

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU  
Kemiantekniikan koulutusohjelma

Tutkintotyö

Johanna Hautamäki

LIPEÄPEITTAUKSEN JÄLKEISTEN HUUHTELUVESIEN LIKAANTUMINEN JA SEN  
VAIKUTUS ALUMIINIPROFIILIEEN PÖLYYNTYMISEEN

Työn valvoja  
Työn teettäjä  
Tampere 2007

Lehtori Anne Ojala  
Mäkelä Alu Oy, Ympäristöpäällikkö Matti Korkea-aho

# TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU

Kemiantekniikka

Hautamäki, Johanna

Lipeäpeittauksen jälkeisten huuhteluvesien likaantuminen ja sen vaikutus alumiiniprofiilien pölyyntymiseen

Tutkintotyö

50 sivua + 6 liitesivua

Työn ohjaaja

Lehtori Anne Ojala

Työn teettäjä

Mäkelä Alu Oy, ohjaajana ympäristöpäällikkö Matti Korkea-aho

Tampere 2007

Hakusanat

alumiini, anodisointi, elektrolyysi, jätevedenkäsittely, kalvosuodatus, pintakäsittely

## TIIVISTELMÄ

Mäkelä Alu Oy:n anodisointilaitoksella pintakäsitellään alumiiniprofiileja anodisoimalla. Prosessilinja on allasrivi, jossa profiilin käsittely tapahtuu automaattisesti kastokylpyperiaatteella. Anodisointiprosessissa kuluu paljon vettä, joka käsitellään omassa jätevedenpuhdistamossa. Alumiiniprofiileissa on esiintynyt pölyä jo pidemmän aikaa, eikä syytä pölyyntymiseen ole vielä löydetty.

Työn tavoitteena oli tutkia lipeäpeittauksen jälkeisten huuhteluvesien likaantumista ja sen vaikutusta alumiiniprofiilien pölyyntymiseen. Lisäksi työssä on pohdittu erilaisia keinoja vedenkulutuksen pienentämiseksi.

Työssä käydään läpi anodisointilaitoksen käsittelyprosessit ja jätevedenpuhdistamon prosessit. Lisäksi esitellään huuteluvesien alumiinipitoisuuden määrittämisessä käytettyä AAS-tekniikkaa ja sillä saatuja tuloksia. Lopuksi perehdytään erilaisiin menetelmiin ja laitteisiin, joilla vedenkulutusta voidaan vähentää pintakäsittelyteollisuudessa.

Analyysitulosten perusteella profiilien pölyntyminen ei johdu lipeäpeittauksen jälkeisistä huuhteluista. Kirjallisuuden perusteella syytä kannattaa etsiä jälkitiivistyksestä. Tekemällä pieniä parannuksia anodisointilinjalla vedenkulutukseen voidaan hieman vaikuttaa. Kalvosuodatusmenetelmistä erityisesti nanosuodatuksen kehittymistä kannattaa seurata tulevaisuudessa.

TAMPERE POLYTECHNIC

Chemical Engineering

Hautamäki Johanna

Bachelor thesis

Supervisor

Commissioned by

Tampere 2007

Keywords

The effect of dirty rinse waters on dust layer on aluminium profiles

50 pages + 6 appendices

Anne Ojala

Mäkelä Alu Oy, supervisor; environmental manager Matti Korkeaho

aluminium, anodizing, electrolysis, membrane filtration, surface treatment, wastewater treatment

## ABSTRACT

In Mäkelä Alu Oy anodizing plant the surfaces of aluminium profiles are treated by anodizing. The process consists of pools where profiles are treated automatically by dipping into the different process solutions and after them into the rinsing water. In the anodizing process a lot of water is used which is cleaned in the own wastewater plant. Dust has been found on profiles for a longer time but the cause of dust has not yet been discovered.

The aim of this thesis was to study how the rinse waters after etching get dirty and to study if the rinse waters get the profiles dusty. It has also been thought about different methods to decrease water consumption.

