekkasuodatin pestään suodatuksen painehäviön kasvaessa tietylle tasolle.	Vastavirtapesu permeaatilla ja ilmalla, kemikaalipesut 1 krt/2 d (maintenance wash) ja 1 krt/21 d (clean in place)	
Pesuvesimäärä	1-3 %	3,5 %, max 5,3 %	3,4 %, max 4,9 %	Dispersiovesimäärä noin 15 %	Hiekkasuodattimien pesuvesimäärä yleensä 5 %, dispersiovesimäärä > 10 %	4,6 %, neutraloitavia pesukemikaaleja noin 200 m ³ /d	

*Yhdysvaltalaisissa tertiärikäsittelytoteutuksissa (<0,1 mg P/l) yleensä kaksivaiheinen ratkaisu, jos käytetään ns. perinteistä tekniikkaa.

	Perinteinen tekniikka			Kalvosuodatus tekniikka			
Toimittaja	Aquaflow	Hyxo	Mecana	Rictor	Rictor	Siemens	Muuta huomioitavaa
Tekniikka	ACTIDisc	DynaSand	AquaDisc- kiekkosuodatus	Pyörreflotaatio	Pyörreflotaatio + hiekkasuodatus	MEMCOR- ultrasuodatus	
Budjettihinta	1 530 000	1 590 100	1 410 600	550 000	850 000	3 720 000	
Asennus	kyllä	kyllä	kyllä	kyllä	kyllä	kyllä	
Sähkökeskus	kyllä		kyllä			kyllä	
Automaatiokeskus	paikallisohjauskeskus		ei			kyllä	
Automaatiosovellus	paikallisohjauskeskus		ei			kyllä	
Kemikaalin annostelu	annostelupumput, polymeerin valmistusyksikkö ja annostelupumput	annostelupumput, kemikaalisäiliö	ei	kemikaalin syöttö ja säiliöt	kemikaalin syöttö ja säiliöt	ei saostuskemikaalin annostelua, pesukemikaalien annostelujärjestelmä säiliöineen sisältyy	
Käyttöönotto	kyllä	kyllä	kyllä			kyllä	
Muuta, sisältyy	Mittaukset	Mittaukset, myös esim. P- ja SS-analysaattorit	Mittaukset, kuljetus	Mittaukset, lietteen pumppaus	Mittaukset, lietteen pumppaus	Syöttöpumppaus, mittaukset, putkisto, pumput, säiliöt, hienovälppäys	sisältyy esim. putkisto, pumput ja säiliöt, jotka voisivat kuulua Suomessa paikalliselle
Muuta, ei sisälly	Rakennustekniset työt, prosessiputkisto	Prosessiputkisto, nostopumppaus	Rakennustekniset työt, putkisto, tuloluukut, saostuskemikaalin annostelu ja flokkaus	Rakennustekniset työt, prosessiputkisto	Rakennustekniset työt, prosessiputkisto, nostopumppaus	Rakennustekniset työt, Saostuskemikaalin annostelu. Mahdollisesti tarvittava kemikaalipesujen vedenpehennyslaitte isto.	

	Perinteinen tekniikka			Kalvosuodatustekniikka			
Toimittaja	Aquaflow	Hyxo	Mecana	Rictor	Rictor	Siemens	
Käyttökustannukset (sähköenergia, kemikaalit), €/a	91 104	46 787	30 996	78 402	82 782	160 841	Muuta huomioitavaa Saostuskemikaalin annostukseksi oletettu 20 g/m ³ muissa paitsi ultrasuodatuksessa.
Muut käyttö- ja kunnossapitokustannukset	Suodatinelementtien vaihto 1 krt/20 a, 60000-70000 €. Mikrohiekkä (5 g/m ³) sisältyy esitettyihin käyttökustannuksiin.	Mammut-pumppujen/hiekanpesurien vaihto 95 000 €/20 a, Suodatinhiekan hävikki 0,5 %/vuosi. Nostopumppausta ei huomioitu.	Suodattimet vaihdettava noin viiden vuoden välein, hinta 45760 €/a + työ 7360 €/a. Työ sisältää vuosittaisen pesun ja suodattimien tarkastuksen		Nostopumppausta ei huomioitu	Ilmoitetut käyttökustannukset sisältävät "kaiken", myös kalvojen vaihdon ja tulopumppauksen saostusta lukuun ottamatta	Ultrasuodatuksessa arviolta 10 g/m ³ . Toimittajan mukaan ultrasuodatus vaatii selvästi vähemmän kemikaaleja kuin perinteiset ratkaisut.
Laitteiden määrä	Vähäinen	Vähäinen	Kohtalainen	Kohtalainen	Kohtalainen	Suuri	
Huollon tarve (käyttöaika 20 vuotta)	Actiflossa ei vaihdettavia osia, suodatinelementit vaihdettava kerran	Huollon tarve vähäinen. Mammut-pumput ja hiekanpesurit vaihdettava 1 krt/20 a	Suodattimien manuaalinen pesu vuosittain, suodattimet vaihdettava 5-10 vuoden välein	Päivittäinen kertakäynti	Päivittäinen kertakäynti + suodatinhuuhtelut	Kalvojen vaihtoväli 5-10 vuotta.	

