

Kemimekaanisen puhdistamon toimintaan vaikuttavien tekijöiden hallinta

Pro gradu-tutkielma
Maarit Janhunen
Jyväskylän yliopisto
Kemian laitos
Soveltavan kemian osasto
20.8.2007

Tiivistelmä

Tässä tutkimuksessa tarkasteltiin jätevesien mekaanisen puhdistuksen teknisiä ratkaisuja, erilaisia selkeytyskemikaaleja ja niiden annostuksia, jätevesien virtaamia sekä kuitusavea. Tutkimuksen tarkoituksena oli kemimekaanisen puhdistuslaitoksen häiriötekijöiden kartoittaminen, puhdistamon jätevesien puhdistuksen tehostaminen ja taloudellisten säästöjen mahdollistaminen.

Häiriötekijöiden hallinnan kartoittamista varten tehtiin laboratoriossa ns. flokkikokeita oikean selkeytyskemikaaliannoksen sekä oikean tyyppisen polymeerin löytämiseksi jätevesille ja lietteelle. Laboratoriokokeet osoittivat kuitupitoisen jäteveden vaativan koaguloitukseen alunaa $75-125 \text{ g/m}^3$ ja flokkautukseen polymeeriä $2-4 \text{ g/m}^3$. Paperitehtaan jätevedet sisältävät pastapitoisia jakeita, kun kaikkea ultrasuotimen konsentraattia ei voida hyödyntää. Tällöin alunan annos nousee pitoisuuteen $500-600 \text{ g/m}^3$ ja polymeerin pitoisuuteen $4-8 \text{ g/m}^3$. Lietteeseen flokkaukseen polymeeriä tarvittiin $0,5-1,0 \text{ kg/tDS}$ lietettä, kun molempien tehtaitten vedet johdettiin puhdistamolle. Kuukauden koeajon aikana, jolloin paperitehtaan vedet johdettiin biologiselle puhdistamolle, lietteeseen flokkaukseen vaadittava polymeerin annos nousi määrään $2-4 \text{ kg/tDS}$ lietettä.

Lisäksi laboratoriokokeilla selvitettiin polymeerin toimivuutta jätevesien ja lietteen flokkaukseen. Nonioninen polymeeri flokkasi parhaiten kuitupitoista jätevettä muodostaen riittävän suuren flokin, joka laskeutui nopeasti ja kirkasteen sameus oli alhainen. Nonioninen polymeeri ei kuitenkaan toiminut lietteen kanssa yhtä tehokkaasti, sillä suodoksen sameus jäi korkeaksi. Vastaavasti lievästi anioninen polymeeri toimi tehokkaasti sekä jätevedelle että lietteelle. Puhdistamolla on käytössä tällä hetkellä lievästi anioninen polymeeri.

Esipuhe

Pro gradu -tutkielma toteutettiin 12.2.-16.5.2007 välisenä aikana M-real Oyj Äänekosken kartonkitehtaalla yrityksen itsensä rahoittamana tutkimuksena.

Haluan kiittää FL Nina Haposta ja DI Ulla-Maija Kovasta työn ohjaamisesta ja mahdollisuudesta toteuttaa tämä tutkimus. Käytännön ohjauksesta haluan kiittää Kankaan paperitehtaan EHS-tekniikka Osmo Heinälää ja Äänekosken kartonkitehtaan ylimestaria Vesa Kujanpäättä sekä koko kartonkitehtaan laboratorion henkilökuntaa ja puhdistamon työntekijöitä. Lisäksi haluan kiittää tutkimuksen teknisten ratkaisujen mahdollistamisesta suunnitteluinsinööriä Mauno Räsästä, diplomi-insinööriä Mikko Hietasta ja tuotantopäällikköä Pentti Hyytistä. Haluan kiittää työhöni osallistuneita yrityksiä, Ciba ja Kemira, sekä heiltä osallistuneita henkilöitä.

Lämmin kiitos kuuluu myös vanhemmilleni ja sisaruksilleni perheineen sekä ystävälleni henkisestä tuesta ja mukana elämisestä.

Lopuksi haluan kiittää professori Raimo Alénia työn tarkastamisesta.

Äänekoski, elokuu 2007

Maarit Janhunen

Sisällysluettelo

TIIVISTELMÄ.....	I
ESIPUHE	II
SISÄLLYSLUETTELO.....	III
KÄYTETYT LYHENTEET JA YLEISET TERMIT.....	IV
1 JOHDANTO	1
2 YMPÄRISTÖNSUOJELU METSÄTEOLLISUUDESSA	2
3 JÄTEVESIEN MEKAANISEN PUHDISTUKSEN TEKNISET RATKAISUT	3
3.1 PYSTYSELKEYTIN.....	3
3.2 LAMELLISELKEYTIN	4
3.3 VÄLPÄT JA VÄLPPÄYS	6
4 KEMIKAALIT	7
4.1 VAIHTOEHTOISET SELKEYTYSKEMIKAALIT	7
4.2 ALUNA	10
4.3 POLYMEERI.....	19
5 VIRTAAMA.....	22
6 KUITUSAVI	23
6.1 KÄSITTELYMENETELMÄT.....	24
6.2 HYÖDYNTÄMINEN JA LOPPUSIJOITUS	28
6.3 OMINAISUUDET	31
7 M-REAL ÄÄNEKOSKI INTEGRAATTIALUE	35
7.1 KARTONKITEHDAS.....	36
7.2 PAPERITEHDAS.....	40
7.3 PÄÄLLYSTYSPROSESSISTA AIHEUTUVAT KOMPONENTIT JÄTEVESIIN.....	43
8 KEMIMEKAANINEN PUHDISTAMO	47
8.1 TOIMINTAPERIAATE	47
8.2 PASTAPITOISET JÄTEVEDET	54
8.3 KUITUPITOISET JÄTEVEDET	55
8.4 ANALYSOINTI.....	56
9 HÄIRIÖTEKIJÖIDEN HALLINTA.....	58
10 JOHTOPÄÄTÖKSET JA JATKOTUTKIMUKSIEN TARVE	63
11 VIITTEET.....	66
12 LIITTEET	69

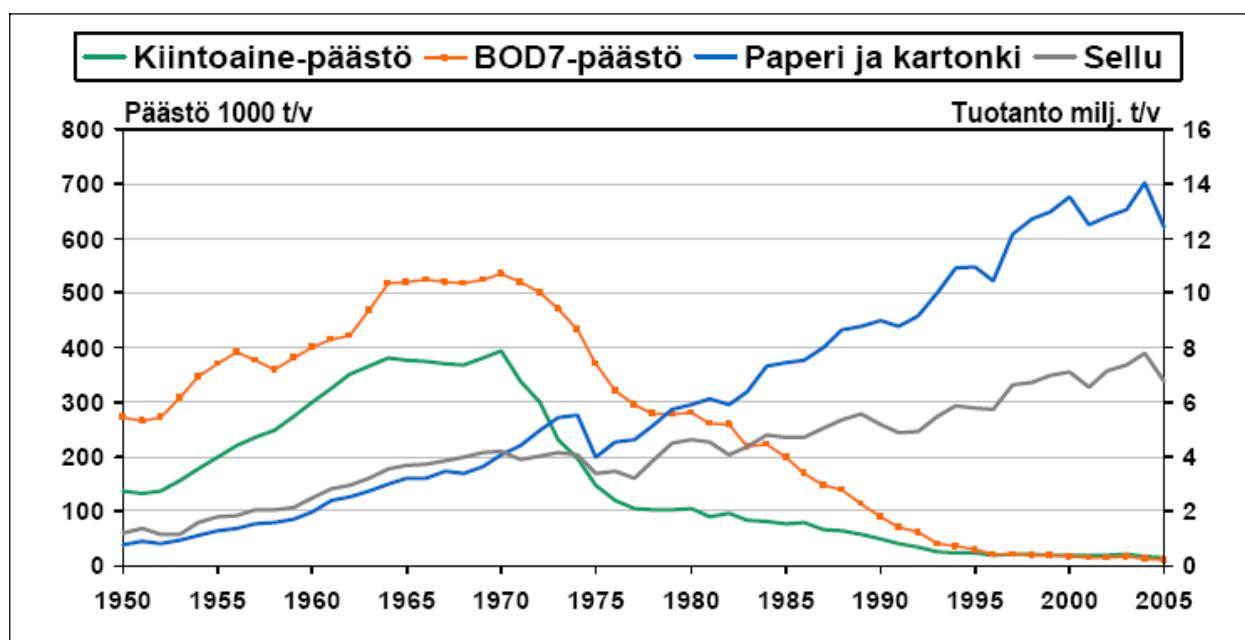
Käytetyt lyhenteet ja yleiset termit

Å	Ångström.
BCTMP	Valkaistu kemimekaaninen massa (Bleached Chemithermomechanical Pulp), jonka kuidutukseen on käytetty apuna kemikaaleja ja höyryä.
BCP	Valkaistu kemiallinen massa (Bleached Chemical Pulp).
BOD ₇	Biologinen hapen kulutus (Biological Oxygen Demand), ilmoittaa sen happimäärän, jonka jäteveden sisältämät nopeasti hajoavat orgaaniset yhdisteet kuluttavat 7 vuorokauden aikana hajotessaan vesistöissä.
CMC	Karboksimetyyliselluloosa (Carboxymethylcellulose).
COD _{Cr}	Kemiallinen hapen kulutus (Chemical Oxygen Demand), menetelmällä mitataan jäteveden kemiallista hapenkulutusta ja se kuvaa jätevedessä olevan kaiken orgaanisen aineksen määrää; sekä luonnossa hajoavan että hajoamattoman.
CTMP	Kemimekaaninen massa (Chemithermomechanical Pulp).
D.S.	Substituoitumisaste (Degree of Substitution).
DS	Kuiva-aine määrä (Dry Solid).
EMAS	Ympäristön hallinta ja auditointi järjestelmä (Eco Management and Auditing Scheme), joka perustuu EU:n asetukseen.
EU	Euroopan Unioni.
FBB	Taivekartonki (Folding Boxboard).
Flokkaus	Jäteveden ja lietteen sisältämät hiukkaset muodostavat flokkauksessa aggregaatteja kemikaalien vaikutuksesta.
GCC	Jauhettu kalsiumkarbonaatti (Ground Calcium Carbonate).
ISO	Kansainvälinen organisaatio standardisoinnille (International Organization for Standardization).
IPPC-direktiivi	Saasteiden esto ja kontrollointi (Integrated Pollution Prevention and Control), EU:n yhtenäislupadirektiivi.
KA	Keskiarvo.

Kiintoaine	Jäteveden sisältämiä kuitu sekä täyte- ja päällystysaineita, jotka sitovat paljon ravinteita kuten fosfori.
Kuitusavi	Paperin raaka-aineita (kuituja ja pigmenttejä) sisältävä kostea puriste. Kuitusavea käytetään maanrakentamisessa antamaan vesitiiviin ja murtositkeän rakennekerroksen.
Liete	Nesteen ja hyvin pienten ainehiukkasten muodostama seos. Liete näkyy nesteen sameutena, koska hiukkaset vajoavat pohjaan tai nousevat pintaan hyvin hitaasti.
Oy	Osakeyhtiö.
PAC	Polyalumiinikloridi (Polyaluminium Chloride).
PAH	Polyaromaattinen hiilivety (Polycyclic Aromatic Hydrocarbon).
Pasta	Koostuu pigmenteistä ja sideaineista. Sitä käytetään paperin ja kartongin pinnassa parantamaan painatusominaisuuksia.
PCB	Polyklorinoitu bifenyylä (Polychlorinated Biphenyl) kuuluu orgaanisiin yhdisteisiin, joissa on 1-10 klooriatomia kiinnittyneenä bifenyyläin. Niiden yleiskaava on $C_{12}H_{10-x}Cl_x$.
PCC	Saostettu kalsiumkarbonaatti (Precipitated Calcium Carbonate).
pHp alue	pH alue, jossa alunan saostuminen alkaa (The pH of Precipitated Formation).
PI-kaavio	Virtaus- ja instrumenttikaavio (PI-diagram, Process and Instrumentation diagram).
Pigmentti	Jauhemaista ainetta esim. kaoliinia eli savea ja kalsiumkarbonaattia eli kalkkia, joita käytetään mm. paperin päällystämiseen.
PP-rejekti	Pyörrepuhdistuksen rejekti.
SBS	Valkaistu sellukartonki (Solid Bleached Sulphate).
SFS	Suomen Standardisoimisliitto ry.
TMP	Kuumahierre (Thermomechanical Pulp).
VOC	Haihtuvat orgaaniset yhdisteet (Volatile Organic Compound).
vrk	Vuorokausi.

1 Johdanto

Metsäteollisuudessa on kiinnitetty yhä enemmän huomiota vesistön ja ympäristön suojeluun, osittain ihmisten toimesta, osittain päästödirektiivien saattamana /1/. Pohjaveteen ja vesistöihin kulkeutuu haitallisia aineita liukoisessa muodossa niin suota- ja valumavesistä kuin metsäteollisuuden jätevesistäkin. Kuvasta 1, jossa on esitetty metsäteollisuuden tuotannon kasvu ja päästöjen väheneminen vesistöön Suomessa vuosina 1950-2006, voidaan havaita päästöjen vähentyneen samalla kun tuotanto on lisääntynyt voimakkaasti.



Kuva 1. Sellu- ja paperitehtaiden tuotanto ja jätevesikuormitus Suomessa vuosina 1950-2006 /2/.

Vesistöjen kuormitusta ja siten haitallisten aineiden pääsyä vesistöön ja maaperään pyritään vähentämään kaatopaikkojen suojarakenteilla. Näissä rakenteissa käytetään tavallisesti tiivistyskerroksia, joille on asetettu tapauskohtaisesti määräytyviä toiminnallisia vaatimuksia. Paperi- ja kartonkiteollisuudessa sivutuotteena muodostuva puukuitua ja mineraalisia täyteaineita sisältävä liete, jota tässä tutkimuksessa kutsutaan kuitusaveksi, soveltuu usein tähän käyttötarkoitukseen. Useissa tapauksissa ekologiset

ja taloudelliset perusteet puoltavat sivutuotteiden käyttöä tiivistekerrosmateriaalina. Tänä päivänä käytössä olevat kemimekaaniset selkeyttimet puhdistavat jätevettä tehokkaasti. Puhdistettu kirkaste johdetaan vesistöön ja muodostuvalle kuitusavelle on löydetty monia käyttötarkoituksia esimerkiksi kaatopaikoilta, teiden rakennusaineena sekä energiantuotannon polttoaineena.

Prosesseissa raaka-aineiden hyötykäyttö on jalostettu mahdollisimman pitkälle ja siten pääasiallisesti virtaava jätevesijae on kuitupitoista jätevettä. Kyseinen jätevesijae sisältää kuitenkin hyvin vähän kuitua, mikä heikentää puhdistamon toimintaa. Puhdistamon toimivuuden kannalta tähän saattaisi ratkaisuna olla lisämassalaitos tai kokonaisuudessaan tekniikan uusiminen puhdistamoille. Tämän tutkimuksen tavoitteena oli parantaa kemimekaanisen puhdistamon toimintakykyä siten, että kuitusaven kuiva-ainepitoisuus nousee, jätevesien aiheuttamat kuormitukset vesistöön pienenevät samoin kuin puhdistamon aiheuttamat kokonaiskustannukset laskevat. Tutkimukseen liittyvistä koeajoista tehtiin erillinen raportti.

2 Ympäristönsuojelu metsäteollisuudessa

Ympäristönsuojeluun on viime vuosina kiinnitetty yhä enemmän huomiota /1,3/. Metsäteollisuudessa merkittävimmät muutokset ovat tapahtuneet 1980- ja 1990-luvuilla kuluttajien ympäristötietoisuuden lisääntymisen myötä. Ympäristönsuojeluun on investoitu Suomessa merkittävästi ja erilaisiin tekniikoihin on kiinnitetty huomiota, kuten esimerkiksi vesistökuormituksia biologisella puhdistustekniikalla vähentämällä, alkuainekloorin käytöstä luopuminen, veden kierrätyksen lisääminen ja energiantuotannon emissioiden pienentäminen savukaasupesureiden ja sähkösuotimien avulla.

Metsäteollisuus on toiminnassaan pyrkinyt toteuttamaan ns. kestävän kehityksen periaatteita. Lisäksi EMAS/ISO-sertifioinnin mukaiset ympäristöjohtamisen periaatteet on otettu käyttöön. Metsien hoidossa pyritään lisäksi monimuotoisuuden säilyttämiseen. Paperi- ja kartonkiteollisuus on pyrkinyt parantamaan tehokkuuttaan laiteinvestointien

avulla, jolloin on pystytty tuottamaan enemmän laadukkaita tuotteita ympäristön kuormittavuutta vähentäen.

3 Jätevesien mekaanisen puhdistuksen tekniset ratkaisut

Suomessa metsäteollisuuden jätevedet puhdistetaan pääsääntöisesti aerobiseen biologiseen aktiivilietemenetelmään perustuvalla menetelmällä /4/. Anaerobisessa aktiivilietelaitoksessa puhdistus perustuu aktiivilietteeseen ja sen toimintaan. Kemimekaanisella selkeyttimellä esiselkeytyksenä on pigmenttipitoisille vesille lamelliselkeytin, jossa kiintoaine flokataan selkeytyskemikaalien ja lamellien avulla altaan pohjalle.

Metsäteollisuuden jätevesien puhdistusmenetelmät ovat kehittyneet yhä tehokkaammiksi. Tuotteiden valmistuksessa käytettävän veden määrä on vähentynyt huomattavasti viimeisten vuosikymmenten aikana. Tehtaitten vesijärjestelmien tulisi olla mahdollisimman pitkälle suljettuja, jotta jätevesijakeiden synty minimoitaisiin. Veden uudelleenkäytön mahdollisuuksia voidaan lisätä vain rajoitetusta, sillä nostamalla veden kierrätysastetta saavutetaan piste, jolloin kielteiset sivuvaikutukset kasvavat hyötyjä suuremmiksi. Ympäristönäkökohdat tulisi kuitenkin huomioida kokonaisvaltaisesti, jolloin syntyy mahdollisimman vähän päästöjä ilmaan ja vesistöön, mutta energian kulutus ei kasva merkittävästi. Seuraavassa tarkastellaan jäteveden puhdistuksen erilaisia teknisiä ratkaisuja.

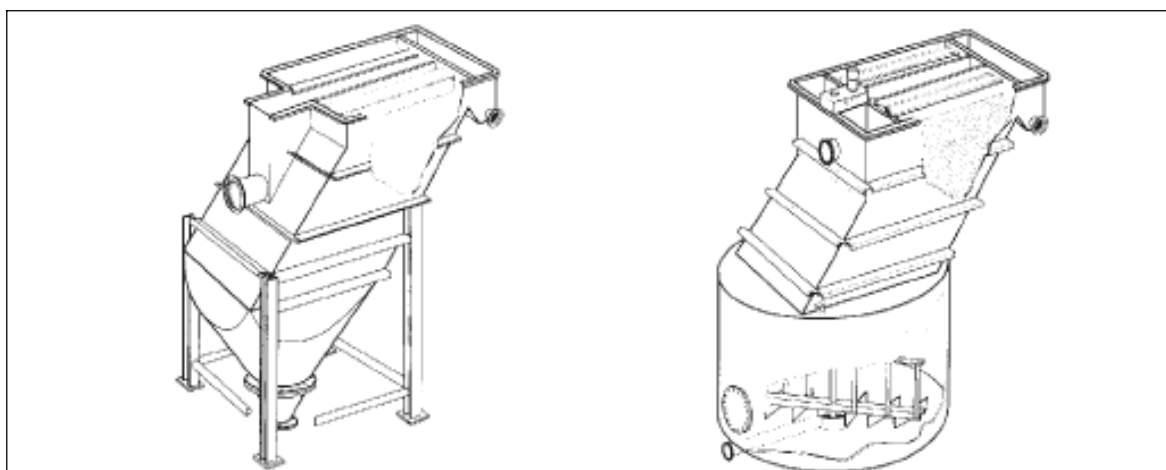
3.1 Pystyselkeytin

Pystyselkeyttimiä käytetään kiintoaineen poistoon. Käytettäessä esimerkiksi alumiinisulfaattia selkeytyskemikaalina voidaan jätevedestä saostaa fosforia ja muita komponentteja, jotka laskeutuvat pystyselkeyttimen pohjalle. Pystyselkeyttimeltä saatu kirkaste johdetaan jälkiselkeytysaltaaseen.

3.2 Lamelliselkeytin

Lamelliselkeyttimen toimintaperiaatteena on pastan rakenteen rikkominen siten, että kiintoaineet erotetaan käsiteltävästä jätevedestä ohjaamalla ne lamellilevyjen väliin /5-7/. Lamellilevyt muodostavat levypaketin, jossa on useita samansuuntaisia kiintoaineen nousua vastustavia levyjä (vastavirtalamellit). Lamelliselkeyttimen avulla saadaan 5-10-kertainen selkeytyspinta-ala ja lisäksi lamelliselkeytin on kooltaan vain noin 1/10 verrattuna perinteiseen selkeyttimeen.

Lamelliselkeyttimiä on saatavana useita eri malleja. Tällä hetkellä käytetyin on Johnson Lamella -lamelliselkeytin (tässä tutkimuksessa käytetty) /5/. Johnsonin selkeyttimen toiminta perustuu kirkastetun vesijakeen käyttöön väliaineena, jonka tehtävänä on tasoittaa virtausta levyjen välissä. Erityyppiset selkeyttimet on tarkoitettu erilaisia käyttötarkoituksia varten (kuva 2). Selkeytin voi olla pohjasta suppilokartion muotoinen, joka voidaan varustaa kuitusaven purkukaapimella (malli LS) tai ympyräkartion muotoinen (malli LT), kun selkeytetään suuria kuitusavipitoisuuksia omaavia jätevesiä.

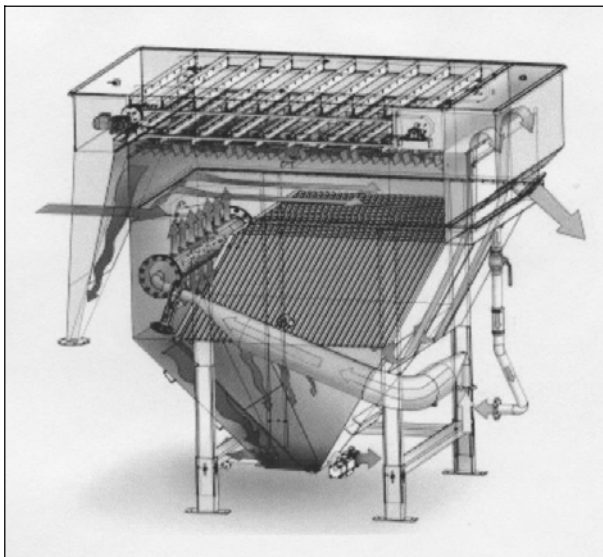


Kuva 2. Johnsonin lamelliselkeyttimien LS-malli vasemmalla ja LT-malli oikealla. Kuitusaven purkukaapimella varustettu LS-malli oli tässä tutkimuksessa käytössä /5/.

Lisäksi saatavana on erikoismallisia selkeyttimiä. Erikoisselkeyttimen valintaan saattaa vaikuttaa käsiteltävän jäteveden laatu, kuten esimerkiksi päällysteaineita sisältävät

paperiteollisuuden jätevedet. Lisäksi erikoisselkeyttimiä voidaan hyödyntää käsiteltäessä sakeutettua ja uudelleen kierrätettävää kuitusavea anaerobisessa biokaasuprosessissa (sokeri- ja paperiteollisuus) tai haluttaessa kierrättää vettä prosessissa (paperiteollisuus).

WatManin lamelliselkeyttimen rakenne varmistaa laminaariset virtausolosuhteet, josta seuraa tasainen kuormitus ja hyvä puhdistustulos /6/. Selkeyttimessä lamellit ovat sijoitettu 10 senttimetrin välein. Kolmas kaupallinen selkeytin, on Huberin valmistama paineflotaatiolaite (kuva 3) /7/.