In this thesis the process of the surface treatment plant and the process of the wastewater plant have been looked through. The AAS-technique, which has been used in analyzing the aluminium concentration of the rinse waters, has been presented. In the end of the thesis different methods and equipment, which reduce water use, have been introduced.

On the basis of analysis the rinse waters after etching do not cause the dust on profiles. According to professional literature the causes might be found in the sealing process. By making some small improvements in anodizing process the water consumption can be reduced a little bit. In the future it is important to follow the development of the nanofiltration technique.

## LYHENTEIDEN JA SANOJEN SELITYKSET

<i>Absorptio</i>	ilmiö, jossa aine imee itseensä kaasuja tai nesteitä
<i>Absorbanssi</i>	valon imeytymistä aineeseen kuvaava luku esimerkiksi spektrofotometriassa
<i>Adsorptio</i>	ilmiö, jossa aine imeytyy, tiivistyy tai kiteytyy toisen aineen pinnalle
<i>Diffundoitua</i>	sekoittua, laajeta, levitä
<i>Exit-spray</i>	pienestä suuttimesta tuleva tasainen suihku
<i>HELCOM-suositus</i>	Helsingin komission antama suositus jätevedestä määritettävien metallien pitoisuuksille
<i>Kopolymeeri</i>	kahden tai useamman polymeerin yhdiste
<i>Parametri</i>	toimintaa tai käsittelyä ohjaava ennalta annettu suure, esimerkiksi lämpötila
<i>pH</i>	happamuus, kuvaa liuoksen positiivista vetyioniväkevyttä, $pH = -\log_{10} [H_3O^+]$
<i>Polymeeri</i>	pitkäketjuinen molekyyli, joka koostuu useasta pienestä samanlaisesta molekyylistä eli monomeeristä
<i>Suspendoitua</i>	sekoittua veteen tai muuhun väliaineena toimivaan nesteeseen
<i>Synteettinen</i>	keinotekoisesti tuotettu
<i>VTT</i>	Valtion teknillinen tutkimuskeskus

## **ALKUSANAT**

Tämän tutkintotyön ohjaajana toimi Mäkelä Alu Oy:n ympäristöpäällikkö Matti Korkea-aho. Työn valvojana toimi Tampereen ammattikorkeakoulun lehtori Anne Ojala.

Kiitän kaikkia, jotka ovat auttaneet minua tämän tutkintotyön tekemisessä. Kiitän Matti Korkea-ahoa, Pekka Yli-Hemminkiä, Sami Moilasta ja Anne Ojalaa tiedoista ja opastuksesta. Koulukavereita, ystäviä, kotiväkeä ja avopuolisoa kiitän kannustamisesta ja tuesta.