Toimittaja	Aquaflow	Hyxo	Mecana	Rictor	Rictor	Siemens	Muuta huomioitavaa
Tekniikka	ACTIDisc	DynaSand	AquaDisc- kiekkosuodatus	Pyörreflotaatio	Pyörreflotaatio + hiekkasuodatus	MEMCOR- ultrasuodatus	
Tulvatilanne (biologisen käsittelyn osittainen ohitus)	Voidaan ohjata osa mekaanisesti käsitelystä ohitusvedestä tai biologisesti käsitelystä vedestä suoraan siivilöintiin		Ohitus tilanteessa puhdistustulos todennäköisesti heikkenee, koska jätevedessä enemmän pientä kiintoainetta				Ohitusvesi vaatii todennäköisesti oman käsittelyprosessin riittävän puhdistustehon turvaamiseksi.
Korkea kiintoainekuorma	Korkeat pitoisuudet voidaan ohjata käsittely-yksikköön, mutta puhdistustulos heikkenee väliaikaisesti	Voidaan käsitellä 100 mg SS/l lyhytaikaisesti, suuremmat kuormitukset ohitettava	Laskeutuva kiintoaines poistetaan lietepumpuilla, laskeutumaton suodattetaan. Korkea kiintoainepitoisuus tihentää pesuväliä.	Voidaan käsitellä	Voidaan käsitellä	"Tehokas vesii-mahuuhtelu mahdollistaa suurien kiintoainepitoisuuksien käsittelyn"	
Puhdistustulos	Pilot-kokeet tarvitaan.	Toimittajan mukaan saavutettu hyviä fosforinpoistotuloksia. Kaksivaiheinen ratkaisu yhdysvaltalaisen laitosten kokemuksen perusteella tarpeen.	Vaatii pilot-koeajon. <0,1 mg P/l:n tuloksia pilot-kokeista. Mikrosuodatuksessa voidaan erottaa partikkelit, joiden koko > 2 µm.	Toimittajan mukaan yksivaiheisella flotaatiolla saavutetaan taso 0,1 mg P/l, kun kemikalointi on riittävä.		SS < 1 mg/l.	Tertiäärikäsittely vaatii kaikissa vaihtoehdoissa pilot-testauksen
Referenssit	Paljon tertiäärikäsittelyreferenssejä, tietoja matalan fosforipitoisuuden saavuttamisesta ei toimitettu	Paljon tertiäärikäsittelyreferenssejä myös Suomesta, <0,1 mg P/l saavutettu esim. Växjössä (1500 m ³ /h) ja Warenissa (600 m ³ /h) Saksassa	Useita tertiäärikäsittelyreferenssejä Pohjois-Amerikasta, joissa lähtevä Ptot <0,2 mg P/l. Alle 0,1 mg P/l:n tuloksia tavoiteltu vain pilot-kokeissa.	Useita tertiäärikäsittelyreferenssejä myös Suomessa, tietoja matalan fosforipitoisuuden saavuttamisesta ei toimitettu	Useita tertiäärikäsittelyreferenssejä myös Suomessa, tietoja matalan fosforipitoisuuden saavuttamisesta ei toimitettu	Useita tertiäärikäsittelyreferenssejä erityisesti Australiassa, alle 0,1 mg P/l:n tuloksia pilot-kokeista.	
Käyttö ja toimintavarmuus	Kaksivaiheinen käsittely tasaa kuormitusvaihteluiden aiheuttamia muutoksia saavutettavassa puhdistustuloksessa.	Yksinkertainen käyttää. Saavutettava puhdistustulos vaihtelee kuormituksen mukaan.	Prosessin käytettävyyteen ja saavutettavaan puhdistustulokseen vaikuttaa mm. saostuksessa syntyneen flokin ominaisuudet.	Kestää hyvin vaihtelevaa virtaamaa ja lika-ainekuormitusta. Muodostuneen flokin ominaisuudet vaikuttavat puhdistustulokseen.	Kaksivaiheinen käsittely tasaa kuormitusvaihteluiden aiheuttamia muutoksia puhdistustuloksessa.	Vakaa puhdistustulos myös voimakkaasti vaihtelevalla kuormituksella. Flokin ominaisuudet eivät kriittisiä saavutettavan puhdistustuloksen kannalta kuten perinteisillä tekniikoilla.	Yleisesti perinteisiä tekniikoita käytettäessä puhdistustulos vaihtelee enemmän kuormitusvaihteluiden mukana kuin kalvosuodatus tekniikkaa käytettäessä. Saostuksen ja flokkauksen onnistuminen on erittäin tärkeää matalan