Kuva 3. Huberin paineflotaatiolaite HDF /7/.

Paineflotaatilaiteessa jätevesi syötetään flotaatioaltaaseen syöttöputken kautta ja altaaseen lisätään ilmalla kyllästettyä painevettä. Paineen vähentyessä muodostuvat mikrokuplat sekoittuvat tehokkaasti leijuvan kiintoaineen kanssa. Kaasukuplat kiinnittyvät kiintoaineeseen muodostaen kiintoaine/kaasuflokkeja, jotka ovat kevyempiä kuin vesi ja nousevat näin ollen pintaan, jolloin ne voidaan kerätä pois vaahdonkerääjien avulla. Kelluvat flokkikerrokset voidaan poistaa myös erikoissuunnitelluilla kaavintatangoilla. Näin kerätyt fraktiot voidaan joko siirtää keräilysäiliöön tai siirtää jatkokäsittelyyn, kuten esimerkiksi kuivaukseen.

Lamelliselkeyttimissä flokit saadaan muodostettua alunan avulla ja polymeerillä ne laskeutetaan altaan pohjalle. Lamelliselkeytin lisää tehokasta erotuspintaa siten, että maksimi käytössä oleva hydraulinen kuorma on suurempi kuin samankokoisilla perinteisillä laitteilla. Loput hajallaan olevat kiintoaineet yhdistyvät flokeiksi lamellien alapuolella ja laskeutuvat kiintoaineet yhdistyvät flokeiksi lamellien yläpuolelle. Osa nousee ylös kelluvaan kerrokseen ja osa valuu allassäiliön pohjalle. Laskeutunut kuitusavi voidaan poistaa pumpun tai venttiilin ohjaamana.

3.3 Välvät ja välppäys

Välvän tehtävänä on kiintoaineen erottaminen ja se on rakennettu useasta yhdensuuntaisesta säleiköstä /7,8/. Välppien valmistajia löytyy useita ja niitä on teknisiltä ratkaisuilta erilaisia, kuten konevälppä (kemimekaanisella puhdistamalla käytössä), ruuvivälppä, porrsvälppä ja pystyvälppä.

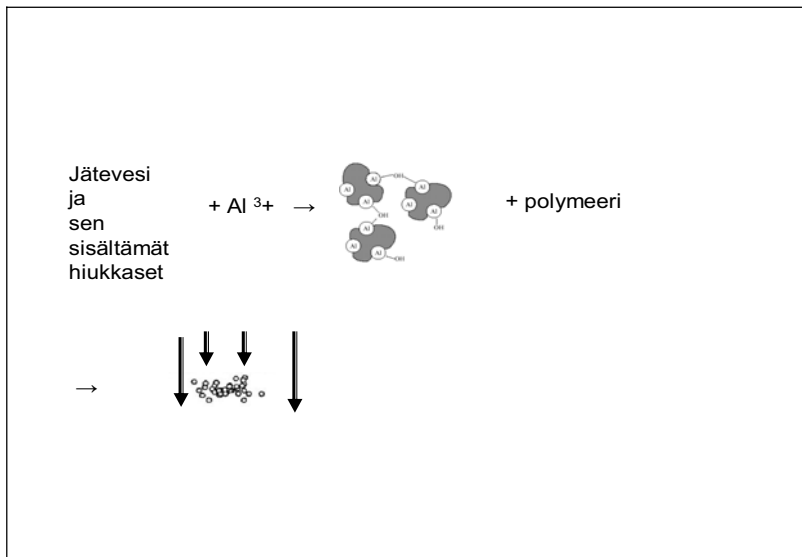
Pomitekin ruuvivälppä kerää tehokkaasti kiintoainesta jätevedestä ja se myös seuloo, tiivistää ja kuljettaa kiintoaineen /8/. Ruuvivälppä koostuu pyörivästä ruuvista ja ruostumattomasta teräksestä valmistetusta rei'itetystä rungosta. Suodatettu jätevesi virtaa läpi reiällisen kaukalon ja ruuvi kuljettaa ja tiivistää välpeen ylös kuivausalueelle, missä loppu vesi välpeestä puristetaan pois. Vastaavasti porrsvälvät ovat rakenteeltaan matalia, joissa välpeaines nostetaan porraskerrallaan säleiden yläpäähän, josta se puretaan välpepuristimille tai kuljettimelle. Portaat ovat koukkumaisia muodoltaan, jolloin välpe ei helposti valu pois. Pystyvälppässä jätevesi virtaa säleikön läpi ja välppeet poistetaan ketjua pitkin.

Huber valmistaa lamelliselkeyttimien lisäksi hyvin paljon erilaisia välppiä sekä erikoistarkoituksiin tarkoitettuja välppiä /7/. Huberin porrsvälvän toiminta perustuu kahden välvän vuorovaikutukseen, joista toinen on liikkuva. Näin välpe pystyy muodostamaan ”tiivin” maton portaiden päälle, mikä tehostaa edelleen välvän erotustehokkuutta. Muita Huberin valmistamia välppämalleja ovat esimerkiksi levynauhavälppä, hienovälppä ja seulavälppä.

4 Kemikaalit

4.1 Vaihtoehtoiset selkeytyskemikaalit

Jäteveden puhdistuksen tarkoituksena on poistaa suspendoituneita partikkeleja ja kolloidisia materiaaleja /9/. Kiintoaineen poisto voi tapahtua joko koagulaatiolla (varausten neutralisointi) tai flokkautumisella, joissa molemmassa muodostuu suuria aggregaatteja kiintoaineflokeista. Ilmiötä on kuvattu kuvassa 4.



Kuva 4. Aluna koaguloi jäteveden sisältämiä hiukkasia (muodostaa aggregaatit) ja polymeeri flokkaa, jolloin muodostuneet aggregaatit laskeutuvat mikäli sekoitusta ei käytetä.

Metsäteollisuuden jätevesien selkeytyskemikaaleina käytetään paljon alumiinisulfaattia eli alunaa sekä anionisia tai kationisia polymeerejä. Alunan sijasta voidaan käyttää selkeytyskemikaalina kolmenarvoisia rautasuoloja, polyalumiinikloridia (PAC), bentoniittia ja erilaisia orgaanisia koagulantteja.

PAC:n käyttö vesien käsittelyssä on voimakkaasti lisääntynyt ja yleisin veden puhdistuksessa käytetty PAC on $Al_{12}Cl_{12}(OH)_{24}$ /10-12/. Ne ovat synteettisiä vesiliukoisia polymeerejä, jotka reagoidessaan muodostavat alumiinipolyhydroksideja.

Näin muodostuneet suurikokoiset, mutta vedessä helposti liikkuvat flokit, absorboivat suspendoituneita partikkeleita vedestä. Flokkulantit ovat yleensä moniarvoisia kationeja, kuten esimerkiksi alumiini, rauta, kalsium tai magnesium. Monilla vedessä olevilla suspendoituneilla partikkeleilla on negatiivinen varaus, jonka kanssa positiivisesti varautunut flokkulanttikationi reagoi. Taulukossa 1 on vertailtu 9 %:sen ja 18 %:sen PAC:n koostumusta. Miedompaa PAC:a (9 %) käytetään lähinnä juomavesien käsittelyssä.

Taulukko 1. Kaupallisten polyalumiinikloridien koostumukset /10/

	Poyalumiini kloridi, 9 % Al₂O₃	Poyalumiini kloridi, 18 % Al₂O₃
Esiintyminen	Nestemäinen	Nestemäinen
Al₂O₃, [%]	17-19	8,8-9,2
Cl, [%]	21-22	9,8-11
Happamuus, [%]	36-42	62-68
Ominaispaino (20 °C), [g/ml]	1,36- 1,38	1,18-1,22
pH		0,4-1,2
Jähmettymispiste, [°C]	- 10	- 10

Kun PAC:a käytetään selkeytyskemikaalina, sitä tarvitsee annostella selkeytykseen määrällisesti vähemmän kuin alunaa, sen kanssa ei tarvitse käyttää neutralointiaineita, flokkautumisaika on lyhyempi ja selkeytetty vesi on parempi laatuista /11,12/. PAC:n valmistaminen on melko kallista, mutta se pystyy muodostamaan nopeammin ja tiheämmän flokin kuin alunaa. Kuitenkaan PAC-liuos ei ole läheskään yhtä hapan kuin alunaliuokset eikä täten laske yhtä voimakkaasti liuoksen pH-arvoa.

Bentoniitilla pystytään absorboimaan suuria määriä vettä ja suotuisissa olosuhteissa se pystyy laajenemaan tilavuudeltaan jopa kymmenkertaiseksi /13,14/. Sen toiminta perustuu bentoniittisavijauheen vedenimu- ja paisumiskykyyn. Bentoniitti koostuu ns. smektiittisestä savesta, joka on puhdas luonnontuote. Bentoniitin tyypillisiä käyttökohteita ovat kaatopaikan pohjaeristys tai pohjavesisuojaus. Sideaineena toimiva

bentoniittisavi tekee eristemateriaalista elastisen, halkeilemattoman ja routimattoman. Suomessa bentoniittia esiintyy vain vähäisissä määrin ja täällä käytetty bentoniitti on yleensä peräisin Yhdysvalloista tai Euroopasta. Bentoniittia on tutkittu jonkin verran ja sen on todettu olevan varsin puhdasta ja tiivistä. Maanpäälliset tapahtumat, kuten eroosio, sääilmiöt ja lämpötilanvaihtelut, eivät vaikutta sen koostumukseen.

Orgaaniset koagulantit (HCO-sarja) ovat flokkulantteja, jotka poistavat suspendoitunutta kiintoainesta varausta neutralisoimalla. /15/. Orgaanisilla koagulanteilla, joita ovat esimerkiksi rautakloridit, käsitellään korkean konsentraation omaavia jätevesiä, joita ei voida flokata epäorgaanisilla koagulanteilla. Orgaanisilla koagulanteilla voidaan neutralisoida varausta ja ionikonsentraatiota. Niillä saavutettavia etuja ovat pieni kuitusavimäärä, pH:n lisäsäätöä ei välttämättä tarvita, PAC:a tai alunaa tarvitsee harvoin käyttää lisäkemikaalina sekä korkealuokkainen tehokkuus jäteveden sisältäessä vähän epäorgaanisia aineita.

Useita erilaisia kemikaaleja voidaan käyttää sekä koagulointi- että flokkulointiprosesseissa ja jokaisen kemikaalin kohdalta löytyy etuja ja haittoja /16/. Epäorgaaniset koagulantit, kuten alumiinisulfaatti, ovat pääasiallisesti happosuoloja ja ne alentavat käsiteltävän veden pH:ta. Optimaalisen pH-arvon saavuttaminen on tärkeää, sillä pH vaikuttaa sekä flokkattavien partikkelien pintavaraukseen että saostumiseen koagulaation aikana. Kukin koagulantti toimii tietyllä pH-välillä parhaiten.

Polyelektrolyytit ovat vesiliukoisia orgaanisia polymeerejä, joita käytetään sekä koagulanteina että koagulantin apuaineena /16/. Polyelektrolyytit voidaan luokitella anionisiin, jotka ionisoidessaan muodostavat negatiivisen pinnan polymeeriin, kationisiin, jotka muodostavat positiivisen pinnan polymeeriin sekä nonionisiin, jotka ionisoivat vain vähän. Polymeeriset koagulantit eli polyelektrolyytit ovat pieniä molekyylikooltaan ja suuren kationisen varaustiheyden omaavia veden puhdistuksen koagulantteja. Flokkautumistehokkuus on suoraan riippuvainen molekyylipainosta; mitä korkeampi molekyylipaino, sitä pidempi ketju ja sitä tehokkaampi flokkautumiskyky. Flokkautumista voidaan parantaa käyttämällä suuren molekyylikoon kationisia, anionisia

tai nonionisia flokkulantteja. Kuitenkaan ei pystytä ennustamaan, millä polyelektrolyytillä saavutetaan paras mahdollinen tulos.

4.2 Aluna

Paperiteollisuudessa yleisimmin käytetty vedenkäsittelykemikaali aluna, eli alumiinisulfaatti, toimitetaan tehtaille joko kiinteänä tai konsentroituna liuksena [17,18]. Alunan tehtävänä on koaguloida jätevettä tehokkaan sekoituksen avulla. Lisäksi alunan avulla voidaan säätää pH:ta ja myös koaguloitun jäteveden kirkasteen sameus on riippuvainen happamuudesta, ts. riippuvainen alunan annostuksesta. Useimmissa paperin- ja kartonginvalmistus prosesseissa käytetään alumiinisulfaattia pH-alueella 4,5-5, jolloin suurin osa alumiinista esiintyy muodoissa Al^{3+} ja $\text{Al}(\text{OH})_2^{4+}$. Kyseisellä pH-alueella Al^{3+} , AlOH^{2+} ja $\text{Al}(\text{OH})_2^{4+}$ ovat liukoissa muodoissa. Kaupallinen aluna sisältää 14-23 % Al_2O_3 ja eniten käytetään alumiinisulfaattia, joka sisältää 17-18 % Al_2O_3 , jota kutsutaan ”paperin valmistuksen alunaksi” tai lyhyesti vain ”alunaksi.” Vedenkäsittelykemikaalina käytetty aluna sisältää hyvin vähän rautaa, hieman alle 0,01 % Fe_2O_3 .

Alunaa voidaan käyttää paperin- ja kartonginvalmistuksessa pH-arvossa $\leq 4,5$. Alunan yliannostelun ei odoteta aiheuttavan tuotteeseen suurta kolloidista varausta (vahvasti kationista), johtuen sulfaatti-ionin affiniteetistä alunaan. Aluna pystyy nopeasti kompleksoimaan ja neutralisoimaan karboksylaatteja neutraalissa ja alkalisessa massassa ennen kuin se on saavuttanut ionitasapainon liuksessa. Varovainen laimennus puhtaalla vedellä ja hyvällä sekoituksella vaaditaan haluttaessa välttää alunan saostumista pH:n ollessa $\geq 5,5$.

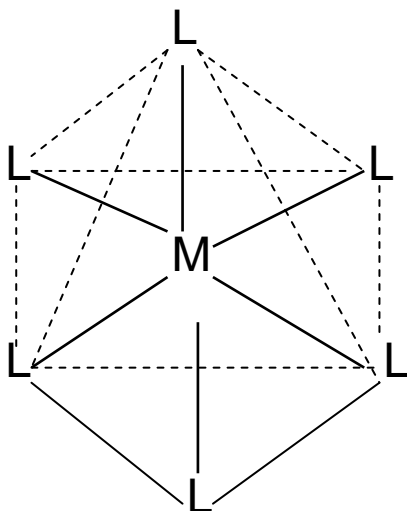
Teoreettisesti yhdellä moolilla alunaa voidaan kiteyttää 18 moolia vettä normaaliolosuhteissa (20 °C, 1 bar) ja puhtaan alunan vesiliukoisuus on 940 kg/m³ (25 °C). Veden erityisominaisuus on sen kyky muodostaa vetysidoksia, sillä jokaisessa vesimolekyylissä on kiinnittyneenä kaksi vetyatomia, joilla kummallakin on jakamaton elektronipari. Näin yksi vesimolekyyli pystyy muodostamaan yhteensä neljä vetysidosta.

Toisaalta vesimolekyyli pystyy myös hylkimään ei haluttujen sidosten muodostumisen. Veden sanotaankin olevan tärkein elektroniparin luovuttaja koordinaatiokemiassa.

Alumiinin koordinaatiokemia

Kovalenttisessa koordinaatiokemiassa komplekseja muodostuu kahden atomin jakaessa elektroniparin, toisen ollessa elektroniparin luovuttaja ja toisen vastaanottaja /18/. Kovalenttisten molekyylien ja koordinaatiokemian välillä ei ole olemassa selvää rajaa. Pääasiallinen piirre luokiteltaessa yhdisteitä on keskuskationi – yleensä metallikationi – jota ympäröivät ns. ligandit, jotka voivat olla joko varautuneita ioneja tai molekyyliä. Ligandeilla voi olla ionivaraus, joka on suuruudeltaan ja suunnaltaan vastakkainen metalli-ioniin nähden, jolloin tuloksena on neutraali koordinaatioyhdiste tai sisäinen kompleksi. Tietyt ligandit voivat kuitenkin olla neutraaleja molekyyliä, kuten vesi, jolloin metalli ligandin kanssa muodostaa kompleksionin. Monissa tapauksissa keskusatomeja voi olla kaksi tai useampia, jolloin kompleksia kutsutaan poly-ydinkompleksiksi; ligandit luovuttavat elektroniparin kullekin keskusatomille samalla muodostaen siltoja keskusatomiin. Esimerkiksi alumiini-ioni muuntuu helposti poly-ydinyhdisteeksi.

Alumiini-ionilla on vesiliuoksessa hyvin yleinen koordinaatioydin ja korkea varaustiheys, joka aiheutuu lyhyestä ionisäteestä. Ionisädettä ei ole tarkasti määritelty, mutta sen tiedetään olevan noin 0,50 Å. Alumiinikationilla on siten merkittävän korkea tiheys, josta johtuen se käyttäytyy vahvan Lewisin hapon tavoin elektroniparin vastaanottajana, muodostaen komplekseja jo neutraalisten tai anionisten elektronien luovuttajien kanssa. Voimakas ja stabiili 6-ulotteisesti koordinoitunut alumiinikompleksi väkevässä liuoksessa on riippuvainen ligandien kyvystä luovuttaa elektroneja. Kyseinen kompleksi pystyy siten hallitsemaan useampaa koordinaatioasemaa muodostaen vakaan rengasrakenteen. Mekanismissa muodostuu kuusikulmainen oktahedri (kuva 5) sisempään koordinaatio kehään, ulompi kehä pystyy vielä sitomaan 12 vesimolekyyliä.



Kuva 5. Kuusikulmainen oktahedri, jossa keskellä metallikationi (M) ja sen ympärillä ligandit (L) /18/.

Alumiinikationi muodostaa laimeassa vesiliuoksessa nopeasti kompleksin vesimolekyylin kanssa samoin kuin hydroksyyli-, sulfaatti-, fosfaatti-, oksalaatti- ja muiden orgaanisten anionien kanssa. Suuresta varaustiheydestä riippumatta, Al^{3+} -ioni pystyy koordinoitumaan karboksyyli- ja hydroksyyli-ryhmien kanssa, esiintyvät ne hienona tai karkeana fraktiona paperin ja kartongin valmistuksessa. Toisaalta Al^{3+} ei helposti muodosta kompleksia nitraatti-, perklooraatti- tai kloridi-ionin kanssa.

Vesihydrolyysi

Alunaa voidaan käyttää kartonki- ja paperiteollisuudessa monissa käyttökohteissa, kuten esim. jätevesien flokkulanttina, raakaveden puhdistuksessa, pH:n säädössä, saostajana, säätämään hartsin kokoa ja kuivauksessa /18/. Alunaa on käytetty enemmän lähtöaineena tuottaessa satiinivalkoista (synteettistä kalsiumsulfoalumiinaattia, jota käytetään paperin päällystysaineena) ja syntetisoitaessa korkean opasiteetin ja vaaleuden omaavaa natrium/magnesium-alumiini-silikaatti pigmenttiä.

Kiinteä aluna on täysin ionisoitunut /18/. Alumiinikationi pystyy siten sitomaan kuusi molekyyliä vettä yhtä kationia kohti ja loput hydraatin vesimolekyylit ovat satunnaisesti anionien ympärillä. Vesiliuoksessa aluna pääasiallisesti hajoaa SO_4^{2-} -anioniksi ja

kuudeksi Al^{3+} -koordinaatiokationiksi. Kyseiset kationit esiintyvät tässä muodossa vain pH:n ollessa alle arvon 4. Vahva positiivisesti varautunut kolmiarvoinen alumiini on polarisoitunut jokaisen vesimolekyylin kanssa ja pH:n kasvaessa protoni lopulta vapautuu muodostaen monoytimisen kahdenarvoisen pentahydraatti kompleksin. Tämä hydrolyysi, joka käsittää sisemmän kehän vesiligandien substituution hydroksidiryhmien kanssa, tuottaa seuraavat tasapainoreaktiot:



Alumiinihydroksidi



Aluminaattianioni

nettoreaktion ollessa



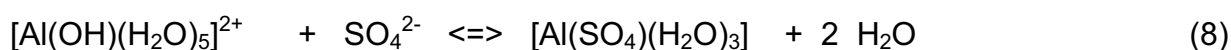
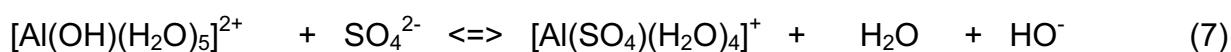
Todellisuudessa hydrolyysi ei tapahdu yhtä puhtaasti kuin yllä olevilla reaktioilla on esitetty /18/. Kyseisissä reaktioissa happamuuden kasvu (hydroniumionin konsentraation kasvu) vähentää alunaliuoksen hydrolyysiä. pH-tasapaino on riippuvainen liuoksen konsentraatiosta. Tasapainovakio ensimmäiselle hydrolyysireaktiolle on $\text{p}K_1 = 4,9 \dots 5,0$. Vastaavasti seuraaville hydrolyysireaktioille ei tasapainovakiota voida määrittellä yhtä tarkasti, mikä johtuu prosessin analyttisistä vaikeuksista.

Hydrolyysin tapahtuessa reaktiotuotteiden liukoisuus vähenee, kuten myös kompleksin positiivinen varaus lähenee nollaa pH:n samalla kasvaessa /18/. Monovalenssisen kompleksin liukoisuus on hyvin alhainen ja hydroksidi on lähes liukenematon. Liukoisuus vastaavasti lisää alunan muodostusta ja alumiinihydroksidi voi kvantitatiivisesti liueta uudelleen alkalisissa oloissa, $\text{pH} > 9$.

Anaatio

Metalli-ionikompleksien muodostuminen vesiliuoksessa muiden ligandien kuin hydroksidi-ionin kanssa tiedetään tapahtuvan vaiheittain vesimolekyylien substituutiolla /18/. Prosessia kutsutaan anaatioksi, mikäli korvautuminen tapahtuu anionilla. Anaatio voi tapahtua sekä ulko- että sisäkehällä alumiinin ollessa keskuskationa.

Sulfaatti-ionin anaatio voidaan esittää seuraavilla reaktioilla /18/:

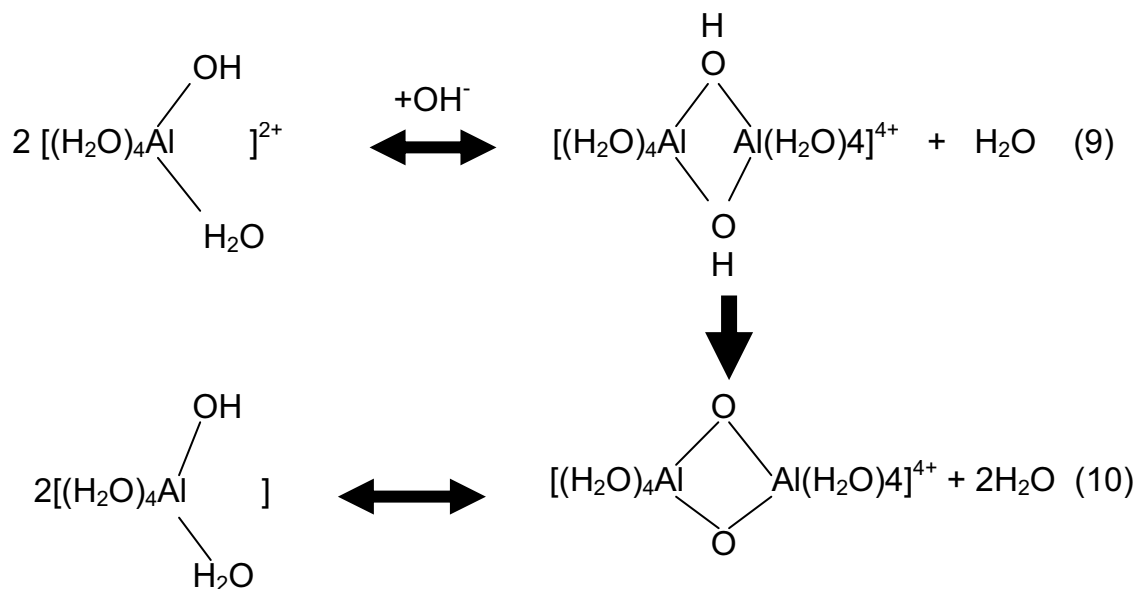


Reaktioyhtälöissä hydrolyysi on yksinkertaistettu ja reaktiossa numero 8 muodostuva tuote on liukenematon alumiinisulfaatti kompleksi.