Tampereella 8. toukokuuta 2007

Johanna Hautamäki

## SISÄLLYSLUETTELO

1 JOHDANTO .....	8
2 ALUMIINI .....	9
2.1 Ominaisuudet .....	9
2.2 Alumiiniseokset .....	10
2.3 Käyttökohteita .....	10
3 ANODISOINTIPROSESSI .....	11
3.1 Anodisoinnin tarkoitus .....	11
3.2 Prosessi lyhyesti .....	12
3.2 Anodisointilaitoksella käytettävät kemikaalit .....	12
3.3 Alumiiniprofiilit .....	13
3.4 Profiilin ripustus .....	14
3.5 Käsittelyt ennen anodisointia .....	14
3.5.1 Rasvanpoisto .....	14
3.5.2 Alkalinen peittäys .....	15
3.5.3 Oksidinpoisto eli Desmut-kylpy .....	15
3.6 Anodisointi .....	15
3.6.1 Elektrolyysin periaate .....	16
3.6.2 Oksidikerroksen muodostuminen .....	17
3.6.3 Oksidikerroksen rakenne .....	18
3.7 Anodisoinnin jälkeiset käsittelyt .....	18
3.7.1 Kylmätiivistys .....	18
3.7.2 Kuumatiivistys .....	19
3.8 Huuhtelut .....	19
4 JÄTEVEDENKÄSITTELY .....	20
4.1 Anodisointilaitoksen jätevedet .....	20
4.2 Jätevedenpuhdistusprosessi .....	21
4.3 Anodisointilaitoksen kylpyliuokset .....	22
4.4 Jäteveden neutralointi .....	23
4.5 Metallien saostus .....	23
4.6 Flokkaus .....	23
4.7 Selkeytys .....	24
4.8 Suodatus .....	25
5 ALUMIINIPITOISUUDEN MÄÄRITTÄMINEN .....	27
5.1 AAS .....	28
5.2 Lambert-Beerin laki .....	29
5.3 Määritykset titraamalla .....	29
5.4 Näytteet huuhteluväesistä .....	30
5.5 Välineiden ja vesinäytteiden esikäsittely .....	30
5.6 Näytteiden laimentaminen .....	31
5.7 Kalibrointiliuokset .....	31
6 ANALYYSIEN TULOKSET .....	32
6.1 AAS .....	32
6.2 Titraus- ja muut mittaustulokset .....	32
7 ANALYYSITULOSTEN TARKASTELU .....	34
8 ERILAISIA MENETELMIÄ VEDENKULUTUKSEN PIENENTÄMISEKSI .....	36
8.1 Vastavirtahuuhtelu .....	36
8.2 Säästöhuuhtelu .....	36

8.3 Kalvotekniikat .....	37
8.3.1 Mikro-suodatus .....	37
8.3.2 Ultra-suodatus .....	38
8.3.3 Käänteisosmoosi .....	38
8.3.4 Nano-suodatus .....	39
8.4 Haihdutus .....	41
8.5 Ioninvaihto .....	42
8.6 Menetelmien soveltaminen anodisointilaitoksella .....	43
9 SYITÄ PROFIILIN PÖLYYNTYMISEEN .....	44
9.1 Anodisointi .....	44
9.2 Tiivistys .....	45
10 YHTEENVETO .....	46
LÄHDELUETTELO .....	47
LIITTEET .....	50

## 1 JOHDANTO

Tässä työssä perehdytään Mäkelä Alu Oy:n anodisointilaitoksen toimintaan. Tavoitteena on tutkia lipeäpeittauksen jälkeisten kolmen huuhtelun likaantumista ja selvittää, vaikuttaako se profiilien pölyyntymiseen. Lisäksi työssä on pohdittu erilaisia keinoja vedenkulutuksen pienentämiseksi.

Mäkelä Alu Oy on yksityinen perheyhtiö, joka aloitti toimintansa jatkojalostamalla metalleja ja metallituotteita Alajärvellä 1937. Alumiiniprofiilien valmistus aloitettiin 1990 rakennetussa puristuslaitoksessa, ja kesällä 1999 valmistunut uusi tuotantolinja kaksinkertaisti kapasiteetin. Profiilien valmistukseen käytetään pääosin Norjasta tuotuja primäärialumiinista valmistettuja puristusaihioita. Prosesseissa syntyvä alumiiniromu otetaan talteen ja kierrätetään uudelleen profiilien raaka-aineeksi Mäkelä Alu Oy:n omassa valimossa. /21/ Liitteessä 1 on kuvattu alumiiniprofiilin valmistusvaiheet prosessiromusta asiakkaalle toimitettavaksi tuotteeksi. /31/

Mäkelä Alun tuotevalikoimaan kuuluvat yleisimmät vakioprofiilit, mutta kuitenkin yli 90 % tuotannosta on asiakkaiden ohjeiden mukaan valmistettavia erikoisprofii-leja rakennus-, sähkö-, elektroniikka-, auto- ja konepajateollisuuden käyttöön. /21/