Anaatio johtaa suhteellisten stabiilien kompleksien muodostumiseen, jotka eivät omaa alumiinin ja sulfaatti-ionin normaaleja ominaisuuksia. Lisäksi anaatio vähentää alunaliuoksen happamuutta ja kompleksin varausta täten vaikuttaen adsorptioon. Vesiliuoksen pH riippuu sekä alunan konsentraatiosta että hydrolyysin ja anaation tasapainosta.

Olaatio ja polymerisoituminen

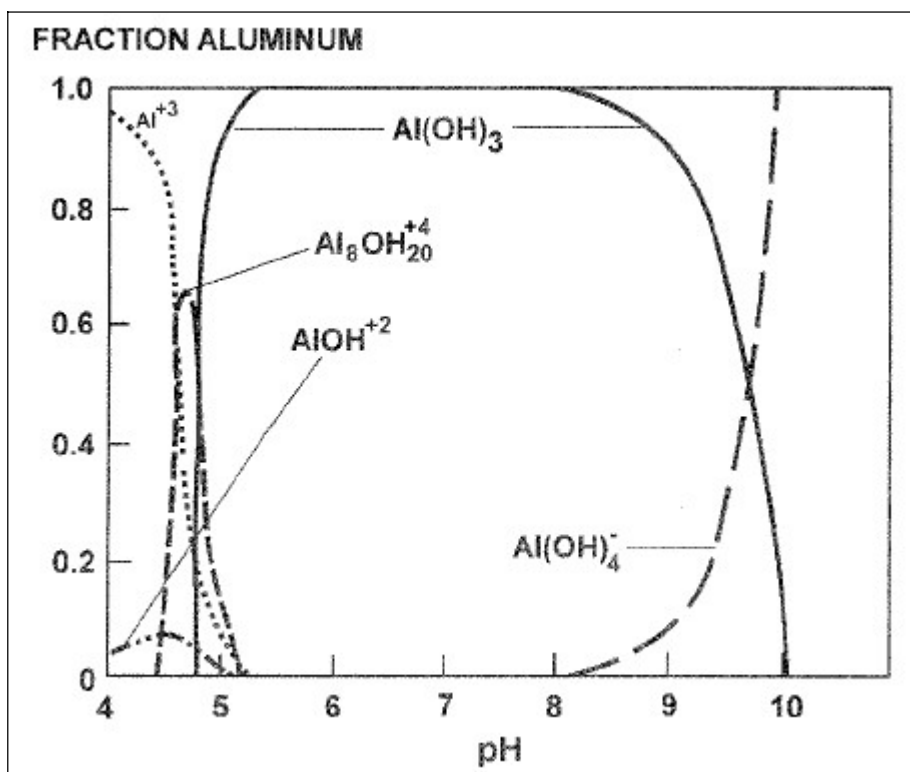
Hydroksidi-ionin happiatomi, jolla on kolme jakamatonta elektroniparia, voi jakaa vain yhden parin alumiinikationin kanssa /18/. Se voi myös muodostaa sidoksia kahden eri koordinoivan kationin kanssa muodostaen hydroksosiltoja (reaktioyhtälöt 9 ja 10). Sillan muodostuessa yleensä vety irtaana ja edelleen symmetrinen kaksoissiltaakso-yhdiste muodostuu. Sillan muodostusta kutsutaan olaatioksi ja muodostunutta tuotetta olaatiksi.



Olaatin erityisominaisuus on sen monoydinkompleksin kasvu kaksiytimiseksi ja siitä edelleen poly-ydinkompleksiksi. Biytimisen alumiiniolaatin vesiliukoisuus vähenee, sillä jokaisen alumiini-ionin varaus vähenee arvosta 3+ arvoon 1+. Alumiinia sisältävän yhdisteen hydrolyysin, olaation ja polymerisoitumisen tapahtuessa muodostuu kolloidinen alunageeli tai flokki. Flokin varaus ja koostumus riippuu liuoksen konsentraatiosta, ioni varauksesta, pH:sta, lämpötilasta, ajasta ja liuoksessa olevien anionien määrästä. Flokkien varaus laskee anionisten komponenttien lisääntyessä. Polyvalenttiset anionit kiinnittyvät voimakkaammin alumiinipolymeereihin kuin monovalentit anionit. Kolloidiset partikkelit saavat positiivisen kuitenkin alenevan kokonaispinta varauksen, kunnes isoelektrinen (neutraali) piste saavutetaan.

Alumiini ja happamuus

Alumiinin esiintymismuodot ja määrät ovat riippuvaisia pH-alueesta (kuva 6) /18/. pH-alueella 5-9 alumiinihydroksidia ($\text{Al}(\text{OH})_3$) esiintyy voimakkaasti, kun vastaavasti monoytiminen AlOH^{2+} esiintyy rajoitetummissa määrin, alle 10 % kokonaisalumiinista. Merkittävin osa alumiinista menee poly-ytimiselle Al_3 -osalle, mutta vain kapealla pH-alueella (pH ~ 4,3-5,3).



Kuva 6. Alumiinin jakautuminen pH:n mukaisesti 0,5 mM alumiinikloridiliuoksessa /18/.

Alunaliuksen koostumus vaihtelee paljon pH-alueella 4,3 pH:n pysytellessä melko vakiona /18/. Samassa pH-arvon läheisyydessä esiintyy oligomeerejä, kuten $\text{Al}_{13}\text{O}_{40}\text{H}_{48}^{7+}$ tai vastaavia komponentteja, jotka sisältävät sulfaattia. Vastaavasti pääasiallinen hydraattimuoto Al^{3+} esiintyy pH-alueella 3 ja sen alapuolella. Lisäksi pH:n vaihdella välillä 6 - 9,5 alumiini esiintyy alumiinihydroksidina ja sitä vastaavina sulfaattia sisältävinä komponentteina. Liukenematon aluminaatti on vallitseva pH:n noustessa yli arvon 9,5.

Kompleksisten alumiinipartikkeleiden jakaantuminen on riippuvainen sekä alumiinin konsentraatiosta että pH:sta /18/: alumiinin konsentraation lisääntyessä poly-ytimet muodostuvat runsaammin alhaisemmassa pH:ssa. Alumiinikompleksin vesipitoisen alumiinin kemialla ei voida kuvailla yksiselitteisesti, kuten ei kompleksoivien anionienkaan. Kuitenkin on pystytty arvioimaan, että alemmassa pH:ssa hydrolyysi on voimakkaampaa ja tasapaino on enemmän Al^{3+} - ja AlSO_4^+ -ionien välissä. Kun

alumiinikloridia on läsnä, kaikki tasapainot vaihtuvat alhaisempaan pH-arvoon alunan konsentraation samalla lisääntyessä.

Paperi- ja kartonkiteollisuudessa alunana käytetään puhdasta alumiinisulfaattia /18/. Konsentraatiot ja lisäysmäärät perustuvat yleensä joko alumiinioksidin Al_2O_3 tai hydraatin $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 14 \text{H}_2\text{O}$ ekvivalenttiin määrään. Alunaliuos on hapan; esimerkiksi 1 %:sen alunaliuoksen pH on noin 3. Alunaliuoksessa esiintyvien ionisten komponenttien määrä on riippuvainen hydroksyyli-ionin reaktioasteesta. Voidaan jopa todeta koostumuksen olevan riippuvainen pH:sta.

Alumiinin adsorptio

Paperin- ja kartonginvalmistuksen massoissa alumiinin adsorptio on riippuvainen pH:sta, pH_p on noin 4,5 (pH_p -alue on alue, jossa alunan saostuminen alkaa) /18/. Alumiinin adsorptio on vähäistä sen esiintyessä liukoisena muotona, kuten Al^{3+} - ja AlOH^{2+} -kationina, jolloin liikutaan pH_p -alueen alapuolella. Vastaavasti pH_p -alueen yläpuolella adsorptio on voimakasta sen esiintyessä kolloidisina poly-ytimenä.

Alhainen pH-alue

Täysin liukenevat Al^{3+} - ja AlOH^{2+} -kationit esiintyvät pH-alueen 4,5 alapuolella /18/. Niillä on suuri positiivinen varaus, mutta toisaalta hyvin alhainen adsorptio massaan. Eri massoilla voi olla erilainen alunan vaatimus ja tutkimusten mukaan valkaisu tai jauhettu massa sisältää tyypillisesti enemmän alumiinia kuin valkaistu tai jauhamaton massa.

Alumiinikationin kolmoisvaraus hyvin tehokkaasti tiivistää elektrokineettistä kaksoiskerrosta vesifaasin kolloidipinnassa /18/. Happamissa oloissa ($\text{pH} < 4,5$) aluna on tehokas anionijäännöksen, hemiselluloosien ja ligniinin hienoaineksen koagulantti. Lisäksi se reagoi ionivarauksella orgaanisten happojen ja niiden suolojen kanssa. Kuidun neutralisoinnin jälkeen pinta muuttuu ja täten lisääntyvä adsorptio eliminoituu.

Joissakin tapauksissa tämä voi aiheuttaa pinnan passiivisuutta adsorptiolle muita kationisia uuteaineita käytettäessä paperinvalmistuksen prosessissa.

pH-alue yli 4,5

pH-alueen yläpuolella alumiinin adsorptio lisääntyy nopeasti /18/. Tämä voidaan selittää ainoastaan kolloidisten poly-ydinten muodostumisella kiinteään massaan. Kuten yleensä kolloideissa, adsorptio riippuu sekä ioneitten varaustiheydestä että niiden taipumuksesta hylkiä vettä. Olaatit ovat voimakkaammin adsorboituneina kuituihin ja hienoaineksiin kuin trivalentit alumiini-ionit.

Hyvä alumiinin tehokkuus pH-alueella 4,6-4,9 tulee vastaamaan kationin $[Al_8(OH)_{20}^{4+}]$ varausta /18/. Varaustiheys tässä kompleksissa alumiinille moolia kohti on 0,5. Tämä kationinen kolloidi polymeeri muodostuu kuituihin liimattavaan pinta-alaan ja täällä tavoin voi kuidun pinnassa osittain siirtää pientä anionista varausta paikalliselle kationiselle puolelle. Tämä voimistaa elektrostaattisen vetovoiman vaikutusta lähimmän anionin varaukseen. Tällainen varauksen neutralisointi voi indusoida prosessia, jota kutsutaan heterokoagulaatioksi.

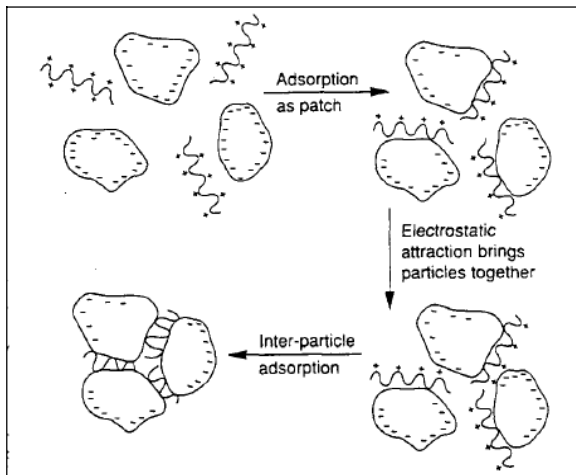
Kolloidisia poly-ydinkomplekseja ei enää esiinny pH:n ylittäessä arvon 5 /18/. Sen sijaan liukenematon alunä pysyy saostuneena kuidun pinnassa suhteellisen alhaisella kationin varaustiheydellä pH:sta ja vallitsevista olosuhteista riippuen. Alumiinisulfaatti ja -kloridi käyttäytyvät eri tavoin pH:n funktiona: isoelektrinen piste alunäälle on 7,5-7,7 ja alumiinikloridille samoissa oloissa noin 9.

Verrattaessa alumiinin adsorptiota alumiinikloridina ja -sulfaattina tiedetään niiden käyttäytyvän samalla tavoin /18/. Kuitenkin sulfaatin pH-alue on 0,2-0,3 yksikköä alempana kuin kloridin. Nämä kaksi kemikaalia eroavat myös kemikaaliannostuksina; alumiini adsorboi enemmän sulfaattina. Tästä johtuen sulfaattia sisältävä saostuma vähentää tehokkaasti varausta ja samalla myös adsorboivien flokkien vuorovaikutusta.

Aluna on tehokas hienoaineksen koagulantti ja siksi sitä voidaan käyttää kuivatusominaisuuksien parantamiseen. Massassa olevien kuitujen hienoainepartikkeleilla on suuri pinta-ala, joka käsittää sekä sisäisen että ulkoisen alueen. Alhaisen molekyylipainon uuteaineet, kuten tri- ja divalentitiset alumiini-ionit ja kolloidiset poly-ytimet, voivat läpäistä turvonneita geelimäisiä hienoainepartikkeleita. Kun taas suuren molekyylipainon aineet, kuten synteettiset polymeerit, ovat rajoitettuja enemmänkin pintaan. Monet täyteaineet ovat kiinteitä ja siten uuteaineilla on mahdollista absorboitua vain ulkoiseen pintaan. Tämän takia massassa tapahtuva adsorptio akkumuloi epäsuhteessa uuteaineiden määrään. Adsorptiosuhde kuidun, täytesaven ja hienoaineksen välillä on 1:2:3.

4.3 Polymeeri

Polymeerit ovat suurimolekyylisiä orgaanisia yhdisteitä, joissa toistuvat samat rakenneyksiköt ja/tai samat sidostyypit /19-21/. Jätevesiä saostetaan ja koaguloidaan, jotta mikroflokkit muodostuvat. Tämä voidaan tehdä joko pH:ta säätämällä tai epäorgaanisilla tai orgaanisilla koagulanteilla. Orgaaniset koagulantit ovat pieni molekyylipainoisia ja korkeasti varautuneita polyelektrolyyttejä, jotka ovat yleensä kationisia. Niitä voidaan käyttää yksin tai yhdessä epäorgaanisten koagulanttien kanssa. Muodostuneet flokit saatetaan yhteen suuriksi aggregaateiksi suuri molekyylipainoisilla kohtuullisen varauksen omaavilla polyelektrolyyteillä. Elektrolyytin varaus voi olla anioninen tai kationinen. Flokkautumisessa polymeeripartikkelit muodostuvat polyelektrolyyttien adsorboituessa partikkelin pintaan muodostaen samalla partikkeleihin silmukoita ja häntiä (kuva 7), jotka toimivat siltoina flokkien välillä.



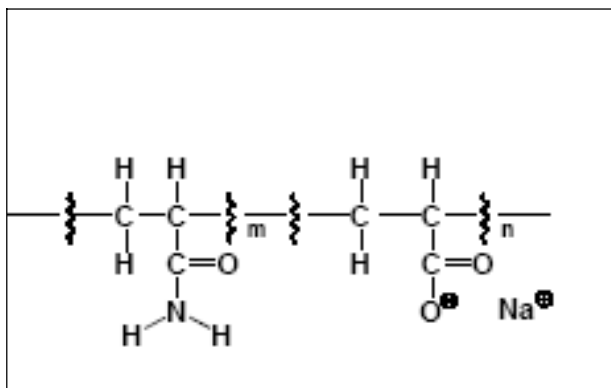
Kuva 7. Flokkautumisprosessin silmukoiden ja häntien aiheuttama partikkeleiden aggregoituminen /21/.

Käytettäessä polymeerisiä flokkulantteja vedenkäsittelykemikaleina on välttämätöntä käyttää polymeerejä sopivasti, jotta optimaaliset tulokset saavutetaan. Teoreettiset analyysit ovat osoittaneet, että polymeerin turpoaminen liuotimessa (aktivointi) osoittaa partikkeleiden vuorovaikutuksen mahdollisuuden flokkautumisen aikana. Eräässä tutkimuksessa /19/ polymeerin aktivointia määritettiin mittaamalla viskositeettiä kolmella akryylipohjaisella polymeerillä, joilla kullakin on erilainen ionisuus (Praestol A3035L, anioninen; Praestol K226FL, kationinen ja Praestol N3100L, nonioninen). Tällöin todettiin viskositeetin vähenevän veden kovuuden kasvaessa. Kaikilla polymeereillä ilmeni viskositeetikynnys pH:n ollessa 3, niiden ionisuudesta tai veden kovuudesta riippumatta. Nonionisen polymeerin reologinen käyttäytyminen ei ollut niin herkkä muuttumaan lämpötilan myötä kuin ionisten polymeerien.

Organopol

Organopol on myrkytön suurimolekyylinen anioninen polyakryyliamidi (tässä tutkimuksessa käytössä ollut polymeeri) /20/. Organopolin rakenne on esitetty kuvassa 8, josta näkee polymeerin rakenteessa kaksi toistuvaa yksikköä. Organopolilla on

vedenkäsittely kemikaalina hyvä flokin muodostuskyky, kolloidinen retentio ja kiintoaineen muodostuskyky.



Kuva 8. Organopol 5510NS -rakenne /20/.

Anionisia polymeerejä käytetään paperi- ja massatehtaiden prosessivesien käsittelyssä. Kemikaaliannos vaihtelee välillä 0,5-5,0 ppm virtaavasta vedestä riippuen /20/. Organopolia on suositeltavaa käyttää yhdessä bentoniitin kanssa mikropartikkelien puhdistussysteemissä. Sitä käytetään myös polymeeriflokkulanttina tehostamaan jätevesikuitusaven vedensitomiskykyä.

Käytettäessä Organopolia jäteveden selkeytyskemikaalina vähennetään kuitusaven vesipitoisuutta, muodostetaan vakaat puhdistusolot poistettaessa suspensioita ja liuennutta kiintoainesta, edistetään nopeaa flotaatiota, tehostetaan värin, tuhkan ja tahma-aineiden poistoa sekä alennetaan kemiallisen ja biologisen hapenkulutuksen tasoa puhdistetun jäteveden virtaamasta /20/. Organopol ei sisällä VOC:tä tai pintaaktiivisia aineita, jotka ovat haitaksi ympäristölle. Lisäksi se toimii laajalla pH-alueella joko orgaanisten ja epäorgaanisten koagulanttien kanssa tai ilman niitä. Organopol täyttää myös Pohjoismaisen ympäristömerkin kemikaalimodulin vaatimukset.

5 Virtaama

Puhdistamon toiminnan kannalta on tärkeää, ettei jäteveden hydraulinen kapasiteetti eli puhdistamon mitoitusvirtaama ylitä /3,4/. Lisäksi puhdistamo toimii tehokkaimmin virtaaman pysyessä vakiona. Mikäli hydraulinen kapasiteetti ylitetään ja virtaama on hetkellisesti tavanomaista suurempi, jäteveden kiintoaineiden ja muiden partikkeleiden pitoisuudet ovat todennäköisesti alhaisempia suuremmassa virtaamassa ja kuitusavelle tapahtuu ohivirtausta, mutta puhdistamon toimintaan ei aiheuteta riskitilannetta. Hydraulisen kapasiteetin ylittyessä jätevesipäästöt vesistöön ovat kuitenkin tavanomaista suurempia. Jäteveden virtaaman ollessa mitoitusvirtaamaa alhaisempi, puhdistamon toiminnassa saattaa ilmetä vaikeuksia, mutta vastaavasti vesistöön ei aiheudu ylimääräistä kuormitusta. Alhaisella virtaamalla mikrobien käymistilan mahdollisuudet kasvavat, mikä voi nostattaa suoraan COD_{Cr}/BOD₇ -pitoisuuksia.

Virtaaman vaihtelua aiheuttavia tekijöitä

Teollisuuden jätevesivirtaamat voidaan luokitella jatkuviin ja satunnaisiin virtaamiin /4/. Jatkuvat säännölliset virtaamat ovat normaaleja ja ennakoitavia tunnettuja. Niihin lasketaan myös toistuvat lisävirtaamat, kuten huoltotoista sekä alas- ja ylösajoista aiheutuvat. Satunnaiset virtaamat aiheuttavat ylimääräisiä päästöjä ja niitä voi syntyä äkillisesti erilaisista ajohäiriöistä, tehtaan seisokeista, onnettomuuksista sekä uusien laitteiden käyttöönotosta ja vanhojen käytöstä poistosta. Myös laitevauriot ja inhimilliset virheet saattavat aiheuttaa häiriöpäästöjä. Vaikka häiriöpäästöjä esiintyy harvoin, niiden aiheuttamat ympäristökuormitukset saattavat olla merkittäviä.

Jätevesien käsittelymenetelmät ovat kehittyneet huomattavasti. Ympäristön kannalta merkittävät päästöt ilmenevät esimerkiksi kalakuolemien tai virkistyskäyttöön tarkoitettujen rantojen siivottomuutena. Häiriöpäästöt aiheuttavat vesistökuormituksen lisäksi ongelmia jäteveden puhdistamolla, joissa ongelmat voivat ilmetä niin mekaanisina kuin biologisinkin. Lisäksi häiriöpäästöt vaikuttavat negatiivisesti

toiminnanharjoittajan imagoon ja saattavat aiheuttaa taloudellisia menetyksiä yritykselle. Häiriöpäästöjä aiheutuu sitä vähemmän, mitä vakaampi ja hallitumpi tuotantoprosessi on. Hallintaa edesauttaa tapahtuneiden häiriöiden kirjaaminen ja analysointi.

Puhdistamon jätevedenpuhdistuksen häiriöt

Metsäteollisuuden jätevesien häiriöpäästöjä syntyy tuotantoprosessien lisäksi myös jätevedenpuhdistuksessa /4/. Puhdistamolla häiriöpäästöt voivat olla joko biologisia tai mekaanisia. Mekaanisia häiriöitä ovat esimerkiksi putki-, pumppu-, vaihteisto- ja ilmastuslaitteiden vauriot ja ne voidaan yleensä korjata nopeasti heti havaitsemisen tapahduttua. Lisäksi kuluvat osat, kuten laakerit ja hihnat, vaihdetaan säännöllisesti, viirat jopa kuukausittain. Biologisia ongelmia on esimerkiksi happipula tai häiriöt ilmastuslaitteessa. Häiriöt heikentävät ilmastusaltaan toimintaa ja biolietteen laskeutumista. Puhdistamo kestää paremmin suuren hetkellisen jätevesikuormituksen kuin kemikaalipäästön. Erityisesti pH:n muutos tai biosidipäästö saattavat vaikuttaa biologisessa aktiivilieteprosessissa mikrobihajoamisen toimintaan. Tämän vuoksi häiriöpäästöjen mahdollisimman nopea havaitseminen on tärkeää. Jätevedenpuhdistamon häiriöpäästöjä voidaan rajoittaa johdattamalla häiriötilanteessa jätevedet toiseen puhdistuslinjaan.

6 Kuitusavi

Kuitusavet ovat kartonki-, massa- ja paperiteollisuudessa sivutuotteena muodostuvaa kuitu- ja pigmenttipitoista lietettä /22-24/. Kuituja ja täyteaineita joutuu jätevesiin paperin-, massan- ja kartonginvalmistuksen eri vaiheista: puun kuorinnasta, haketuksesta, massan valmistuksesta, lajittelusta ja käsittelystä, veden poistosta koneelta, täyteaineiden valmistuksesta, päällystyksestä ja joskus häiriötilanteista. Kuitusavi koostuu nesteestä ja siihen suurella kiintoainepitoisuudella sekoittuneesta hienojakoisesta kiintoaineksestä. Vesikiintoainesuspension koostumus- ja kiintoainepitoisuus vaihtelevat vedestä ja puhdistusprosessista riippuen. Veden sisältämät kiintoainepartikkelit voidaan jakaa liukoisiin (hiukkaskoko < 0,08 µm),

kolloidisiin (0,08-1,0 µm) ja suspendoituneisiin (1-100 µm) hiukkasiin. Lisäksi laskeutuneet suspendoituneet hiukkaset (> 100 µm) voidaan suhteellisen helposti erottaa vedestä kuitusaveksi laskeuttamalla tai flotaatiolla.

Kuitusaven käsittelyn tarkoituksena on mahdollisimman tehokas veden poisto ja korkea kuiva-ainepitoisuus. Vesi voi esiintyä mm. seuraavina muotoina /22/:

- vapaana vetenä
- kapillaarivetenä
- sitoutuneena ja solunsisäisenä vetenä kuduissa.

Kuitusavea voidaan luonnehtia seuraavilla parametreilla /23/:

- kiinteä ja kuiva kiinteä jae
- tuhka- ja pihkapitoisuus
- viskositeetti ja pH
- selkeytymisaste
- puristuvuus
- lämpöarvo
- kuituanalyysi.

Finnaon tekemän selvityksen mukaan /24/ paperi- ja kartonkitehtailla sivutuotteena syntyvää kuitusavea muodostuu valmistusprosessista riippuen noin 4 % valmiiden tuotteiden kuiva-ainemäärästä. Vastaava määrä Äänekosken paperi- ja kartonkitehtailla on 1-2 % /25/.

6.1 Käsittelymenetelmät

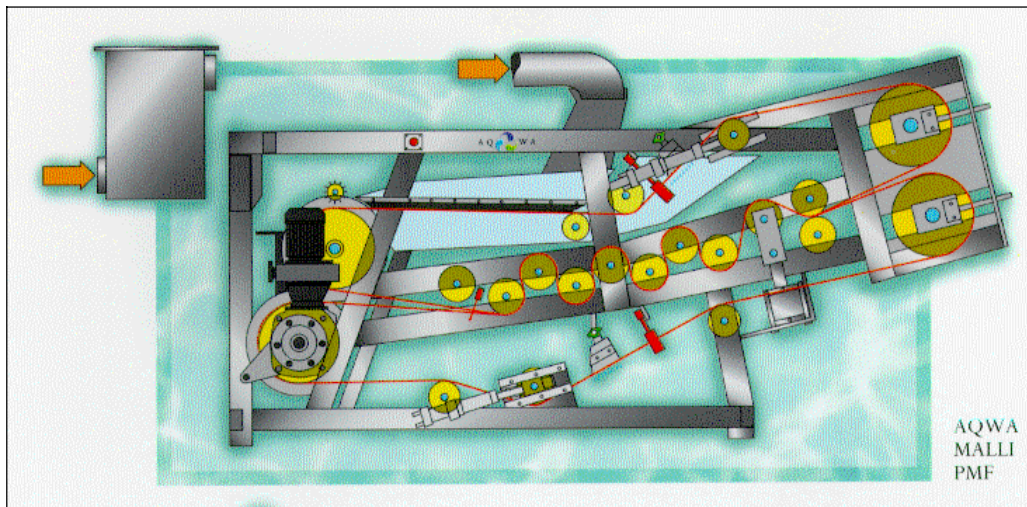
Puhdistuslietteelle on usein tarpeellista tehdä esikäsittely, jossa sitä hienonnetaan, sekoitetaan, poistetaan hiekkaa ja kiintoainepitoisuutta nostetaan homogeenisen kuitusavensyötön mahdollistamiseksi /22,23/. Hienonnuksessa kuitusaven suuremmat ja kovat partikkelit leikataan pienemmiksi palasiksi. Näin ne eivät tukkeuta laitetta tai kietoudu pyörivän laitteen ympärille. Hiekanpoisto on usein toteutettu jo ennen

esiselkeytystä ja tavallisimmin se suoritetaan keskipakoisvoimaan perustuvilla erottimilla eli sykloneilla.

Puhdistuslietteen kunnostuksen jälkeen varsinainen veden poisto suoritetaan joko mekaanisesti, termisesti tai näiden yhdistelmänä. Jätevettä voidaan myös käsitellä stabilointimenetelmällä, jossa kyse on lähinnä aumakompostoinnista tai mädätyksestä. Vedenpoiston onnistumiseen vaikuttavat kuitusaven ominaisuudet, käytettävä kuivausmenetelmä sekä polymeerin laatu ja annostus. Vedenerotuksella saavutetaan mm. seuraavia etuja /23/:

- alhaisemmat kuljetuskustannukset
- kuivattu kuitusavi on helpompi käsitellä kuin sakeutettu tai nestemäinen kuitusavi
- energiasisältö saadaan nostetuksi polttoa varten
- alhaisempi kompostoinnin tukiaineiden tarve
- haju ja mädäntyminen vähenevät
- maantäyttöominaisuudet paranevat.

Metsäteollisuuslaitoksissa käytetyimmät mekaaniset veden erottimet ovat suotonauhapuristin (kuva 9) ja ruuvipuristin.



Kuva 9. Kuitulietteelle tarkoitettu suotonauhapuristin, jossa kuivaus perustuu gravitaatioon ja puristukseen /26/.

Suotonauha puristimia käytetään sekä orgaanisille että epäorgaanisille puhdistuslietteille ja niiden toimintaan voidaan vaikuttaa hihnan nopeuden säädöllä, paineella, kuitusaven sakeudella ja sisääntulovirtaamalla /22,23/. Lisäksi suotautuvuuteen vaikuttaa ennen kaikkea suodatuksen ominaisvastus. Suotonauhapuristimilla voidaan saavuttaa keskimäärin 34 %:n kuiva-ainepitoisuus. Suotonauhapuristimissa kunnostetun kuitusaven vapaasta vedestä suurin osa poistetaan valuttamalla. Matalapainevaiheessa kuitusavea puristetaan huokoisten kangasnauhojen välissä. Korkeapainevaiheessa nauhat ajetaan rullien läpi, jolloin puristus- ja leikkausvoimat lisäävät poistuvan veden määrää.

Ruuvipuristimen sisällä käytetään pyörivää kartioruuvia, jonka kartiomaisuus kasvaa kuitusaven kulkusuunnassa /22,23/. Kartioruuvi kuljettaa puhdistuslietettä puristimessa poistaen samalla vettä reiitetyn vaipan läpi. Ruuvipuristimen tehokkuutta voidaan parantaa kylläisenhöyryn käytön avulla, sillä höyry pienentää veden viskositeettia ja helpottaa kuitusaven kulkua. Ruuvipuristimella kuivatun puhdistuslietteen kuiva-ainepitoisuus on tyypillisesti 15-50 %.

Tavallisesti kuitusaven kuivatusominaisuuksia parannetaan lisäämällä orgaanisia polymeerejä tai epäorgaanisia kemikaaleja. Vaikeasti saostettavien vesien

puhdistamiseen käytetään pitkäketjuisia, vesiliukoisia polymeerejä. Kuitusaven hienoaineksen ja suurten aggregaattien yhdistyessä lisääntyy erotettavissa olevan veden määrä.

Orgaanisten polymeerien (anionisten, kationisten ja nonionisten) toiminta perustuu varausneutralointiin tai sillanmuodostusmekanismiin /22,23/. Varausneutraloinnissa polymeerillä on vastakkainen varaus kuin kolloidihiuksella, joten polymeerin varaus neutraloi pintavarauksen. Tällöin kolloidinen partikkeli saostuu. Sillanmuodostusmekanismeissa polymeerit muodostavat siltoja kolloidihiuksien välille ja sitovat ne suuriksi aggregaateiksi. Kuitenkin tämä mekanismi edellyttää kahden tai useamman hiukkasen adsorboimisen samaan polymeerin ja seuraavien ehtojen tulee täytyä:

1. Adsorboivalla polymeerillä täytyy olla sellainen ulottuvuus vedessä, että se voi saavuttaa muita hiukkasia huolimatta sähköisistä repulsiivoimista.
2. Adsorboiva polymeeri ei saa peittää koko hiukkasen pintaa, vaan vapaata pintaa tulee olla riittävästi adsorboimaan muiden hiukasten polymeerejä.

Sopivan kemikaalin ja annostuksen valinta on hyvin tärkeää, sillä polymeerit käyttäytyvät hyvin eri tavoin erilaisten kuitusavien kanssa /22,23/. Lietteen puhdistuksessa käytetään kationisia polymeerejä, kun taas kemiallista kuitusavea selkeytetään anionisilla polymeereillä. Primaarilietteet pystytään usein käsittelemään ilman polymeeriäkin. Metsäteollisuuden jätevesille on yleisesti käytössä orgaaniset polymeerit, joiden etuja ovat helppokäyttöisyys, tehokkuus ja pieni varastotilantarve verrattuna perinteisiin epäorgaanisiin saostuskemikaaleihin. Lietteestä riippuen voidaan käyttää joko anionisia tai kationisia polymeerejä.

Puhdistuslietteen lämpö- eli termisessä kuivauksessa vesipitoisuutta lasketaan haihduttamalla sitä ilmaan /22,23/. Siinä lämmitettävä aine voi olla suoraan kosketuksissa lämmitettävän materiaalin kanssa tai väliaineen välityksellä. Lämpökuivauksen tarkoitus on poistaa kosteutta lietteestä siten, että se voidaan polttaa tai käsitellä lannoitteeksi. Näin voidaan parantaa puhdistuslietteen poltto-ominaisuuksia.

Lisäksi kuivauksella voidaan edistää kuitusaven hienontumista, vähentää sen painoa ja estää biologisen toiminnan jatkuminen, mikä on tärkeää lannoitekäyttöä ajatellen.

Puhdistuslietteiden kuiva-ainepitoisuus on ennen käsittelyä vain noin 5 % eli liete sisältää runsaasti vettä, jota pyritään poistamaan kuitusaven jatkokäsittelyä varten /22,23/. Kuitukuitusaven kuiva-ainepitoisuuden tavoitearvot vaihtelevat loppukäyttötarkoituksen mukaisesti. Esimerkiksi maanrakennuskäytössä kuitusaven ei tarvitse olla maksimikuiva-ainepitoisuudessaan, kun taas vastaavasti polttoon menevässä kuitusavessa korkea kuiva-ainepitoisuus on eduksi (kuitusaven lämpöarvo on sitä suurempi, mitä kuivempaa se voidaan polttaa).

6.2 Hyödyntäminen ja loppusijoitus

Kuitusavi määritellään jätteeksi. Ensisijaisesti sen syntyä pitäisi pyrkiä ehkäisemään ja toissijaisesti sitä pitäisi pyrkiä hyödyntämään materiaana tai energiana /22-24/. Kuitenkin energiantuotanto on yleisin hyötykäyttötapa metsäteollisuuslaitosten jätevesilietteille. Metsäteollisuuslaitoksilla poltto on käytännöllinen vaihtoehto, sillä polttolaitos yleensä sijaitsee lähellä jätevesilietteidenkäsittelylaitosta ja poltosta saatava energia voidaan käyttää välittömästi hyväksi tuotantoprosessissa. Kuitusaven koostumuksesta ja kuiva-ainepitoisuudesta johtuen lämpöarvo jää alhaiseksi ja poltto vaatii lähes aina apupolttoaineita, kuten kuorta, hiiltä tai kivihiiltä. Polton myötä kuitusavi saadaan helpommin käsiteltävään muotoon.

Jätevesilietteen hyötykäytön edistämiseksi on myös otettu käyttöön vaihtoehtoisia tekniikoita kuten kaasutus, jolla saatetaan kiinteä polttoaine kaasumaiseen muotoon /23/. Sen avulla voidaan edistää mm. biomassan ja erilaisten jättejakeiden energiankäyttöä. Lisäksi sillä on pystytty vähentämään poltossa syntyvien päästöjen määrää.

Paperi- ja kartonkiteollisuuden kuitusavea kemimekaanisesta selkeytyksestä on käytetty kaatopaikkojen pintasuojarakenteissa eli kaatopaikan maisemoinnissa Yhdysvalloissa jo

vuodesta 1975 ja Suomessa vuodesta 1996 lähtien /23,24/. Kuitusavi sijoitetaan yleensä silloin kaatopaikalle, kun sille ei löydy sopivaa hyödyntämiskohdetta. Metsäteollisuuslaitoksilla on yleensä omat luvanvaraiset kaatopaikkansa. Kuitusaven sisältämän orgaanisen aineen hajoaminen synnyttää biokaasua, jonka hallitsematon virtaaminen aiheuttaa mm. ympäristö- ja terveysongelmia. Nykyään tuotantolaitosten yhteydessä on toiminnassa kaasunkeräyslaitteistot.

Kuitusavea voidaan hyödyntää monipuolisesti vesitiiviyttä, murtositkeyttä ja eroosionkestoa vaativissa rakenteissa /23,24/. Kaatopaikkojen mineraalisen tiivistyskerroksen pääasiallisena toiminnallisena tavoitteena on haitta-aineiden suotautuminen ja diffuusion minimointi. Kerroksen geoteknisenä vaatimuksena on tiivistyvyys ja alhainen vedenläpäisevyys, routimattomuus sekä riittävät lujuusominaisuudet ja plastisuus. Kuitusaven soveltuvuutta mineraalisen tiivistyskerroksen materiaaliksi on tutkittu ja sitä voidaan käyttää sen ollessa sopivassa kuiva-ainepitoisuudessa. Sen vedenläpäisevyttä voidaan säätää lisäaineiden, kuten bentoniitin, käytöllä. Yhdysvalloissa tehdyssä tutkimuksessa todettiin kuitusaven soveltuvan kaatopaikan tiivistyskerrokseksi.

Kuitusavea voidaan käyttää niin tuotantolaitosten omien kuin yhdyskuntien kaatopaikkojen maisemointiin ja peittämiseen /24/. Massan-, paperin- ja kartongintuotannosta syntyvällä kuitusavella ja tuhkalla voidaan korvata kaatopaikkarakenteissa käytetty savi, jolloin samalla pienennetään kaatopaikan sulkemiskustannuksia. Kaoliinia sisältävä kuitusavi on saven kanssa tiivistysominaisuuksiltaan hyvin samanlainen. Lisäksi kuitusaven sisältämä kuitupitoinen orgaaninen aines antaa materiaalille joustavuutta, mikä vähentää päällysteen halkeilemista.

Kuitusavea voidaan lisäksi käyttää tie- ja kuntopolkujen sekä kenttärakenteiden raaka-aineina, saastuneiden maiden kapseloinnissa, meluvalleissa ja laskettelurinteiden muokkauksessa sekä yleensä maisemoinnissa /24/. Tällöin pystytään säästämään neitseellisissä rakennusmateriaaleissa. Käytettäessä puhdistuslietettä maanviljelyk-

sessä, tarkoituksena on käyttää ravinteet, kuten typpi ja fosfori, hyödyksi sekä osittain hyödyntää orgaaninen aines maanparannukseen. Tässä tapauksessa on kuitenkin huomioitava lainsäädännöllinen kelpoisuus, ettei kuitusavi esimerkiksi sisällä liikaa raskasmetalleja.

Kuitusaven ympäristökelpoisuus

Ympäristökelpoisuus arvioidaan yleensä analysoimalla haitallisten aineiden kokonaispitoisuutta sekä toisaalta haitallisten aineiden liukoisuutta /23,24/. Liukoisuuden perusteella voidaan arvioida ympäristövaikutuksia eri ajankohtina. Suomessa maaperään sijoitettavien materiaalien ympäristökelpoisuuden arviointiin ei ole toistaiseksi olemassa vahvistettuja raja-arvoja.

Kuitusaven kemiallinen koostumus riippuu siitä, minkä tyyppisestä tuotantoprosessista se on peräisin. Paperi- ja kartonkitekollisuudesta muodostuvan kuitusaven oletettuja alkuaine ja yhdistepitoisuuksia on esitetty taulukossa 2. Kuitusaven sisältämät alkuaineet ovat peräisin prosessivedestä, puuraaka-aineesta, kemikaaleista ja putkistoista. Siistauslietteet sisältävät lisäksi painovärien pigmenteistä peräisin olevia alkuaineita ja yhdisteitä. Nykyisin kromia, lyijyä tai kadmiumia sisältävät väriaineet ovat kiellettyjä. Finnaon tekemän tutkimuksen mukaan /24/ M-realin kuitusavi soveltuu rajoituksetta maarakentamiseen.

Taulukko 2. Kuitusaven alkuaineiden ja yhdisteiden koostumuspitoisuuksia mg/kg kuiva-ainetta /24/

Alkuaine/ yhdiste	Tyypillinen koostumuspitoisuus kuitusavessa	Maan saastuneisuuden arvioinnissa käytettävät kokonaispitoisuusarvot	
		ohjearvo	raja-arvo
As	<20	10	50
Ba	<200	600	600
Cd	<1	0,5	10
Co	<10	50	200
Cr	<200	100	400
Cu	<40	100	400
Hg	<0,1	0,2	5
Mo	<5	5	200
Ni	<50	60	200
Pb	<30	60	300
Sb	<5	5	40
Se	<10	1	10
V	<20	50	500
Zn	<100	150	700
PCB (kok)	<0,5	0,05	0,5
PAH (kok)	<20	20	200

6.3 Ominaisuudet

Kuitusaven kuiva-aineesta on yleensä 30-60 % orgaanista ainesta, joka on pääosin kuitua /22,24/. Vastaavasti epäorgaanisessa osassa on savea (kaoliinia, talkkia ja bentoniittia), mineraalisia oksideja ja päällystyksessä käytettyjä komponentteja.

Kuitusavi voidaan jakaa primaari-, rejekti- ja siistauslietteeksi /22/. Primaarikuitusavea syntyy jäteveden primaarikäsittelyssä eli mekaanisessa esiselkeytyksessä. Primaarikuitusaven määrä ja laatu riippuvat prosessin tyypistä, raaka-aineista ja veden

kulutuksesta. Se voi sisältää täyteaineita, kuten kaoliinia, talkkia tai kalsiumkarbonaattia, sekä pastaa ja päällystyspigmenttiä. Primaarikuitusavelle on ominaista runsas puupitoisten ainesten määrä ja alhainen ravinnepitoisuus. Materiaalin vedenpoisto-ominaisuudet ovat riippuvaisia kuitujen määrästä, joita on yleensä 40-95 % kuiva-aineesta sekä täyteaineiden määrästä. Primaarikuitusaven tuhkapitoisuus on tyypillisesti 5-60 %.

Vesipitoisuus

Käytännössä ei voida toimia optimivesipitoisuudessa, vaan rakentamisessa käytettävien kuitusavien vesipitoisuus on suurempi kuin optimivesipitoisuus /24/. Kuitusaven, jota muodostuu sellua raaka-aineena käyttävillä tehtailta, suositeltava vesipitoisuus rakentamisvaiheessa on 30-50 %. Vesipitoisuus ilmoitetaan veden massa jaettuna kuivan kuitusaven massalla. Materiaalin kuivattaminen optimivesipitoisuuteen edellyttäisi joko tuotantoprosessitekniisiä muutoksia tai lämpökuivaamista. Kyseiset vaihtoehdot eivät ole talousteknillisesti järkeviä, sillä tiivistyskerrokselta tyypillisesti vaadittavat vedenläpäisevyysominaisuudet täyttyvät useissa tapauksissa myös toimitusvesipitoisuudessa.

Muodonmuutosominaisuudet

Arvioitaessa materiaalin soveltuvuutta tiivistyskerrokseen tärkeä ominaisuus on materiaalin jännitys-muodonmuutuskäyttäytyminen /24/. Kaatopaikan pintarakenteen tiivistyskerrosta rasittaa pitkäaikaisessa käyttötilassa jätekäytön epätasainen painuminen. Tiivistyskerroksen materiaalin tulee tällöin mukautua jätetäytön painumiin ja säilyttää mitoituksen perusteena käytetty vedenläpäisevyys.

Kokoonpuristuvuusominaisuudet

Tiivistyskerros kokoon puristuu sitä kuormittavien maakerrosten johdosta /24/. Kuormituksen suuruus määräytyy tiivistyskerroksen yläpuolelle tulevien maakerrosten

kokonaispaksuudesta ja tilavuuspainosta. Kokoonpuristumisen yhteydessä tiivistyskerroksen huokosista poistuu ilmaa ja vettä ja raerunko kokoonpuristuu. Tasaisesti kuormitetun selluraaka-aineesta peräisin olevan kuitusavikerroksen pitkäaikainen enimmäispainuminen on noin 12 % kuormituksen ollessa noin 12 kPa eli kokoonpuristuvuus tapahtuu tällaiselle kuitusavelle hyvin lineaarisesti.

Vedenläpäisevyys

Kyllästyneen tilan vedenläpäisevyys voidaan määrittää mittaamalla näytteen läpäissyt vesimäärä aikayksikköä kohden, kun tunnetaan vedenläpäisevyyslaitteistossa olevien mittapäiden välinen paine-ero /24/. Mittaukset suoritetaan pehmeäseinäisellä mittauslaitteistolla, jossa näytettä ympäröivä kumikalvo puristuu näytettä vasten estäen mahdollisen reunavirtauksen. Näyte kyllästetään vedellä, minkä jälkeen näytteen läpi johdetaan vettä. Vedenläpäisevyys lasketaan näytteen läpäisseeestä vesimäärästä, paine-erosta ja mittaukseen kuluneesta ajasta.

Kuitusaven kyllästyneen tilan vedenläpäisevyys vaihtelee välillä 10^{-8} - 10^{-9} m/s /24/. Kuivatilavuuspainon kasvaessa vedenläpäisevyys pienenee. Tiivistetyn kuitusavikerroksen päälle rakennetaan pintarakenteissa maakerroksia, joiden kuormitus kokoonpuristaa tiivistekerrosta. Kokoonpuristumisen aikana kuitusaven huokosista poistuu kaasua ja vettä. Samanaikaisesti kuitusaven raerunko kokoonpuristuu, jolloin kuivatilavuuspaino kasvaa ja vedenläpäisevyys pienenee. Kokoonpuristumisen suuruuden ja samalla käyttötilan vedenläpäisevyyden määrää tiivistekerroksen yläpuolisten maakerrosten kuormitus.

Pintarakenteiden tiivistyskerros on useimmiten osittain kyllästynyt /24/. Tässä tilassa tapahtuvia veden virtausilmiöitä ei voida käsitellä luotettavasti yleisesti käytetyllä Darcyn lailla, mikä kuvaa veden yksisuuntaista laminaarista virtausta maaperässä. Osittain kyllästyneen tilan vedenläpäisevyys on aina parempi kuin kyllästyneen tilan vedenläpäisevyys. Osittain kyllästyneessä tilassa voidaan virtausnopeus laskea Darcyn lain kanssa analogisella kaavalla. Tällöin on kuitenkin huomioitava, että:

- Vedenläpäisevyys on kyllästysasteen funktio ja se on pienempi kuin kyllästyneen tilan vedenläpäisevyys. Lisäksi se ei yleensä ole vakio kahden pisteen välillä, vaan muuttuu veden virtausreitillä maaveden potentiaalimuuhtuessa.
- Hydraulinen gradientti koostuu kokonaispotentiaalieroista kahden pisteen välillä sekä niiden välisestä etäisyydestä. Kokonaispotentiaalissa on gravitaatiopotentiaalim lisäksi huomioitava matriisipotentiaali ja huokosilmanpaine.
- Maan kyllästysaste on riippuvainen maan kyllästyshistoriasta.

Vedenpidätyskyky

Vedenpidätyskyky kuvaa materiaaliin pidättyvää vesimäärää eri kuivatustilanteissa /24/. Vedenpidätyskyky voidaan määrittää painelevylaitteiston avulla, jossa vedellä kyllästyneet näytteet ovat huokoisen keraamisen levyn päällä ja painekammiossa vaikuttaa ylipaine. Paineen vaikutuksesta näytteestä virtaa vettä huokoslevyn kautta ulos kammioista siihen saakka, kunnes vesipitoisuus on tasoittunut vallitsevan paineen kanssa. Tasapainon saavuttaneen näytteen tilavuusvesipitoisuus määritetään ja käsittely toistetaan suuremmalla paineella. Kuitusavelle on tyypillistä korkea veden pidättyminen ja kuitusavessa oleva kuitu pidättää vettä tehokkaammin kuin pigmentit. Kuitusaven tilavuudesta 50-70 % on vettä. Voimakas veden pidättyminen estää käyttötilassa haitallisten halkeamien syntymisen rakenteessa.

Kaasunläpäisevyys ja biohajoavuus

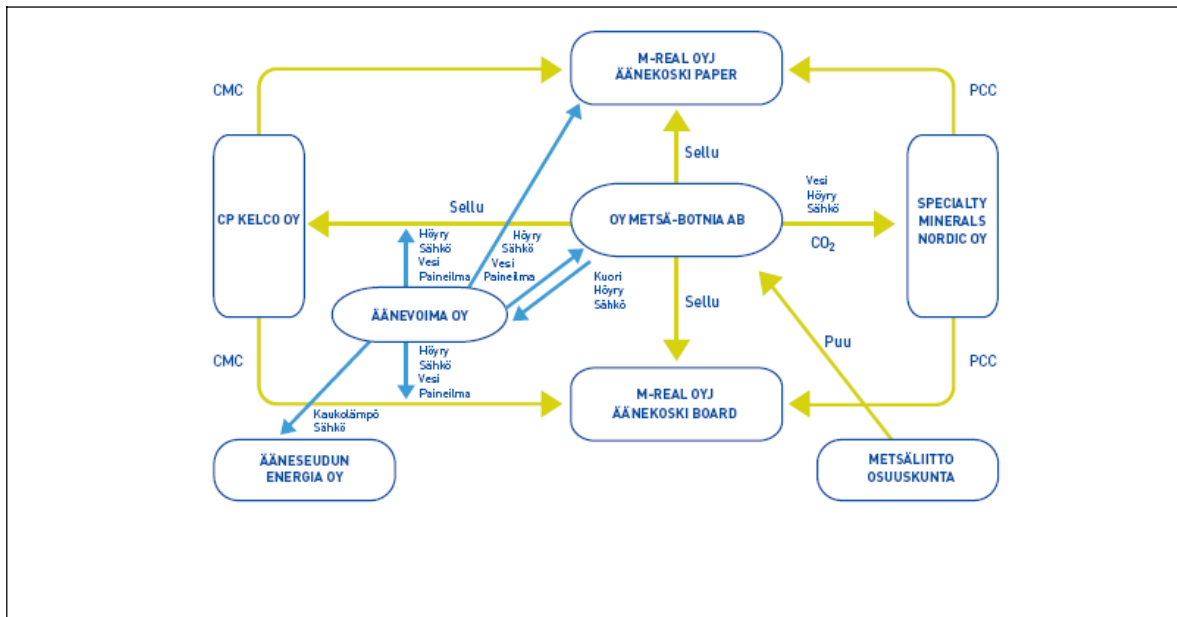
Tiivistyskerroksen tehtävänä on estää suotoveden pääsy jätetäyttöön ja estää kaatopaikkakaasujen purkautuminen pintarakenteen läpi ilmakehään /24/. Kuitusavien ilmanläpäisevyys pienenee kyllästysasteen kasvaessa ja huokoisuuden pientessä. Kuitusavien ilmanläpäisevyys on hyvin pieni ja vastaa hienorakenteisista maalajeista lähinnä savea.

Aerobinen biohajoavuus edustaa näytteen enimmäisbiohajoavuutta. Biohajoavuus pienentää kuitusavesta rakennetun tiivistekerroksen tilavuutta 1,6-4,8 % materiaalista riippuen. Biohajoavuus otetaan suunnittelussa huomioon varautumalla 5 %:n paksuuden alenemaan tiivistekerroksessa.

7 M-real Äänekoski integraattialue

Äänekosken Osakeyhtiö perustettiin vuonna 1896 tuottamaan aluksi kartonkia ja puutavaraa /27,28/. Paperitehtaan tuotanto alkoi 1906 käärepaperilla ja 1917 siirryttiin valmistamaan sanomalehtipaperia. Vuonna 1966 aloitettiin päällystetyn paperin tuotanto ja uusi kartonkitehdas käynnistyi. Integraatin alueen nykyaikainen sulfaattisellutehdas ja biologinen jätevedenpuhdistamo aloittivat toimintansa vuonna 1985.

Äänekosken metsäteollisuusintegraatin jätevedet käsitellään joko kemimekaanisesti jätevedenpuhdistuslaitoksella tai biologisesti aktiivilietelaitoksella, jotka sijaitsevat Äänekosken kaupungissa, Paadentaipaleen kaupunginosassa. Äänekosken tehtaiden alueella toimii kuusi erillistä yksikköä (kuva 10): paperi- ja kartonkitehdas (M-real Äänekoski Paper ja Board), sellutehdas (Oy Metsä-Botnia Ab), energiayksikkö (Äänevoima Oy), CMC tehdas (CP Kelco Oy) ja PCC tehdas (Specialty Minerals Nordic Oy).



Kuva 10. Äänekosken metsätehtaiden toimintayhteydet.

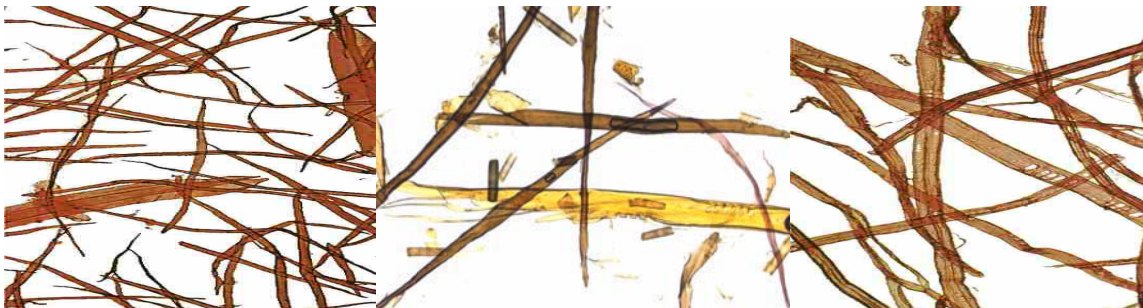
Äänekosken metsätehtailla on yhteistyötä toistensa kanssa: integraatin laitokset ovat liiketoiminnallisesti erillisiä toimintoja, mutta tuotantolaitosten kesken on solmittu yhteistyösopimuksia, joissa on määritelty osapuolten väliset liittymät, käyttöoikeudet ja vastuut.

Biologiselle jäteveden puhdistamolle vetensä ohjaavat sellutehdas, PCC-tehdas, CMC-tehdas ja osin kartonkitehdas /28/. Paperitehtaalla on myös tarvittaessa mahdollisuus johtaa jätevedet biologiselle puhdistamolle. Kartonkitehtaan hoidossa olevalla kemimekaanisella puhdistamolla käsitellään paperi- ja kartonkitehtaan jätevedet. Äänevoima tuottaa alueen tarvitseman höyryn sekä välittää Metsä-Botnian ylijäämähöyryn tehtaiden käyttöön. Näiden lisäksi Äänevoima tuottaa tehtaiden tarvitseman prosessiveden ja paineilman. Loppusijoitettavan jätteen kaikki yksiköt toimittavat Metsä-Botnian tehdaskaatopaikalle.

7.1 Kartonkitehdas

M-real Äänekoski Board on käynnistynyt vuonna 1966 ja kartonkikone on uusittu vuonna 2002 /28-31/. Kartonkitehdas sijaitsee metsäteollisuusintegraatin alueella

Keiteleen laskuvirran ja Kuhnamojärven rannalla. Kartongin valmistusprosessi koostuu pulperiasemasta, massa- ja lisäaineosasta, pastakeittiöstä, kartonkikoneesta, pituusleikkurista, arkituksesta ja varastosta. Se valmistaa valkaistua kolmikerroksista taivekartonkia korkealuokkaisiin pakkauksiin, kuten kosmetiikka-, lääke- ja tupakkapakkauksiin sekä graafisiin lopputuotteisiin. Kuituraaka-aineena käytetään BCTMP:tä ja valkaistua sulfaattiselluloosaa. Lisäksi kierrätetään ulkopuolisesta arkituksesta syntyvää ja omassa prosessissa muodostuvaa hylkyä. Kartongin pinta- ja taustakerros valmistetaan valkaistusta lehti- ja havupuusellusta. Sisäkerros on valkaistua kemihierrettä. Päälylytyksessä käytetään kalsiumkarbonaattia, sideaineita ja kaoliinia sekä täyteaineina PCC:a. Kartonkitehtaalla käytettävä sellu, PCC ja CMC tulevat saman integraattialueen tehtailta (kuva 10). Äänekoski Boardin tuotteita ovat Carta Solida (185-320 g/m²), Carta Integra (170-330 g/m²), Caleria Vision (185-320 g/m²) ja Caleria Image (170-330 g/m²). Kuvassa 11 on esitetty kartongin valmistusprosessissa käytetyt kuitutyypit, joista Äänekoskella on käytössä valkaistu kemihierre ja sellu.



Kuva 11. Kartongin valmistuksessa käytettävät kuidut eli FBB (valkaisematon hioke), FBB – BCTMP (Valkaistu kemihierre) ja SBS (Valkaistu kemiallinen massa eli sellu) /29,30/

Taivekartonkiin (FBB) pakataan kosmeettisia tuotteita, tupakkaa, lääkeaineita, konditoriatuotteita ja ruokaa /29/. Joitakin laatuja käytetään myös postikortteihin ja kirjojen kansiin. Tuotteiden keskimääräinen neliöpainoalue on 160-450 g/m² ja niitä valmistetaan kolme tai jopa neljäkerroksisena, jossa pinta- ja pohjakerros on valkaistua kemiallista massaa (BCP) ja välikerroksissa on mekaanista massaa (TMP tai CTMP).

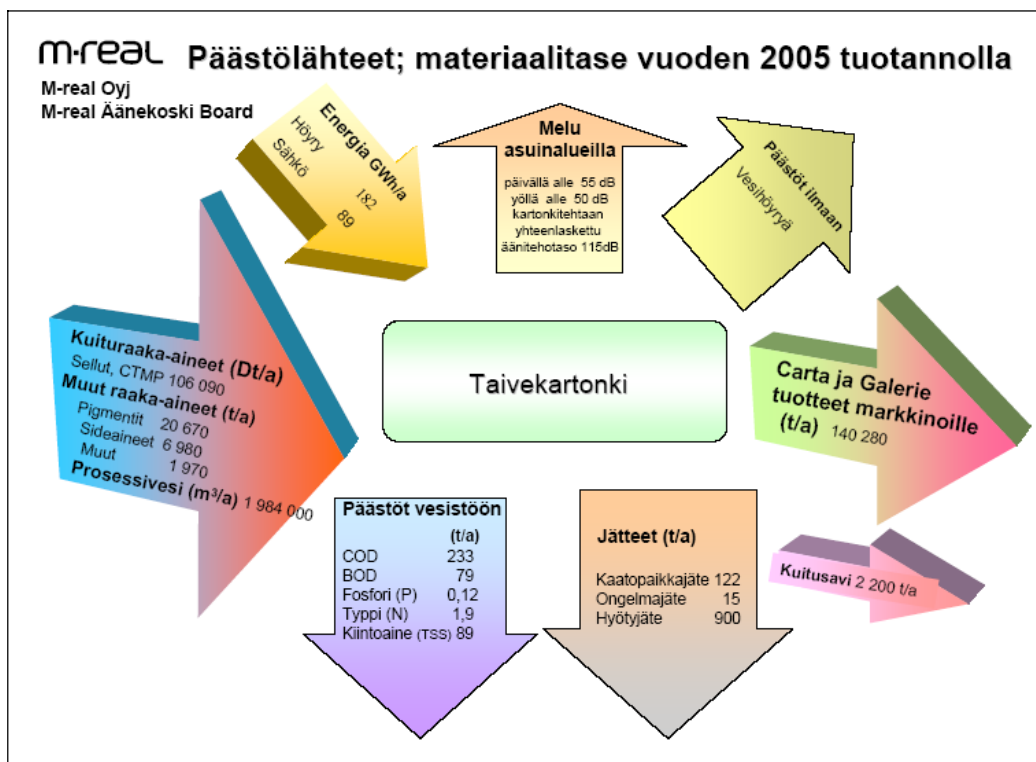
Mekaaninen massa antaa korkeimman mahdollisen bulkin. FBB voi olla päällystettyä, päällystämätöntä, kertapäällystettyä pintakerroksesta, kaksoispäällystettyä pintakerroksesta tai kaksoispäällystettyä pintakerroksesta ja kertapäällystettyä pohjakerroksesta. FBB:lta vaaditaan hyviä painatusominaisuuksia ja tärkeitä mekaanisia ominaisuuksia ovat myös paksuus, taivutusjäykkyys ja z-suuntainen vahvuus. Toisaalta sileyden suhde paksuuteen on tuotteen kannalta kriittisin ominaisuus.

Sellukartonkia (SBS) käytetään tupakka ja suklaapakkauksissa, sillä se ei yleensä aiheuta maku- ja hajuhaittoja. Se koostuu valkaistusta lehtipuun ja havupuun sulfaattimassasta. Lehtipuunmassa parantaa formaatiota ja painettavuusominaisuuksia. SBS on yleensä yksikerroksinen päällystetty tuote, mutta sitä voidaan myös valmistaa monikerroksisena. Äänekosken kartonkitehtaan tuotteita käytetään tupakka ja suklaapakkauksissa, jotka sisältävät sellun lisäksi kemihierrettä.

Kartonkitehtaan aiheuttamat päästöt

Kartonkitehdas ei tuota savukaasuja, ainoastaan vähäisessä määrin kartongin kuivatuksesta tulevaa vesihöyryä, joka poistetaan ilmaan talteenottotornien kautta. Tuotannosta aiheutuvat prosessijätevedet jaotellaan siten, että pääosa prosessista poistettavasta kirkassuodoksesta pumpataan sellutehtaan kuorimon kautta biologiseen puhdistukseen. Loput jätevedet, pääasiassa kiintoainepitoisia jätevesiä, pumpataan kemimekaaniseen puhdistukseen. Päällystyspastapitoisille jätevesille on puhdistamalla erillinen esipuhdistus lamelliselkeyttimellä ennen selkeytsaltaalle laskemista. Puhtaat tiiviste- ja jäähditysvedet johdetaan kanaalien kautta vesistöön. Kartonkikoneella syntyy kiintoainepitoisia jätevesiä sisäisten puhdistuslaitteiden rejekteinä ja mahdollisissa häiriötilanteissa sattuvina yliajoina. Pastapitoisia jätevesiä syntyy päällystysasemilla ja pastanvalmistuksessa. Lisäksi pesuvesiä muodostuu seisokeista, päällystyspastan valmistuksesta ja päällystyskoneilta.

Jätevesiin ajautuu kartonginvalmistuksesta kuituja, täyteaineita, päällystysaineita sekä veteen liuenneena puun uuteaineita ja muita raaka-aineperäisiä aineita sekä tärkkelystä. Kartongin valmistuksesta aiheutuva merkittävä jätejake on kuitusavi. Äänekoski Boardin materiaalitase on esitetty kuvassa 12, josta voidaan nähdä kuinka suhteutettuna käytettyihin raaka-aineisiin ja tuotettuihin tuotemääriin päästöt vesistöön ovat vähäiset ja jätteitäkin muodostuu melko vähän. Vastaavasti kuitusavea otetaan talteen runsaasti.



Kuva 12. M-real Äänekoski Boardin materiaalitase vuonna 2005.

Täyteaineina käytetään saostettua PCC:a ja päällystyspigmenttinä PCC:a sekä kaoliinia. Päällystyspigmentit saattavat sisältää pienissä pitoisuuksissa myös titaanidioksidia, alumiinihydroksidia ja piidioksidia.

Puhdistusmenetelmät vesien käsittelyssä

Kartonkikoneen prosessin sisäisesti kiertovesiä puhdistetaan kiekkosuotimella, jolla prosessivesiä puhdistetaan kiintoaineesta sisäiseen kiertoon sekä pumpattavaksi biologiselle puhdistamolle /29/. Kiekkosuotimen toiminta perustuu veden suodattumiseen, kun se kulkee kuitumassakerroksen läpi. Suodin puhdistaa vesistä kiintoainetta ja samalla se toimii raaka-aineen talteenottimena. Suotimilta tuleva kirkassuodos käytetään uudelleen kartonkikoneella ja kirkassuodoksen ylijäämä pumpataan biologiselle puhdistamolle.

Ulkoisina menetelminä prosessijätevesien puhdistukseen käytetään aktiivilietelaitosta, lamelliselkeytintä ja kemimekaanista selkeytysallasta /29/. Periaatteena jätevedenkäsittelyssä on se, että kiintoainepitoiset vedet puhdistetaan kemimekaanisella puhdistamolla ja happea kuluttavaa kuormaa aiheuttavat prosessivesistä pääosa pumpataan biologiselle puhdistamolle.

Kemimekaanisen puhdistamon lamelliselkeyttimellä puhdistetaan kartonkikoneelta sekä pastakeittiöltä peräisin olevia pastapitoisia jätevesiä /29/. Puhdistuksessa käytetään selkeytyskemikaaleina alunaa ja polymeeriä, joiden avulla kiintoaine koaguloidaan ja flokataan, jolloin se laskeutuu helpommin lamellialtaan pohjalle. Kirkaste ohjataan selkeytysaltaalle ja kiintoaine imusuotimille.

Selkeytysaltaalle ohjataan kartonkikoneelta poistettavat kuitupitoiset prosessijätevedet, joihin on annosteltu selkeytyskemikaaleja /29/. Liete pumpataan tiivistysaltaalle ja sieltä edelleen imusuotimille. Imusuotimilta saatava kuitusavi hyödynnetään kaatopaikan sulkemisessa tiivistyskerroksena.

7.2 Paperitehdas

M-real Äänekosken paperitehdas sijaitsee metsäteollisuusintegraatin alueella Keiteleen laskuvirran ja Kuhnamojärven rannalla /28,32/. Tehtaan toiminta on alkanut vuonna

1906 käärepaperin tuotannolla ja täysin uudistettu paperikone on käynnistetty vuonna 1987. Vuodesta 1989 lähtien tehdas on valmistanut päällystettyä taidepainopaperia. Paperinvalmistuslinja käsittää paperikoneen, jossa on on-line päällystysyksikkö, päällystyskone (4-asemainen) sekä matta- ja kiillotuskalanterit paperin pinnan viimeistelyyn. Lisäksi tehtaalla on kaksi pituusleikkuria sekä arkaamo.

Tehdas valmistaa korkealaatuista kolmeen kertaan teräpäällystettyä taidepainopaperia, jota käytetään vaativissa painotuotteissa, kuten vuosikertomuksissa, taide- ja valokuvakirjoissa, esitteissä, julisteissa ja seinäkalentereissa sekä aikakauslehtien kansissa ja liitteissä /32/. Paperin pääraaka-aineita ovat lehti- ja havupuusellu ja täyteaineena käytetään GCC:a. Lisäaineita käytetään paperin ominaisuuksien ja ajettavuuden parantamiseksi. Pohjapaperissa on kuitujen ja täyteaineiden lisäksi päällystettyä ja päällystämätöntä hylkyä (konehylky), kiinnitysainetta, tärkkelystä, värejä ja retentioaineita (bentoniitti ja polymeeri). Päällysteen raaka-aineita ovat kaoliini ja kalsiumkarbonaatti sekä sideaineet (lateksi ja CMC). Lisäksi käytetään optista kirkastetta.

Äänekosken paperitehdas valmistaa päällystettyä puuvapaata taidepaperia, Galerie Art, jolle on ominaista painopinnan vaaleus ja sileyys /32/. Galerie Art on saatavana arkkeina (Gloss & Silk, 115-300 g/m³) ja rullina (Gloss & Silk, 115-250 g/m³). Valmiilla tuotteella on hyvä taitettavuus ja se soveltuu siksi hyvin haasteellisiin painotöihin. Lehtipuumassa tekee paperista tasaisen ja havupuusellu antaa sille lujuuden. Kolmella päällystyskerroksella saadaan paperiin hyvä painopinta. Lisäaineilla parannetaan paperin käyttöominaisuuksia ja paperikoneiden ajettavuutta.

Paperitehtaan aiheuttamat päästöt

Paperinvalmistusprosessista aiheutuu vähäisiä päästöjä vesistöön /32/. Paperitehdas ei tuota savukaasuja, vaan paperin kuivatuksesta vapautuu vesihöyryä, joka poistetaan ilmaan talteenottotornien kautta. Prosessivesiä kierrätetään tehokkaasti paperikoneella vedenkulutuksen ollessa alle 6 m³/t. Prosessin sisällä vesiä puhdistetaan

kiekkosuotimella ja päällystysainepitoisia vesiä ultrasuotimilla. Ne toimivat myös raaka-aineen talteen ottajina, kuten myös täyteaineen talteenottolaitteisto eli filrec, joka käsittelee pyörrepuhdistuslaitoksen 5. portaan rejektiä.

Kaikki prosessista poistettavat jätevedet johdetaan puhdistettavaksi puhdistamolle ja puhdistuksesta saatava kiintoaine otetaan talteen kuitusavena, joka hyödynnetään mm. kaatopaikan sulkemisessa tiivistyskerroksen rakentamisessa /32/. Paperitehtaalla syntyy vähän jätteitä myös kunnossapidon ja laitoshuollon toiminnasta. Jätevesiin ajautuvat jakeet paperin valmistuksesta ovat hyvin samankaltaisia kartongin valmistusprosessin kanssa. Jätevesiin joutuu kuituja, täyteaineita, päällysteaineita sekä veteen liuenneena puun uuteaineita. Paperitehtaalta johdetaan puhdistamoille paperikoneen massa- ja vesikiertojen prosessijätevesiä, joita syntyy kiintoainepitoisina rejekteinä, sekä pesuvesiä päällystyspastan valmistuksesta ja päällystyskoneelta sekä pastapitoisia jätevesiä, joita ei voida poikkeustilanteessa palauttaa ultrasuotimen kautta tuotantoon. Tuotantoprosessissa syntyvät pesu- ja prosessijätevedet johdetaan prosessivesiviemäriin ja pumpataan kiintoaineen poistoon kemimekaaniselle selkeytysaltaalle, jonne johdetaan myös kartonkitehtaan jätevesiä.

Puhdistusmenetelmät vesien käsittelyssä

Paperikoneella prosessin sisäisiä puhdistusmenetelmiä ovat kiekkosuodin, filrec sekä ultrasuodin /32/. Ulkoisina menetelminä prosessijätevesien puhdistuksessa käytetään kemimekaanista selkeytysallasta, jonne ohjataan kaikki poistettavat prosessijätevedet. Paperitehtaalla ajoittain syntyviä pastapitoisia jätevesiä ei voida ohjata lamellin kautta puhdistamolle.

Paperikoneella on käytössä kiekkosuodin, jolla prosessivesiä puhdistetaan sisäiseen kiertoon /32/. Kiekkosuotimen toiminta perustuu veden suodattumiseen, kun se kulkee kuitumassakerroksen läpi. Suodin puhdistaa vesistä kiintoainetta ja samalla se toimii raaka-aineen talteenottimena. Suotimilta tulevaa kirkassuodosta käytetään uudelleen paperikoneella ja kirkassuodoksen ylijäämä menee kanaaliin.

Filrecillä dispergoidaan pyörrepuhdistimelta tuleva rejekti, joka sisältää pääasiassa hylystä irtoavia päällystepartikkeleita. Jauhettu rejekti palautetaan pääosin takaisin prosessiin korvaamaan täyteainetta. Pieni osa poistetaan kierrosta prosessijätevesiin. Näin saadaan vähennettyä merkittävästi pyörrepuhdistajalta prosessijätevesiin tyhjentävää rejektiä (kiintoainetta) ja samalla säästetään raaka-aineissa.

Ultrasuotimella väkevöidään ja puhdistetaan päällystysasemilta sekä päällystyspastan valmistuksesta tulevia pastapitoisia vesiä /32/. Vesi suodattuu kulkiessaan ultrasuotimen läpi ja samalla saadaan talteen konsentraatti uuden pastan valmistusta varten. Puhtaat suodattuneet vedet (permeaatti) käytetään paperikoneella suihkuvesissä. Ultrasuotimen syöttövirtaus riippuu suodatinkankaista ja syöttösakeus on keskimäärin noin 3 %. Ultrasuotimen käyttöä rajoittaa ajoittain kierrätyspastan rajallinen hyödyntämismahdollisuus johtuen sen alhaisesta kuiva-ainepitoisuudesta, jonka aikana pastapitoisia vesiä joutuu kuitupitoisen jäteveden kanssa samaan putkistoon.

7.3 Päällystysprosessista aiheutuvat komponentit jätevesiin

Paperin ja kartongin päällystyksen tavoitteena on pinnan sileyden ja kiillon suurentaminen, tasaisen väriabsorption aikaansaaminen, vaaleuden suurentaminen ja optisen tasalaatuisuuden parantaminen /18/. Päällystyksestä ajautuu jätevesien joukkoon erilaisia komponentteja käytettäessä erilaisia pigmenttejä, side- sekä lisäaineita, joita tarkastellaan tässä luvussa lyhyesti.

Pigmentit

Pigmenttejä on päällysteestä 80-90 % ja pääpigmentit ovat kaoliini, kalsiumkarbonaatti ja talkki /18/. Lisäksi voidaan käyttää esimerkiksi titaanidioksidia, alumiinihydroksidia ja muovipigmenttejä. Ideaalipigmentti on halpa, kemiallisesti inertti ja liukenematon. Sillä on pieni sideaineen tarve ja se on pehmeä, jolloin se ei kuluta laitteistoja. Pigmentin huokoskoko vaikuttaa opasiteettiin ja suurella taitekertoimella saavutetaan maksimiopasiteetti.

Kaoliini on käytetyin pigmentti ja sen tärkein mineraali on kaoliniitti /18/. Se on kemialliselta koostumukselta eräänlainen alumiinisilikaatti, $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Kaoliinin vaaleus on ISO 85,5 % ja sen hiukkaskoko on keskimäärin 0,5-1,0 μm . Kidemuodoltaan kaoliini on kuusikulmainen, romboheksagonaalinen.

Talkki on kotimainen tuote, jota käytetään sekä täyteaineena että päällysteenä /18/. Puhdas talkki on magnesiumsilikaattia, $3\text{MgO} \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$, jonka vaaleus on ISO 86-89 % ja hiukkaskoko 1-10 μm . Talkin partikkelit ovat voimakkaasti levymäisiä. Niiden ansiosta päällysteen rakenne on joustava ja bulkkinen. Talkilla voidaan korvata 20-40 % kaoliinista.

Sideaineet

Sideaineen tehtävänä on sitoa pigmenttahiukkaset pohjapaperiin, ympäröidä pigmenttahiukkaset ja sitoa ne toisiinsa sekä täyttää pigmenttahiukkasten välistä tilaa /18/. Ihanteellisella sideaineella on hyvä sitomiskyky ja vedenpidätyskyky. Se on helposti veteen liukenevaa ja sillä on vähäinen vaikutus päällysteen viskositeettiin. Lisäksi on toivottavaa että sideaineella on alhainen vaahtoamistaipumus, sillä jäteveden puhdistuksessa usein veden vaahtaminen on visuaalinen ongelma. Sideaineen valintaan vaikuttaa päällysteeltä vaadittavat ominaisuudet, pigmentin sideaineen tarve, sideaineen sidosluku ja hinta. Sideaineet voidaan luokitella vesiliukoisiin, kuten luonnon sideaineet (tärkkelys ja proteiinit) sekä keinotekoiset sideaineet (CMC), ja veteen liukenemattomiin sideaineisiin, kuten polymeeridisersiot (styreenibutadieeni ja akrylaatti).

Sideaineista tärkkelystä liukenee hyllyn pulpperoinnissa kiertoveteen /18/. Tärkkelys koostuu amyloosista ja amylopektiinistä ja sitä esiintyy runsaasti mm. maississa, perunassa, vehnässä ja riisissä. Tärkkelyksen ominaisuuksiin vaikuttaa amyloosi/amylopektiini-suhde, ketjujen pituudet ja erilainen modifiointi, kuten hydrolyysi, hapetus, eetteröinti, esteröinti ja entsyymikonvertointi. Kaikki kyseiset ominaisuudet yhdessä vaikuttavat muodostettavan päällysteen viskositeettiin.

Kartongin valmistuksessa tärkkelystä käytetään märkälujaliimana kationisessa muodossa ja pintaliimauksessa kationisen sekä anionisen tärkkelyksen seoksena /18/. Anionisella tärkkelyksellä on huono retentio anioniseen kuituun nykyajan nopeilla paperi- ja kartonkikoneilla ja vastaavasti retentiolla on suuri taloudellinen ja ympäristöllinen näkökulma. Tärkkelystä modifioitaessa liimatärkkelyksen muotoon, sitä hydrolysoidaan, jolloin tavoitteena on tärkkelyksen stabilointi. Lisäksi liimatärkkelystä voidaan hapettaa, jolloin tärkkelysketjun pituutta pilkotaan ja saadaan tärkkelykselle tietty viskositeetti. Paperitehtaassa käytetään matalakationista massatärkkelystä, joka on kationoitu joko märkänä tai kuivana. Tärkkelys lietetään ja keitetään paperitehtaalla ja annostellaan sen jälkeen massaan.

Tärkkelyksellä voidaan vahvistaa kuitujen sitoutumista toisiinsa /18/. Liika-annostelulla tärkkelyksen vaikutukset muuttuvat kuitenkin heikentäviksi. Nykyään kationista tärkkelystä tärkätään eetterillä kohotetussa pH:ssa ja lämpötilassa ns. eetteröntireaktiolla käyttäen reagessina epoksia, jossa on kiinni kvaternaarinen ammoniumryhmä. Tärkkelys pysyy kationisena pH:n pysytellessä välillä 4-9. Tärkkäysreaktio voidaan suorittaa joko lietemuotoisena tai lisäämällä reagenssit kuivaan tärkkelykseen. Tärkkelyksen kationisuutta luonnehditaan substituotuneiden ja substituotumattomien glukoosiyksiköiden molaarisella suhteella (D.S.). Kationista tärkkelystä voidaan valmistaa mistä tahansa alkuperäisestä tärkkelyksestä, kuitenkin valmiin tärkkelyksen ominaisuuksiin vaikuttavat raaka-aineen liukoisuus ja molekyylikoko.

Karboksimetyyliselluloosa (CMC) on vesiliukoinen selluloosan karboksyloitu johdannainen /18/. Sitä valmistetaan alkalisesta liuoksesta. Tehtaalle CMC toimitetaan jauhemuodossa, josta sitä liuotetaan veteen. CMC:n karbonyylisisältö ja molekyylikoko vaihtelevat laadun mukaan. Vastaavasti karbonyyliryhmä tekee CMC-molekyylistä anionisen ja siksi sen retentoimisen apuaineena käytetään alunaa.

Lisäaineet

Lisäaineina käytetään mm. dispergointiaineita, viskositeetin ja vesiretention säätöaineita, vaahdosnestoaineita, pH:n säätöaineita, pilaantumisenestoaineita, voiteluaineita sekä vedenkestävyyttä parantavia aineita /18/.

Dispergointiaineita käytetään pigmenttien lieton helpottamiseksi ja sen käytöllä ei ole haitallista vaikutusta paperin laatuun /18/. Dispergointiaineina voidaan käyttää polyfosfaatteja, anionisia orgaanisia polymeerejä, natriumsilikaattia, alkaleja (NaOH ja NH₃), CMC tai tärkkelystä.

Viskositeetin säätöaineilla parannetaan vesiretentiota, sillä se on riippuvainen polymeerin muodosta ja varauksesta /18/. Viskositeettiä voidaan nostaa esimerkiksi CMC:lla tai polyakrylaateilla. Sitä voidaan vastaavasti laskea urealla tai disyaanidiamidilla.

Vaahdonestoaineet laskevat paperin ja kartongin päällysteen pintajännitystä /18/. Ne voivat olla öljypohjaisia, eettereitä tai alkoholeja.

pH:n säätöaineita tarvitaan säätämään paperin pinnan pH:ta, sillä pH:lla on suora vaikutus painettavuuteen /18/. Kyseinen säätö voidaan tehdä esimerkiksi NaOH:lla.

Pilaantumisenestoaineita (säilöntäaineita) joudutaan käyttämään, sillä mikro-organismit tummuttavat pastaa, aiheuttavat hajuhaittoja ja alentavat sekä dispergointiaineiden että emulgointiaineiden tehoa /18/. Lisäksi pilaantumisenestoaineiden käytöllä vaikutetaan laitteistojen puhtauteen ja siisteyteen.

Voiteluaineina voidaan käyttää liukenemattomia tai liukenevia rasvahappojen suoloja /18/. Niiden käytöllä estetään päällysteen tarttumista kuivatus- ja kalenterointiteloihin, parannetaan päällysteen sisäistä kitkaa, joka vaikuttaa virtausominaisuuksiin,

helpotetaan pastan ja päällystyslaitteen välistä kitkaa ja saadaan kuivan päällysteen pinta joustavaksi.

Vedenkestävyyttä parantavia aineita kutsutaan usein kovetteiksi ja niillä esimerkiksi voidaan muodostaa verkkorakenne liukoisten aineiden ympärille /18/. Tällaisia aineita ovat mm. glyoksaali ja ureaformaldehydit.

8 Kemimekaaninen puhdistamo

Kemimekaaninen jätevedenpuhdistamo poistaa tehokkaasti kiintoainesta, mutta käsitellyt ja vesistöön ohjattavat jätevedet sisältävät vielä hitaasti hajoavia puuperäisiä aineita (ligniini), kemikaalien reaktiotuotteita ja vähän kiintoainetta /28,33/. Puhdistamo koostuu pastavesiä käsittelevästä lamelliselkeyttimestä, selkeytsaltaasta, sakeuttimesta sekä näistä saatavan kuitusaven vedenpoistoon käytettävistä imusuotimista. Kemimekaaniselle puhdistamolle ohjataan kiintoainepitoiset, vain vähän liuennutta orgaanista ainesta sisältävät jätevedet. Liitteessä 1 on esitetty paperi- ja kartonkitehtaan jätevesien kaavio, josta käy ilmi myös näytteenottoapaikat, valvontakamerat sekä kemikaalien annostelupisteet. Lisäksi liitteenä 2 on PI-kaavio, josta ilmenee tarkemmin putkistolliset yms. ratkaisut.

8.1 Toimintaperiaate

Pastapitoisten jätevesien käsittely lamelliselkeyttimellä

Lamelliselkeyttimellä (22 m³), joka on kytkettynä automaatiojärjestelmään, puhdistetaan kartonkitehtaan pastapitoisia jätevesiä /33/. Pastapitoisia jätevesiä kerätään kartonkitehtaalla säiliöön, josta jätevedet pumpataan puhdistamon lamelliselkeyttimelle (laitteistoon liittyvä teoria esitetty luvussa 3.2). Vedet tulevat ensin lamelliselkeyttimen tuloaltaaseen (7 m³), jossa tapahtuu alunan annostelu jäteveteen. Vaihtoehtoisesti se voidaan myös suorittaa jo kartonkitehtaan puolella. Seuraavaksi vedet siirtyvät varsinaiseen flokkausaltaaseen, jonne lisätään tarvittava määrä polymeeriä. Myös

flokkausallas on kooltaan 7 m³ ja näin saatu kirkaste ohjataan selkeytsaltaalle ja kiintoaine imusuotimille.

Kartonkitehtaalla pastapitoiset jätevedet kerätään ensin säiliöön (50 m³), josta ne pumpataan lamelliselkeyttimen tuloaltaaseen erillistä putkistoa pitkin /33/. Putkisto on varustettu virtausmittauksella ja putkistosta vedet tulevat tuloaltaaseen läpi sihdin, joka erottaa vedestä suuremmat partikkelit. Itse tuloallas on varustettu pH-mittauksella ja jatkuvalla sekoituksella, joka pitää veden kevyessä liikkeessä ja näin ollen pigmentit eivät pääse laskeutumaan altaan pohjalle. Varsinainen flokkausallas, jossa polymeerin annostelu tapahtuu, toimii jäteveden sekoitusaltaana. Sekoituksen myötä koaguloituminen tapahtuu paremmin ja flokit eivät pääse laskeutumaan altaan pohjalle.

Itse lamelliselkeyttimessä on altaaseen asennettu kaltevaan tasoon useita levyjä eli lamelleja /33/. Selkeytykseen tuleva vesi johdetaan selkeyttimen alaosaan, josta vesi nousee lamellien välissä kohti selkeyttimen yläosaa. Virtauksen aikana vedestä erottuu epäpuhtaudet lamellien pinnoille lietteeksi, joka laskeutuu pohjakartioon ja josta se kaavitaan kohti poistoaukkoa laahaimen avulla. Monopumput pumppaavat lietekartioon laskeutuneen lietteen putkea pitkin tiivistimelle, jossa se sekoittuu siellä olevaan kuitulietteeseen. Vastaavasti pintaan nouseva puhdistunut vesi johdetaan ylivirtauksena selkeyttimen syöttöaltaaseen.

Lamelliselkeyttimen toimintaa tarkkaillaan laboratorioanalyysien turvin /33/. Tässä tutkimuksessa tarkasteltiin laboratorioanalyysijä ajanjaksolta 1.4.2006-31.3.2007. Lamelliselkeyttimelle tulevalle vedelle tehdään kiintoainemääritys viikon keräilynäytteestä ja kyseinen jätevesi on sisältänyt keskimäärin $3,5 \pm 0,7$ t/vrk kiintoainesta vuoden tarkastelujakson aikana. Lamellilta lähtevälle jätevedelle tehdään viikon keräilynäytteestä kiintoaine ja COD_{Cr}. Kiintoaineen keskiarvo on ollut $0,25 \pm 0,1$ t/vrk ja vastaavasti COD_{Cr}-määrä samalla vuoden tarkastelujaksolla $0,13 \pm 0,06$ t/vrk.

Kuitupitoisten jätevesien käsittely

Kartonkitehtaan kuitupitoiset jätevedet virtaavat tulokanaalia pitkin pumppausaltaalle (56 m³) /33/. Kartongin kuitukanaaliin aluna voidaan annostella jo tehtaan puolella. Kuitupitoisten jätevesien tulokanaalissa on kaksi puista sulkua. Toisella voidaan estää jätevesien tulo puhdistuslaitokselle ja toinen sulku estää jätevesien ylijouksun vesistöön. Kanaalin ylijouksut menevät suoraan vesistöön, joten kanaalin pinnan seuranta on välttämätöntä. Tulokanaalissa ennen pumppausallasta on konevälppä, joka erottelee jätevedestä suurikokoiset epäpuhtaudet. Välppän nostolaite nostaa ne ketjukuljettimelle.

Paperitehtaan kuitupitoinen jätevesi johdetaan suoraan pumppausaltaaseen tai vaihtoehtoisesti selkeyttimen syöttöaltaaseen (20 m³) /33/. Alunan annostelu paperitehtaan vedelle tapahtuu pumppausaltaan suulla. Lisäksi poikkeustilanteissa, jolloin paperitehtaan pastapitoisten jätevesien käsittelylaitteiston, ultrasuotimen konsentraattia ei voida hyödyntää, paperitehtaan pastapitoiset jätevedet johdetaan puhdistamolle paperitehtaan kuitupitoisten jätevesien seassa. Normaalitylanteissa eli ultrasuotimen toimiessa hyvin paperitehtaalta tulee hyvin vähän tai ei juuri lainkaan pastapitoista vettä kuitukanaaliin.

Pumppausallas

Tuloallas toimii välppältä tulevien kuitupitoisten jätevesien keräilyaltaana ja sinne johdetaan myös puhdistamo 1:n kanaalit ja tiivistimen ylijouksu /33/. Tuloallas on betoninen allas, jonne vedet virtaavat vapaavirtauksena tulokanaalista konevälppän läpi. Samalla se toimii vedessä olevan hiekan keräilyaltaana. Allas tyhjennetään hiekasta imuautolla sekä letkupesulla sopivissa seisokeissa. Tuloaltaalla on kaksi automaatiojärjestelmäistä pumppua, jotka nostavat veden selkeyttimen syöttöaltaaseen. Tuloaltaan pinnan korkeuden tarkkailu on tärkeää, sillä ylimenot menevät suoraan vesistöön.

Selkeyttimen syöttöallas

Betoninen selkeyttimen syöttöallas toimii keräilyaltaana pumppausaltaalta tulevalle kartonki- ja paperitehtaiden kuitupitoiselle jätevedelle /33/. Lisäksi syöttöaltaaseen johdetaan pastapitoisten jätevesien lamelliselkeyttimen kirkaste. Syöttöaltaassa tapahtuu myös polymeerin annostelu jäteveden joukkoon.

Selkeytysallas

Selkeytysaltaalle puhdistukseen ohjataan pääosa kartonkitehtaan kuitupitoisista prosessijätevesistä, paperitehtaan jätevedet ja kemiallisesta veden puhdistuksesta tuleva jätevesi /33/. Selkeytin toimii prosessijätevesien varasto- ja selkeytinaltaana. Selkeyttimessä erottuvat epäpuhtaushiukkaset laskeutuvat pohjalle, josta pyörivät kaapimet kokoavat laskeutuneen kuitusaven altaan keskiosaan. Altaan keskiosasta kuitusavi pumpataan kuitusavipumpuilla kuitusaven sakeuttimelle. Selkeytysaltaan kirkaste eli puhdistettu jätevesi ohjataan Kuhnamo-järveen laskevaan virtaan.

Jätevesikanaaliin annostellaan aluna, jonka avulla koaguloidaan jätevettä /33/. Kanaalista vesi kulkee selkeyttimen syöttöaltaan kautta selkeyttimelle. Selkeytysaltaan kuitusavi pumpataan sakeutusaltaan kautta vedenpoistoon imusuotimille ja käsitellään siellä yhdessä pastakuitusaven kanssa. Imusuotimilta saatava kuitusavi hyödynnetään kaatopaikan sulkemisessa tiivistyskerroksena. Sakeutusaltaan kirkaste ohjataan tuloaltaaseen ja uudelleen puhdistusprosessiin.

Selkeytysallas on betonista valettu ylhäältä avoin ja pohjalta kartiomainen allas, jonka tilavuus on 3000 m³ /33/. Tasausaltaalta tuleva kuitusavi tulee selkeyttimen keskitornin alaosan kautta selkeyttimen rauhoitusaltaaseen. Sen tehtävänä on estää selkeyttimelle tulevan kuitusaven joutuminen suoraan selkeytinaltaaseen sekä nopeuttaa kiintoaineen erottumista jätevedestä. Altaan keskellä olevaan akselistoon on akseloitu pyörivä silta, jossa oleva kaavin poistaa pintakuitusaven pintakuitusavikourun kautta pumppausaltaaseen. Vastaavasti siltaan on kiinnitetty harat vaijereilla. Ne pyörivät sillan

mukana ja siirtävät altaan pohjalle laskeutuvan kuitusaven pumppauskartioon. Varsinaisen selkeytinaltaan ulkoreunassa on erillinen allasosa, keräilyallas. Keräilyaltaasta puhdistuneet vedet menevät putkea pitkin vesistöön. Putki on viety vesistöön pinnan alapuolelle ja se on varustettu ilman poistoyhteellä. Selkeyttimen kirkaste kaatuu ylijuoksuna alivirtauslevyn kautta keräilyaltaaseen. Vesistöön poistuvat selkeyttimen kirkasteen määrä mitataan altaaseen rakennettujen venturikanavien avulla. Alivirtauslevy estää öljyn joutumasta kirkasteen mukana vesistöön. Kuitusavipumput siirtävät kuitusaven selkeyttimen keskeltä sakeuttimelle ja kuitusaven virtausta voidaan seurata määrämittauksena. Selkeyttimen kaikkien laitteistojen ohjaukset ja käynnistykset tapahtuvat puhdistamon valvomon päätteeltä.

Sakeutin/tiivistin

Sakeutin toimii selkeyttimellä kerätyn kuitusaven sakeutus- ja varastoaltaana /33/. Se on betonista valettu pohjalta kartiomainen ja tilavuudeltaan 400 m³. Sakeutin toimii laskeutusperiaatteella ja on varustettu laahainkoneistolla, joka kuljettaa kuitusavea altaan keskiosaan pois-pumppausta varten. Sakeuttimen pohjalla pyörivät harat ovat kiinni altaan keskellä olevassa akselissa. Harat siirtävät altaan pohjalle laskeutuneen kuitusaven keskelle allasta. Kuitusavi pumpataan sakeuttimen kuitusavipumpulle imusuotimelle siten, että pumppu 1 pumppaa kuitusaven suotimelle 1 ja pumppu 2 suotimelle 2. Pumpuille on rakennettu ristiinajomahdollisuus, joten molemmilla pumpuilla voidaan ajaa molemmille suotimille. Sakeuttimen kirkaste johdetaan ylijuoksuna takaisin tuloaltaaseen ja uudelleen puhdistusprosessiin.

Imusuodin

Imusuotimella saostetaan sakeuttimelta ja pastapitoisten jätevesien käsittelystä tuleva kuitusavi /33/. Imusuotimia on kaksi kappaletta, joita voidaan käyttää myös rinnan, niin kuin usein joudutaan tekemäänkin, johtuen jätevesien runsaudesta ja kuitusaven heikosta irtoamisesta viiralta. Kuitusavikakun irtoamista voidaan tehostaa kytkemällä päälle suotimien repijäsuihkut, jotka pilkkovat kuitusavikakun pitkälle hihnakuljettimelle

ja helpottavat näin ruuvikuljettimen toimintaa. Suihkuja käytettäessä kuitusavi ”paloitellaan”, mikä estää ruuvikuljettimien tukkeentumisen ajettaessa vaikeasti hajoavaa kuitusavea.

Imusuotimen tuloallas on teräsrakenteinen /33/. Kuitusavi pumpataan kuitusavipumpuilla sakeuttimelta ja pastapitoisten vesien lamelliselkeyttimeltä suotimen tuloaltaaseen. Tuloaltaan pinnan korkeutta säädetään kuitusaven tulolinjoissa olevien säätöventtiilien avulla automaattisesti. Suotimen tuloaltaan pohjaan on kiinnitetty edestakaisin liikkuva sekoitin, joka sekoittaa altaan pohjan ja rummun välistä kuitusavea. Altaassa on pyörivillä imuaukoilla varustettu rumpu. Se on sähkökäyttöinen ja sen kierrosnopeus on säädettävissä. Rummun päällä on nailonviira, jonka tehtävänä on toimia suotimena, jolloin sen päälle muodostuu rummun sisällä olevan imun vaikutuksesta massakakku eli kuitusaviraina vedessä olevasta lietteestä. Viiraa pystytään kiristämään mekaanisesti telojen avulla ja reunarullilla tapahtuu viiran automaattinen ohjaus. Käytössä olevan imusuotimen viiran tekniset ominaisuudet on esitetty taulukossa 3.

Taulukko 3. Imusuotimen viiran S12K58-L1 tekniset ominaisuudet

Kuitutyyppi	S12K58-L1
Raakamateriaali	Polyesteri
Kudosraaka-aine	Punottu, 2/1 tvilli (kangas)
Paino	1125 g/m ²
Tiheys	1,6 mm
Ilman läpäisevyys 200 Pa:ssa	180 m ³ /m ² min, 1800 l/dm ² min
Loimi	Yksisäikeinen 0,80 mm
Lankojen lkm	78/10 cm
Kude	Yksisäikeinen 0,80 mm
Lankojen lkm	68/10 cm
Vedonkestävyys	
- pituussuunnassa	225 kN/m
- leveyssuunnassa	170 kN/m
Avoin pinta-ala	17 %
Venymä katkaistaessa	
- pituussuunnassa	45 %
- leveyssuunnassa	65 %
Venymä kuormassa	
- 10 kN/m	1,5 %
- 20 kN/m	2,2 %
- 50 kN/m	4,7 %
Tyhjiö tilavuus	49 %
Silmukka aukko	
- pituussuunnassa	0,67 mm
- leveyssuunnassa	0,48 mm

Kuitusavirainan irtoamista voidaan helpottaa myös irrotusilmapuhaltimilla. Ne ovat sähkökäyttöisiä, käsiventtiilillä ohjattavia, jotka puhaltavat ilman radan alle samalla irrottaen kuitusaven viiralta.

Tyhjiöpumput imevät viiran pinnasta olevasta massakakusta veden viiran läpi. Imu tapahtuu rummun ylä- ja keskiosasta ja samalla imupumpulla voidaan ajaa kumpaakin imusuodinta joko erikseen tai samanaikaisesti.

Kuitusavi ja kuljettimet

Puhdistamolla on kaksi hihnakuljetinta, jotka siirtävät imusuotimelta tulevan kuitusaven lavaajaruuveille menevälle pitkälle hihnakuljettimelle /33/. Ruuvikuljetin kuljettaa kuitusaven hihnakuljettimelta kahdelle poiskuljetuslavalle. Ruuvikuljetin on kahteen suuntaan pyörivä ja kääntyvä siten, että kuitusavi voidaan jakaa kahdelle lavalle. Säättö tapahtuu kenttäohjauskytkimillä. Lavaajakuljettimen kääntölaitteena on pneumaattinen sylinteri, joka kääntää lavaajakuljetin ruuvia siten, että kuitusavea voidaan kuormata vaihtolavan molempiin päihin.

Kuitusavipuriste kuljetetaan puhdistuslaitoksen vaihtolavoilla jätehuoltoalueelle /33/. Jätehuoltoalueella kuitusavipuriste puretaan sovitulle varastoalueelle. Sovitun alueen täytyessä sovitaan uudesta purkupaikasta. Puhdistamolta pois kuljetettava kuitusavipuriste hyödynnetään tehdasalueen ns. vanhan kaatopaikan sulkemisessa maisemoinnin välitäyttökerroksessa sekä myös muiden kaatopaikkojen sulkemiseen. Kuitusavipuristeesta otetaan vuorokauden keräilynäyte kuiva-aineen ja tuhkapitoisuuden määrittämiseksi, sillä kaatopaikan maisemointiin käytetyn kuitusavipuristeen kuiva-aineen toivottu pitoisuus on yli 30 %.

8.2 Pastapitoiset jätevedet

Pastapitoisia jätevesiä muodostuu sekä paperi- että kartonkitehtaalla, mutta vain kartonkitehtaan pastavedet esikäsitellään lamelliselkeyttimellä /33/. Pastapitoisia jätevesiä syntyy kartonkitehtaalla päällystysasemien pesuissa, pastojen vaihdon yhteydessä tehtävissä konesäiliön tyhjennyksissä, pastakeittiöllä ja pigmenttisäiliöillä tehtävien pesujen yhteydessä. Kartonkitehtaan pastapitoisen veden virtaamat puhdistamolle ilmenevät liitteestä 3, jossa on esitetty virtaama viimeisen 12 kk:n ajalta,

ja 4, johon on hahmoteltu yhden vuorokauden virtaaman vaihtelut kuvaajan muotoon. Tarkasteltaessa liitteen 3 virtaaman vaihteluita, havaitaan virtaaman keskimääräisen arvon olevan $\sim 570 \pm 150 \text{ m}^3/\text{vrk}$ eli virtaaman vaihtelu pitkällä aikavälillä on melko voimakasta. Sama ilmiö nähdään kuvaajasta ja tämä johtuu pastaveden virtaaman ohjauksesta säiliön pinnan mukaan.

8.3 Kuitupitoiset jätevedet

Kuitupitoisia jätevesiä tulee puhdistamolle kartonkitehtaan kuitupitoisten vesien kanaalia pitkin, pulperiaseman kuitupitoiset vedet hiomon kuitupitoisten vesien kanaalien kautta, vesilaitoksen kemiallisen veden valmistuksen rejekti ja paperitehtaan prosessikanaalin vedet, jossa on mukana sekä pastapitoiset että kuitupitoiset vedet (liitteet 3 ja 4) /33/. Paperitehtaan jäteveden kiintoaine on vähentynyt, koska tehtaalla on käytössä filrec-laitteisto, jossa pyörrepuhdistustekniikan avulla hylkymassasta erotellaan täyteaineet, jollaisina ne myös hyödynnetään. Kaikki muut puhdistamolle tulevat jätevedet johdetaan konevälpän läpi pumppausaltaaseen, paitsi paperitehtaan kuituvesi johdetaan suoraan pumppausaltaaseen tai vaihtoehtoisesti selkeyttimen syöttöaltaaseen.

Kartonkitehtaan kuitupitoisia jätevesiä tulee puhdistamolle runsaasti, noin $4200 \text{ m}^3/\text{vrk}$, kun paperitehtaan jäteveden virtaama on noin $2000 \text{ m}^3/\text{vrk}$ (liitteet 3 ja 4) /33/. Kemiallisesti puhdistetusta vedestä tulee jätevettä noin $1300 \text{ m}^3/\text{vrk}$ ja täten puhdistamolle tulevan veden kokonaismäärä on noin $8500 \text{ m}^3/\text{vrk}$ vähintään saman määrän poistuessa vesistöön. Kartongin kuitukanaalin vedet virtaavat hyvin tasaisesti puhdistamolle, mutta paperitehtaan vesillä sekä vesistöön poistuvalla vedellä ilmenee suuria hetkittäisiä eroja.

Taulukossa 4 on esitetty analyysitulokset kartonkitehtaan kuitukanaalin veden ja paperitehtaan veden määrityksistä. Paperitehtaan jätevesistä pääosin jotka ovat kuitupitoisia ja sisältävät myös hieman pastapitoista vettä, analysoidaan kiintoaine-, tuhka- ja kuitupitoisuus sekä pH. Vastaavasti kartonkitehtaan kuitukanaalin vesistä

määritetään kiinto- ja tuhkapitoisuus sekä pH. Lisäksi molemmista vesistä määritetään COD_{Cr} -määrä.

Taulukko 4. Kartongin kuitukanaalinveden ja paperitehtaan veden analyysit

	Kartongin kuitukanaalinvesi				Paperitehtaanvesi				
	Kiinto t/vrk	Tuhka t/vrk	Tuhka %	pH	Kiinto t/vrk	Tuhka t/vrk	Tuhka %	Kuitu t/vrk	pH
KA	4,5	1,2	32,0	7,7	13,4	10,6	77,0	3,4	7,6
Min	0,0	0,0	3,0	4,4	1,0	0,5	38,0	0,2	7,0
Max	37,7	4,3	71,0	11,4	39,4	30,0	89,0	21,	11,1

8.4 Analysointi

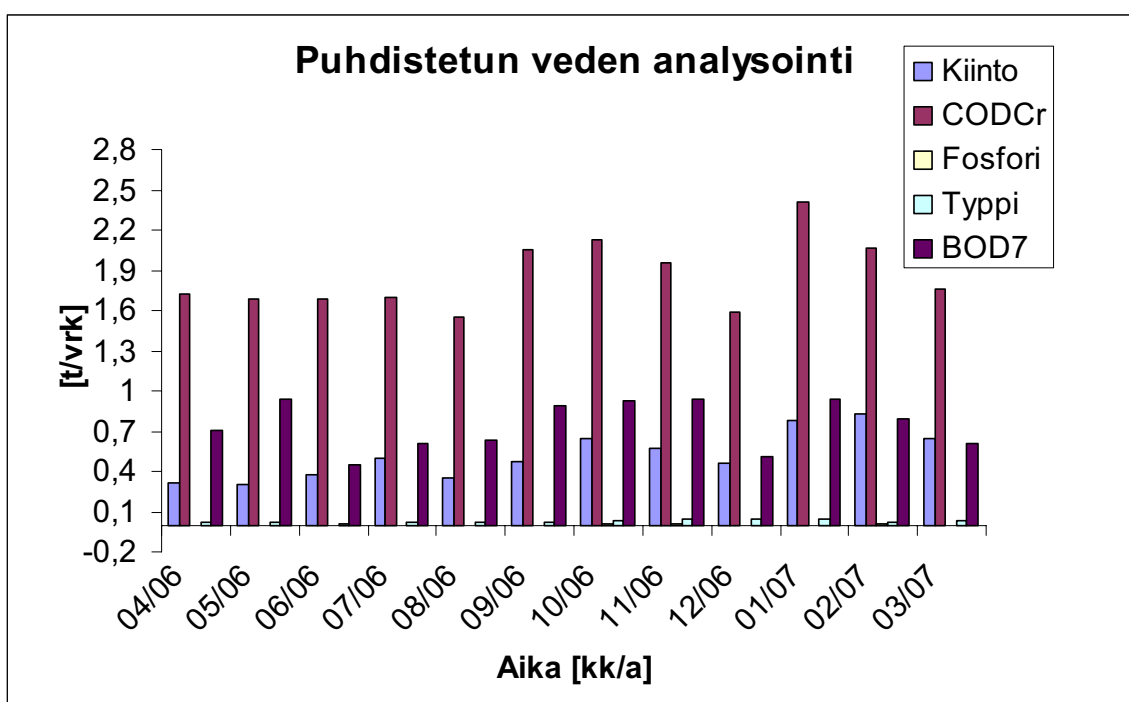
Puhdistetusta vedestä analysoidaan päivittäin sameus, pH, johtokyky, kiintoaine ja tuhka sekä COD_{Cr}. Lisäksi kuukauden keräilynäytteestä määritetään fosfori ja typpi sekä viikon keräilynäytteestä BOD₇. Analysoinnin mukaan vesistöön lasketun veden pH on $7,5 \pm 0,2$, johtokyky 98 ± 20 mS/m, kiintoaine $0,50 \pm 0,2$ t/vrk ja tuhkapitoisuus 25 ± 15 mg/l eli noin 42 ± 5 %.

Typen ja fosforin virtaamia vesistöön vertailtaessa havaitaan niiden määrien olevan hyvin vähäiset (kuva 13). Sama voidaan havaita taulukosta 5, jossa on esitetty typen ja fosforin kokonaisvirtaamat vesistöön Suomessa metsäteollisuudesta vuodelta 2005 ja muutos verrattuna vuoteen 2004.

Taulukko 5. Suomen metsäteollisuuden päästöt vesistöihin vuonna 2005 /2/

Parametri	2005 [t]	Muutos 2004/2005, [%]
Kiintoaine	14 027	-21
Biologinen hapenkulutus, BOD ₇	11 413	-17
Kemiallinen hapenkulutus, COD _{Cr}	155 140	-15
Fosfori, P	165	-10
Typpi, N	2 464	-3

Metsäteollisuuden aiheuttamat fosforipäästöt pienenevät vuodesta 2004 vuoteen 2005 kymmenen ja typen kolme prosenttiyksikköä /2/. Samasta taulukosta voidaan nähdä Suomen koko metsäteollisuuden osalta tippuneet kiintoaine-, BOD₇- ja COD_{Cr}-pitoisuudet. Kuvasta 13 voidaan havaita BOD₇ olevan vuoden vertailutasolla $0,7 \pm 0,15$ t/vrk ja COD_{Cr} $1,80 \pm 0,50$ t/vrk.



Kuva 13. Vesistöön lasketun veden analyysien keskiarvot aikajaksolta 1.4.06-31.3.07.

9 Häiriötekijöiden hallinta

Puhdistuslaitoksen toimivuuden kannalta on ihanteellista, että jätevedet virtaavat mahdollisimman tasaisesti jatkuvana virtaamana puhdistamolle, selkeytyskemikaalien annostelu tapahtuu virtaaman ja jäteveden sisältämän kuiva-ainepitoisuuden mukaan ja jätevesijakeet sisältävät riittävästi kuitua, jotta lietteen käsittely helpottuu sekä pastavesien esikäsittely tapahtuu lamelliselkeyttimellä. Tässä yhteydessä kartotettiin aluksi kemimekaanisen puhdistamon häiriötekijät. Puhdistamon toimivuuden parantamisen kannalta tiedettiin, että kemikaalien annosteluihin, lietteenkäsittelyyn ja jätevesien virtaamien hallintaan tulisi ainakin kiinnittää erityistä huomiota. Täten esikartoitusten pohjalta pystyttiin toteamaan seuraavaa:

1. Lamelliselkeyttimellä tulee tarkastaa alunan ja polymeerin annostelu. Lisäksi pastavesillä pitäisi olla massavirtamittari, joka yhdessä virtaamamittarin kanssa ohjaa kemikaalien syötöt. Pastavesien ajo lamelliselkeyttimelle jatkuvana virtauksena tulee selvittää, koska tällöin välttyään kemikaalien ns. turhasta annostelusta.
2. Alunan annostelu kuitupitoisen jäteveden joukkoon kannattaa tehdä yhdessä pisteessä, esimerkiksi puhdistamolla. Mikäli alunan annostellaan kartongin kuitukanaaliin jo tehtaan puolella, se kerkeää reagoimaan ”liikaa” ennen puhdistamolle tuloa, eikä täten toimi enää riittävän tehokkaana selkeytyskemikaalina. Alunan annostelun tapahtuessa yhteen kohtaan pienentyy vajaa annostelun riski.
3. Paperitehtaan vedet tulevat ryöppäyksittäin säiliön pinnan korkeuden mukaisesti. Puhdistamon toiminnan kannalta on tärkeää virtauksen tasaaminen. Lisäksi pastavesillä tulee olla massavirtamittaus.
4. Lietteen käsittely ongelmallista: lieteraina nousee ohuena mattona viiralle. Se ei myöskään irtoa helposti viiralta ja siksi pesuissa joudutaan käyttämään paljon suihkutusvettä. Lieterainan ollessa hyvin ohut, se muodostaa ohuen kalvon viirakankaan ala- ja yläpuolelle. Lisäksi liete aiheuttaa merkittäviä hajuhaittaongelmia puhdistamolle.

5. Näytteenottopisteissä tulee suorittaa keräilyastioitten jatkuva puhdistus ja vesistöön laskevan veden näytteenotin tulee säilyttää jääkaapissa, sillä näyteastiassa voi tapahtua mikrobitoimintaa, mikäli se säilytetään liian lämpöisessä (vaikutus COD_{Cr}).

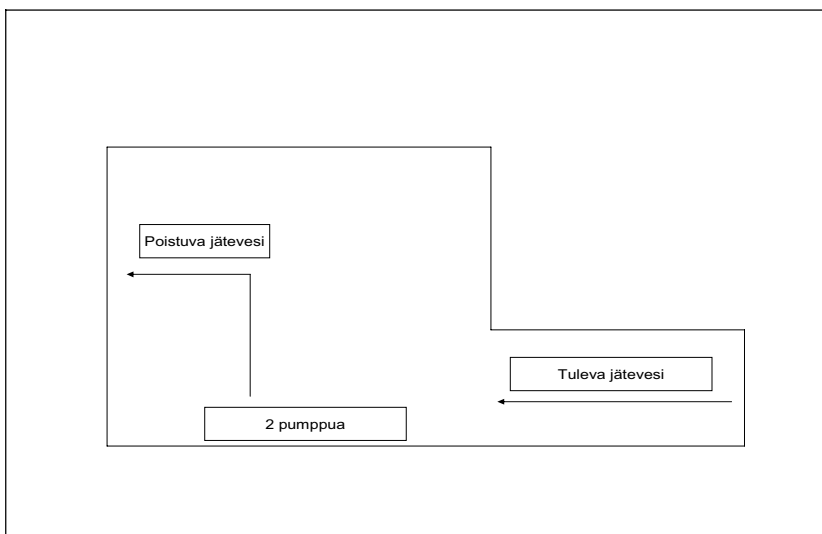
Selkeytyskemikaalien tarve: Alunan ja polymeerin annostelun tarve jätevesille ja lietteelle selvitettiin ns. flokkikokeilla, joista osa tehtiin itse ja osa kemikaalintoimittajien toimesta. Jätevesien laboratoriokokeissa tavoitteena on saavuttaa neutraalin pH:n läheisyydessä mahdollisimman alhainen sameuden arvo. Kartonki- ja paperitehtaanvesille tehtyjen flokkikokeitten tuloksia on esitetty liitteessä 5. Kyseiset kokeet on tehty laboratoriossa ns. kuppikokeina, joissa ensin haetaan alunan optimiannos. Alunaa on annosteltu oikea määrä silloin, kun pH on lähellä neutraalia ja sameus on mahdollisimman alhainen. Mikäli alunaa annostellaan liikaa, pH tippuu voimakkaasti happaman puolelle, joka myös samalla kasvattaa kirkasteen sameutta. Alunan annostelun jälkeen samalla periaatteella haettiin polymeerin optimiannos. Kuppikokeita tehtäessä sekoituksen tulee jokaisessa olla samanlainen ja polymeerin lisäys alunaan nähden tulee olla yhtä pitkällä viiveellä. Lisäksi flokkien annetaan laskeutua tietyn ajan jakson ennen sameuden ja pH:n mittausta.

Lietteen käsittelyn helpottamista polymeerillä selvitettiin myös laboratorio kokeilla. Kyseiset kokeet suoritettiin käyttäen kahta litran muovikannua. Toisessa kannussa oli polymeeriä tietty määrä (kg polymeeriä/tDS liete) ja toisessa oli itse liete. Kannujen avulla lietettä ja polymeeriä sekoitettiin vakioaika ja muodostuneet flokit ja vapaa vesi suodatettiin käytössä olevan viiran lävitse. Muodostuvaa kirkastetta eli vapaata vettä suodatettiin vakio aika ja kirkasteesta mitattiin sameus. Tavoitteena lietteen käsittelyssä on flokin muodostuminen, riittävän alhainen sameus ja helposti suodattava vapaa vesi. Lisäksi muodostuvan katusavikakun tulee irrota helposti viiralta.

Hajuhaittaongelmat: Puhdistamon hajuhaittaongelmiin kiinnitettiin heti alussa huomiota. Aikaisemmin oli tehty altistumisselvitys jäteveden puhdistamossa, jossa oli mm. kartoitettu haju- ja meluhaittoja /34/. Hajuhaittoja lähinnä aiheuttaa rikkivedyn ajoittainen

esiintyminen puhdistuslaitoksen ilmassa. Kuitenkin sen esiintyminen tutkimuksen perusteella todettiin hyvin vähäiseksi, vaikka rikkivedyn tiedetään jo pienissäkin pitoisuuksissa olevan ihmisen terveydelle haitaksi. Toisaalta rikkivety laskeutuu alaspäin ja puhdistamon kellarikerroksessa sijaitsevat monet pumput, joita tarvitsee huoltaa säännöllisesti. Kellarikerroksessa työskentely todettiin tutkimuksessa ihmisen terveydelle haitalliseksi.

Puhdistamon hajuhaittojen aiheuttajaksi epäiltiin puhdistamon alapuolista pumppausallasta. Altaan kaaviokuva on hahmoteltu kuvaan 14, josta voidaan nähdä mikrobien mahdollisuus mädäntää tulevaa jätevettä altaan oikeaan yläreunaan. Lisäksi pumppausaltaasta tiedetään, ettei siinä ole lainkaan sekoitusta, mikä lisää riskiä jäteveden kerääntymiselle yhteen kohtaan ja näin ollen aiheuttaa hajuhaittoja. Jätevettä voi liikuttaa ainoastaan pumpuista johtuva paine/ilmavirta.



Kuva 14. Pumppausaltaan kaaviokuva, jossa jätevesi tulee kapeaan osaan ja keskiosasta kaksi pumppua pumppaa sen yläkautta ylös.

Hajuhaitta ongelmien ratkaisemiseksi on tärkeää pumppausaltaan tyhjentäminen kokonaan ja maanalaisen altaan avaaminen ongelmien selvittämiseksi. Samalla saadaan varmuus siitä, onko pumppausallas ongelmien aiheuttaja ja altaaseen voidaan

asentaa sekoittaja. Lietteiden mahdollisimman nopea käsittely myös vähentää hajuhaittojen muodostumisen mahdollisuutta.

Liete: Lietteiden nopean käsittelyn haasteena on imusuotimien toimiminen entistä tehokkaammin. Lietteiden käsittely tapahtuu suhteellisen hitaasti, koska raina nousee ohuena mattona imusuotimen viiralle ja sen irrottamiseen käytetään voimakkaita irrotussuihkuja. Käytössä oleva viira (taulukko 3) on riittävän tiheää ja siitä rainan irtoaminen tapahtuisi helpommin, mikäli raina olisi paksumpi. Rainan paksuutta ja veden poiston parantuvuutta voidaan kasvattaa joko lisäämällä lietteiden sekaan kuitua tai käsittelemällä sitä polymeerillä, joka tekee siitä viskoottisemman.

Lietteiden veden poiston parantuvuudelle laboratorio kokeita tekivät Ciba ja Kemira. Molempien tekemien testien perusteella lievästi anioninen tai nonioninen polymeeri flokkaa parhaiten kyseistä lietettä. Tämä johtuu osittain siitä, että molemmissa tehtaissa muodostuvat jätevedet ovat anionisia ja niitä käsiteltäessä alunalla ne muuttuvat kationisiksi. Seuraavaksi niihin lisätään polymeeriä (muuttuvat osittain anionisiksi), mutta vielä lietteessä saakka ilmenee alunan vaikutus ja lievästi kationista lietettä flokkaa lievästi anioninen tai nonioninen polymeeri parhaiten.

Lisäksi kuitusaven muuttumista tarkasteltiin johtamalla huhtikuun ajan paperitehtaan jätevedet biologiselle puhdistamolle, jolloin kemimekaaniselle jätevedenpuhdistamolle tuli ainoastaan kartonkitehtaan jätevedet. Tällöin kuitusavi muuttui vielä hienommaksi, koska paperitehtaan vesien mukana tulee kuitenkin tietyssä määrin kuitua, erityisesti sellukoivua. Itse asiassa molemmista tehtaista tulee yhtä paljon kuitua, mutta paperitehtaan kuitu on sellukoivua, joka sitoo lietteestä enemmän vettä. Tilanne palautui entiselleen, kun paperitehtaan jätevedet käännettiin takaisin. Molempien tehtaiden vesien tullessa puhdistamolle, imusuotimen kuitusaven voi nähdä muodostuvan paksumpana rainana. Paperitehtaan jätevesien mukana tuleva kuitu sitoo itseensä enemmän vettä sekä sitoo kuitusavimöykät tiiviimmin toisiinsa, jolloin muodostunut kuitusavi on jatkokäyttöä ajatellen käyttökelpoisemmassa muodossa.

Näytteenottopisteet: Tämän tutkimuksen aikana kiinnitettiin huomiota myös näytteenottopisteisiin. Vesistöön lähtevän veden näytteenottopiste sijaitsee puhdistamolla valvomon edessä toisen imusuotimen välittömässä läheisyydessä. Sijainti näytteenottopisteelle ei ole paras mahdollinen, sillä ympäristö näytteen suhteen on epämääräinen. Aluksi näytekeräimenä oli saavi, jota sekoitettiin manuaalisesti näytettä otettaessa metallisella sekoittimella. Sekoitin säilytettiin epäsiistissä ympäristössä suotimien alapuolella. Keräilyastiaksi vaihdettiin jääkaapissa säilytettävä suuri kanisteri. Näin ollen näyte säilyy kylmässä ja mikrobien toiminta on estynyt. Kuitenkin näytekeräimenä tulisi olla sekoittajalla varustettu keräilyastia, jottei näytteen sekoitusta tarvitsisi tehdä manuaalisesti.

Paperitehtaan virtaamaan tasaaminen: Vesien epätasaista virtausta aiheuttavat lähinnä pastavedet ja niiden muodostuminen on vähentynyt noin 23 % ultrasuodatuksessa muodostuvan konsentraatin hyötykäytön ansiosta. Näin ainoastaan pastojen ylijooksut ajautuvat kuitupitoisten vesien kanssa samaan kanaaliin. Tämä on myös riippuvainen paperikoneella valmistettavista tuotteista, sillä toiset vaativat paksumman päällysteen johon konsentraattia ei voida hyödyntää. Virtaamat ovat osittain tasaantuneet venttiilivaihdosten myötä.

Valvonta: Häiriötekijöiden hallinnan kannalta olisi tärkeää valvonnan lisääminen. Kameravalvonnalla seurataan tällä hetkellä selkeytinallasta, lietelinjaa ja lietelavaa. Kuitenkin valvontakameroiden avulla voitaisiin lisätä seuranta esimerkiksi lamelliselkeyttimen flokkausaltaalle (flokkin muodostus), vesistöön laskevalle vedelle ja kartongin kuitukanaalin puhdistamon puolelle. Lisäksi jatkuvassa valvonnassa tulisi olla tulevaisuudessa hankittavat massavirtamittarit, samoin kuin pH-mittarit tulisi saada kalibroinnin piiriin.

10 Johtopäätökset ja jatkotutkimuksien tarve

Häiriötekijöitä aiheuttaviksi tekijöiksi todettiin puhdistamon kannalta jätevesien virtausten epätasaisuudet, paperitehtaan pastavesien kulkeutuminen kuitupitoisten jätevesien joukkoon, selkeytyskemikaalien annostelun virheellisyys ja lietteen kuidun vähäisyys ja siten sen suora vaikutus lietteen kuiva-ainepitoisuuteen sekä käsittelyn hankaluuteen. Lisäksi pienempinä tekijöinä havaittiin näytteenottopisteiden epäsiisteys, mittausten/näytteidenoton oikeellisuuden varmistaminen sekä pH- ja johtokyky-mittareiden kalibroimattomuus.

Puhdistamon toimintaan vaikuttaa voimakkaasti virtauksien epätasaisuudet. Eniten virtaaman poikkeamia ilmenee pastavesien osalla. Kartonkitehtaalla pastaveden ohjaus tapahtuu säiliön pinnan korkeuden mukaan ja tämän takia vedet tulevat jaksotetusti lamelliselkeyttimelle sekä vaikuttavat kemikaalien annostuksiin. Vastaavasti paperitehtaan pastapitoiset vedet ovat aiheuttaneet paperitehtaan vesille virtaamien epätasaisuuksia, koska ne ohjataan samaan putkistoon kuitupitoisten jätevesien kanssa. Ongelma on saatu tasoitettua ultrasuodattimen käyttöönotolla ja pastapitoiset vedet voidaankin lähes kokonaisuudessaan palauttaa takaisin prosessinkiertoon. Lisäksi paperitehtaan jätevesien virtaamat ovat tasoittuneet venttiilimuutosten avulla.

Paperi- ja kartonkitehtaissa muodostuva jätevesi on anionista ja kyseisiä jätevesiä käsitellään ensin alunalla, jolloin vedet muuttuvat kationisiksi. Tämän vuoksi niitä flokataan lievästi anionisella polymeerillä. Laboratoriokokeet osoittivat käytössä olevan lievästi anionisen polymeerin flokkaavan parhaiten lietettä. Vastaavasti kuitupitoiset jätevedet flokkaantuivat hieman paremmin anionisemmalla polymeerillä kuin mitä tällä hetkellä on käytössä oleva polymeeri. Esikokeitten perusteella käytössä olevat selkeytyskemikaalit on voitu todeta olevan oikeanlaiset.

Tutkimuksen alussa paperitehtaalla ei ollut ultrasuodin käytössä, jonka avulla tänä päivänä pastapitoiset jätevedet voidaan melko tarkasti palauttaa uudelleen tuotannon käyttöön. Kuitenkin ultrasuotimen konsentraattia ei voida aina hyödyntää ja tällöin

pastapitoisia jätevesiä virtaa kuitupitoisten jätevesien kanssa puhdistamolle. Kun pastapitoisia jätevesiä on paperitehtaan kokonaisjätevesivirtaamassa, jätevesi vaatii 400-600 g/m³ alunaa koaguloituakseen ja polymeeriä 4-8 g/m³ flokkautuakseen. Vastaavasti kun paperitehtaan jätevesivirtaama sisältää vain kuitupitoista jätevettä tai hyvin vähän pastapitoista jätevettä, alunaa tarvitaan 75-125 g/m³ ja polymeeriä 2-4 g/m³. Kemikaalien annostukset ovat vastaavat kuin kartonkitehtaan kuitupitoiselle jätevedelle.

Kuitusaven loppusijoituksen kannalta on tärkeää saavuttaa riittävän korkea, yli 30 %:n kuiva-ainepitoisuus. Kuiva-ainepitoisuus on riittävän korkea esimerkiksi seisokkien aikana, jolloin yleensä kuitua virtaa keskivertoa enemmän puhdistamolle ja lietteen käsittely helpottuu. Samankaltaisia tilanteita tuli tutkimuksen aikana vastaan useamman kerran, jolloin lietteen käsittely oli jaksotetusti ongelmallista. Mikäli molempien tehtaiden vedet virtaavat puhdistamolle, liete vaatii polymeeriä 0,5-1,0 kg/tDS flokkautuakseen ja tällöin kuitusaven kuiva-ainepitoisuus on riittävän korkea. Vastaavasti, kun paperitehtaan vedet kuukauden mittaisen koeajojakson ajan johdettiin biologiselle puhdistamolle, lietteen vaatima polymeerin määrä nousi yli kaksinkertaiseksi eli arvoon 2-4 kg/tDS. Paperitehtaan vesien virratessa puhdistamolle, niiden mukana tulee enemmän sellukoivua, joka sitoo runsaammin kosteutta lietteestä kuin kartonkitehtaan sisältämät kuitujakeet. Tästä syystä paperitehtaan jätevesien virratessa puhdistamolle lietteen käsittely helpottuu ja liete vaatii polymeeriä vähemmän flokkautuakseen.

Tutkimuksen alussa näytteiden oton ja näytepisteiden siisteys eivät olleet riittävän hyvät. Tämän ratkaisemiseksi näytteenottoa ohjeistettiin, näytepisteitä puhdistettiin säännöllisesti ja vesistöön lähtevän näytepisteen näytekeräin siirrettiin säilytettäväksi jääkaapissa, mikä on myös ympäristökeskuksen vaatimus mikrobitoiminnan ehkäisemiseksi.

Suosittelaviksi jatkotoimenpiteiksi ja -tutkimuksiksi tämän tutkimuksen perusteella nousivat alunan annostelun siirtäminen yhteen pisteeseen, vesistöön lähtevän näytepisteen varustaminen sekoittajalla ja hanalla sekä hajuhaittaongelmien

ratkaiseminen. Lisäksi häiriötekijöiden hallinnan kannalta tulee olemaan tärkeää valvonnan lisääminen esimerkiksi kameroiden turvin.

Alunan annostelulla kahdessa pisteessä ei ole saavutettu toivottua parannusta vesistöön laskevan veden sameudessa ja siksi kyseisen kemikaalin annostelun tulisi tapahtua yhdessä pisteessä. Vesistöön lähtevän näytekeraimen varustaminen sekoittajalla korostuu näytteen oikeellisuuden varmistamiseksi. Tällöin näytteenoton oikeellisuus samalla varmentuu. Hajuhaittaongelmat aiheuttavat puhdistamon työntekijöille työturvallisuusriskin, sillä rikkivety jo varsin pienissä pitoisuuksissa on haitallista ihmisen terveydelle. Pumppausaltaan perusteellinen tyhjentäminen ja puhdistaminen tulee suorittaa pidemmän seisokin, kuten esimerkiksi juhannusseisokin, yhteydessä. Samalla kyseiseen altaaseen voidaan asentaa toivottu sekoitus jatko-ongelmien vähentämiseksi. Lamelliselkeyttimen jatkuva toiminnan seuraaminen on myös tärkeää, mikä voidaan ratkaista kameravalvonnalla. Lisäksi suositeltava jatkotoimenpide on polymeerin ajaminen lietteen joukkoon silloin, kun se sisältää vähän kuitua. Puhdistamon polymeerin liuotuslaitteiston kapasiteetti on riittävän suuri valmistamaan polymeeriliuosta sekä jätevesien että lietteen flokkaukseen.

11 Viitteet

1. Hynninen, P., *Environmental Control, Papermaking Science and Technology 19*, Jyväskylä, Finland, 1998, s. 13-26, 43-55, 109-132.
2. Anon., Suomensellu- ja paperiteollisuuden tuotanto ja jätevesikuormitus, Metsäteollisuus ry, <http://www.metsateollisuus.fi/infokortit/tilda/Sivut/default.aspx>, (luettu 27.3.2007).
3. Edelmann, K., VTT, http://www.tekes.fi/julkaisut/cactus_loppu/tausta.html, (luettu 22.2.2007).
4. Ukkonen, M., *Metsäteollisuuden jätevesien häiriöpäästöt ja niihin varautuminen*, Kaakkois-Suomen ympäristökeskus, Kouvola, 2005.
5. Anon., Compact Settling with the Johnson Lamella separator, http://www.vodapro.fi/user_data/Esitteet/lamella_eng.pdf, (luettu 22.2.2007).
6. Anon., Oy Watman Ab (tuotteet), http://www.watman.fi/teol/tuote_lamell.htm, (luettu 22.2.2007).
7. Anon., Hydropress Huber Suomi, Huber Painefloataatiolaitte HDF, <http://www.hydropresshuber.fi>, (luettu 22.2.2007).
8. Anon., Pomiltek, Ruuvivälppä, <http://www.pomiltek.com/42.html>, (luettu 23.2.2007).
9. Anon., Tramfloc Polymer Technology, <http://www.tramfloc.com/tf29t.html>, (luettu 21.3.2007).
10. Anon., Polyaluminium Chloride (PAC) Technology, <http://www.enco.ch/pac.htm>, (luettu 6.3.2007).
11. Anon., Polyaluminum Chloride, <http://www.chemicaland21.com/industrialchem/inorganic/POLYALUMINIUM%20CHLORIDE.htm>, (luettu 6.3.2007).
12. Anon., Mini-Encyclopedia of Papermaking Wet-End Chemistry, Polyaluminium Chloride (PAC), <http://www4.ncsu.edu/~hubbe/PAC.htm>, (luettu 6.3.2007).
13. Anon., Bentoniitti, <http://www.salvor.fi/palvelut/kaatopaikat/eristemateriaalit/bentoniitti.htm>, (luettu 20.3.2007).

14. Anon., Horn, H., Bentoniitin ominaisuudet, http://www.tkk.fi/Units/AES/courses/crspages/tfy170_00/03_bentoniitti.pdf, (luettu 20.3.2007).
15. Anon., Organic coagulant, http://www.alibaba.com/catalog/11080467/Organic_Coagulant.html, (luettu 21.3.2007).
16. Anon., Coagulants, polyelectrolytes and coagulant aids, <http://www.usace.army.mil/publications/eng-manuals/em1110-1-4012/chap8.pdf>, (luettu 21.3.2007).
17. Anon., Mini-Encyclopedia of Papermaking Wet-End Chemistry, Aluminium Sulfate, <http://www4.ncsu.edu/~hubbe/ALUM.htm>, (luettu 15.3.2007).
18. Neimo, L., *Papermaking Chemistry, Papermaking Science and Technology 4*, Jyväskylä, Finland, 1999, s. 95-113, 268-276, 284.
19. Anon., Importance of flocculant preparation for use in solid/liquid separation, Waste management and productivity enhancement, Battelle press, Columbus, Ohio, 1990, p. 289-304, 9 fig, 1 tab, 21 ref.
20. Anon., Ciba, käyttöturvallisuustiedote, 18.2.2003.
21. Norman, P., Seddon, R., Pollution control in the textile industry – the chemical auxiliary manufacturer's role, *JSDC*, vol 107, 1991 s. 215-218, <http://www.p2pays.org/ref/11/10217.pdf>, (luettu 20.3.2007).
22. Aaltonen, T., *Kuitusavien maarakennuskäyttö ja laaduntarkkailun kehittäminen*, diplomityö, Tampereen teknillinen korkeakoulu, Ympäristötekniikan osasto, 2001.
23. Ojanen, P., *Sellu- ja paperitehtaiden kuitusavien käsittely ja hyötykäyttö sekä niitä rajoittavat tekijät*, Kaakkois-Suomen ympäristökeskus, Kouvola, 2001.
24. Finncao-kuitusavet pintarakenteiden tiivistekerroksissa, Suunnittelu- ja mitoitusohje. 2001.
25. Kovanen, U.-M., suullinen tiedonanto, 3.4.2007.
26. Anon., Aqwa Engineering Oy, PMF/PMP -mallinen suotonauhapuristin kuituliettelelle, <http://www.netti.fi/~aqwa/pmfs.htm>, (luettu 17.6.2007).
27. M-real Äänekoski Paper, EMAS, ympäristöselonteko 2006-2008.

28. M-real, Botnia, Äänekosken integraatin jätevesien käsittelyn ympäristölupahakemuksen selvitysosa, 2004.
29. M-real Oyj, M-real Äänekoski Board, Ympäristölupahakemus, 2004.
30. Paulapuro, H., *Paper and board grades*, *Papermaking Science and Technology 18*, Jyväskylä, Finland, 2000, s. 58-61.
31. Anon., Suomen Standardisoimisliitto SFS 3215, Paperisanasto, 1975.
32. M-real Oyj, M-real Äänekoski Paper, Ympäristölupahakemus, 2004.
33. Liimatainen, M., Työnopastusohje, *Prosessivesien puhdistus*, Äänekoski Board, 2003.
34. Nousiainen, P., Altistumisselvitys jäteveden puhdistamossa, Äänekoski Board, 2006, julkaisematon.

12 Liitteet

Liite 1: Äänekosken jätevesien tarkkailukaavio

Liite 2: Kemimekaanisen puhdistuslaitoksen PI-kaavio

Liite 3: Jätevesien virtaamat kemimekaaniselle jätevedenpuhdistamolle (3 sivua)

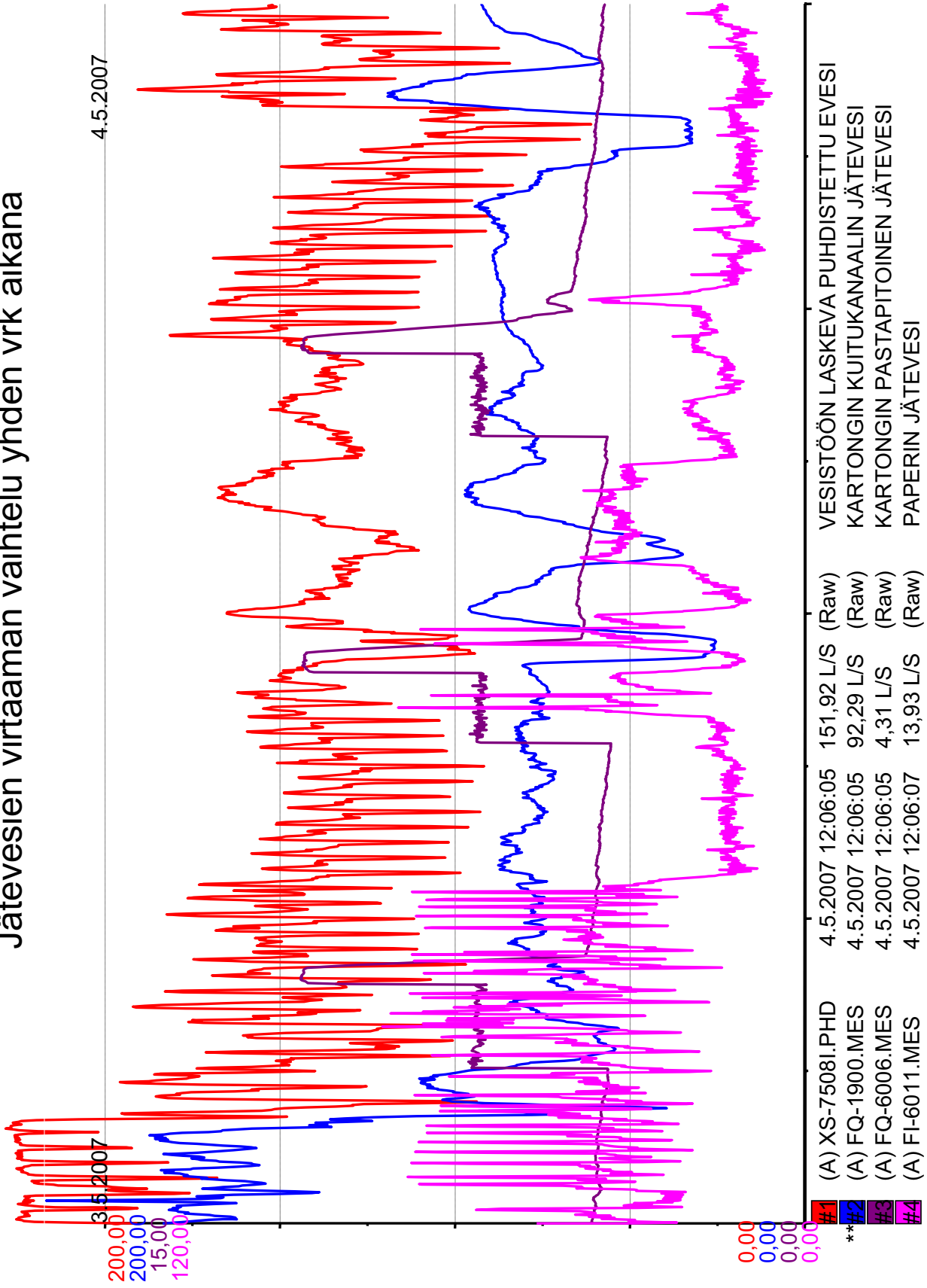
Liite 4: Jätevesien virtaamien vaihtelu yhden vuorokauden ajalta

Liite 5: Selkeytyskemikaalien kulutuksia jätevedelle ja lietteelle

Pvm	Kartongin kuitupit. jätevesi m ³ /vrk	Kartongin pastapitoinen jätevesi m ³ /vrk	Pap.tehtaan jätevesi m ³ /vrk	Kem. puhd. vesi m ³ /vrk	Puhdistamolle tuleva jätevesi m ³ /vrk	Vesistöön laskeva vesi m ³ /vrk
Keskiarvo 07/06	4321	485	2100	1422	8328	9347
Minimi	2766	369	0	1393	6396	6950
Maksimi	5884	681	3416	1457	10 151	11 089
Summa	133 947	15 031	65 105	44 077	258 159	289 766
Keskiarvo 08/06	3749	623	2214	1442	8027	8005
Minimi	2256	551	1366	1407	6629	6352
Maksimi	5533	757	3114	1543	9543	10 023
Summa	116 207	19 313	68 617	44 702	248 839	248 150
Keskiarvo 09/06	3746	611	1945	1419	7721	9329
Minimi	2491	225	0	1375	5553	5603
Maksimi	7455	698	3252	1497	11 096	12 749
Summa	112 380	18 322	58 357	42 575	231 634	279 861
Keskiarvo 10/06	3712	570	2205	1392	7878	10 648
Minimi	1242	529	1178	1323	4896	6735
Maksimi	5586	651	3058	1485	10 480	12 841
Summa	115 079	17 659	68 340	43143	244 221	330 076
Keskiarvo 11/06	4585	574	2138	1240	8537	10 806
Minimi	1646	531	1280	0	4985	7335
Maksimi	6788	618	3455	1397	10 920	13 026
Summa	137 538	17 228	64 127	37 209	256 101	324 186
Keskiarvo 12/06	4592	532	1775	1292	8190	10 064
Minimi	1345	401	0	694	3859	5130
Maksimi	7389	608	3900	1362	10 893	12 782
Summa	142 337	16 483	55 027	40 051	253 898	311 968
Keskiarvo 01/07	4834	580	2670	1270	10 917	11 725
Minimi	1535	495	1316	1194	8459	8953
Maksimi	6724	650	4129	1341	13 645	13 868
Summa	149 854	17 970	82 768	39 373	338 413	363 473
Keskiarvo 02/07	4544	613	2012	1305	10 560	10 865
Minimi	3068	573	1395	1252	8924	9288
Maksimi	5866	718	2470	1348	12 241	12 558
Summa	127 223	17 160	56 329	36 547	295 676	304 232

Pvm	Kartongin kuitupit. jätevesi m³/vrk	Kartongin pastapitoinen jätevesi m³/vrk	Pap.tehtaan jätevesi m³/vrk	Kem. puhd. vesi m³/vrk	Puhdistamolle tuleva jätevesi m³/vrk	Vesistöön laskeva vesi m³/vrk
Keskiarvo 03/07	4278	511	1862	1295	9906	9956
Minimi	3123	388	0	1203	6180	6598
Maksimi	5903	624	3335	1339	12 049	11 856
Summa	132 604	15 835	57 717	40 134	307 099	308 644
Kaikki yhteensä						
Keskiarvo	4238	573	2080	1307	8686	9744
Minimi	1242	225	0	0	3110	1807
Maksimi	7455	794	5164	1685	13 645	13 868
Summa	1 530 072	207 001	759 216	417 783	3 135 747	3 517 669

Jätevesien virtaaman vaihtelu yhden vrk aikana



Flokkikokeet kartonkitehtaan kuitupitoiselle jätevedelle					
	Alunaa 100	Polymeeri 0,02			
Näyte	Aluna, [g/m ³]	Polym., [g/m ³]	Laskeutuminen	pH	Kiinto, [NTU]
1	50	2	hidas, löyhä	7,3	15,6
2	100	2	hidas, löyhä	7,0	15,0
3	200	2	hidas, löyhä	6,7	7,3
4	250	2	hidas, löyhä	6,4	9,8
5	100	1	hidas, löyhä	6,9	8,0
6	100	2	hidas, löyhä	7,0	9,5
7	100	4	hidas, löyhä	7,0	8,7
8	100	1	hidas, tiheä	6,6	10,8
9	100	2	hidas, tiheä	6,4	9,2
10	100	3	hidas, tiheä	6,8	12,3

Flokkikokeet kartonki- ja paperitehtaan jätevesille					
Jätevesiä sekoitettu puhdistamolle tulevien virtaamien suhteessa. Paperitehtaalla ultrasuodin ei käytössä.					
	Alunaa 100	Polymeeri 0,02			
Näyte	Aluna, [g/m ³]	Polym., [g/m ³]	Laskeutuminen	pH	Kiinto, [NTU]
1	200	2	hidas, tiheä	7,1	36,4
2	250	2	hidas, tiheä	7,0	29,0
3	400	2	hidas, löyhä	6,8	14,9
4	500	2	hidas, löyhä	6,7	7,4
5	400	1	hidas, tiheä	6,8	25,8
6	400	2	nopea, löyhä	6,8	27,8
7	400	4	nopea, löyhä	6,8	7,5
8	400	5	nopea, löyhä	6,6	22,4
9	400	6	nopea, löyhä	6,8	8,4
10	400	8	nopea, löyhä	6,6	52,0

Flokkikokeet paperitehtaan kuitupitoiselle jätevedelle (mukana pastapitoisia vesiä)					
	Alunaa 100	Polymeeri 0,02			
Näyte	Aluna, [g/m ³]	Polym., [g/m ³]	Laskeutuminen	pH	Kiinto, [NTU]
1	300	4	nopea, tiheä	-	> 1000
2	400	4	nopea, tiheä	-	> 1000
3	500	4	nopea, löyhä	-	72,4
4	600	4	nopea, löyhä	-	> 1000
5	700	4	nopea, löyhä	-	> 1000
6	500	2	nopea, löyhä	6,8	33,2
7	500	4	nopea, löyhä	7,0	10,9
8	500	6	nopea, löyhä	7,0	43,3
9	500	8	nopea, löyhä	7,0	15,8
10	500	10	nopea, löyhä	7,0	24,1