Vuonna 2006 liikevaihto oli 51,4 miljoonaa euroa, josta viennin osuus oli lähes puolet. Tärkeimmät vientimaat ovat Saksa, Tanska, Ruotsi, Norja ja Venäjä. Vuosittainen tuotanto tällä hetkellä on noin 13 500 tonnia. Työntekijöitä yrityksessä vuonna 2006 oli keskimäärin 155. /21/

Mäkelä Alu Oy:n ympärille on kehittynyt tiivistä yhteistyötä tekevä alumiinikappaleiden jatkojalostusverkosto. Aivan lähiympäristössä sijaitsevat muun muassa Vivadec Oy, Al-men Oy, An-la Oy, Alumaster Oy ja Saukrast Oy. Verkoston avulla voidaan parantaa asiakkaille tarjottavaa palvelua monipuolisella tarjonnalla ja nopealla toimituksella. Myös kuljetuskustannukset laskevat välimatkojen muuttuessa lähes olemattomiksi. /21/

Mäkelä Alu Oy tarjoaa alumiiniprofiilien pintakäsittelynä anodisointia ja pulveri-maalauستا. Nykyään 45 % profiileista pintakäsitellään. Anodisoinnin osuus pintakäsittelystä on 15 % ja pulverimaalauksen 30 %. Mäkelä Alu Oy:n anodisointilaitos toimii tällä hetkellä kahdessa vuorossa viitenä päivänä viikossa. /20/



Pölyä anodisoiduissa alumiiniprofiileissa on ollut jo pidemmän aikaa. Erityisen hyvin se näkyy leveillä ja tasaisilla pinnoilla. Pöly lähtee pyyhkimällä pois, mutta profiilin pinta olisi esteettisesti miellyttävämpi ilman sitä. Anodisointilaitoksen linjalla on 22 käsittelyallasta. Vettä anodisointilaitoksella kuluu päivittäin noin 50 m<sup>3</sup>. Puhdistettu jätevesi lasketaan tehtaan lähellä sijaitsevaan Mikinpuroon.

## 2 ALUMIINI

Alumiini on maapallon kolmanneksi yleisin alkuaine, ja sitä on maankuoressa noin 8 %. Alumiini esiintyy luonnossa ainoastaan yhdisteinä, joita ovat alumiinimineraalit, -fluoridit ja -silikaatit. Alumiinia valmistetaan pääosin bauksiitista, joka on oksidimineraali. Bauksiitti syntyy trooppisissa olosuhteissa silikaattimineraalien rapautuessa. Puhdas alumiini valmistetaan hajottamalla alumiinioksidi elektrolyytisesti. /1, s. 73; 4, s. 239/

### 2.1 Ominaisuudet

Alumiini on hopeanharmaa, pehmeä ja kevyt metalli. Se reagoi ilman hapen kanssa muodostaen ohuen, mutta tiiviin oksidikerroksen alumiinin pinnalle. Kerros estää jatkuvan hapettumisen sekä suojaa metallia korroosiolta ja muilta kemiallisilta vaikutuksilta. /1, s. 73/

Alumiinin muokattavuus on hyvä, koska sen sulamislämpötila on matala, noin 660 °C. Tämän vuoksi alumiinia on helppo valssata, valaa tai pursottaa ja sitä on vaivaton jatkokyöstää ja hitsata. /12, s. 9/

Alumiinilla on hyvä sähkön- ja lämmönjohtokyky. Se kestää hyvin ilman epäpuhtauksia, sään vaihteluita sekä suolavettä. Alumiini on myös tiivistä, palamatonta ja hajutonta. Näiden ja muiden ominaisuuksiensa takia alumiini on raudan jälkeen toiseksi merkittävin metalli, ja sitä käytetään paljon eri teollisuuden aloilla. Alumiinia voidaan käyttää joko puhtaana tai seoksena, jolloin siihen lisätään pieniä määriä muita metalleja. Näin saadaan alumiinille esimerkiksi paremmat lujuusominaisuudet. /22/

Alumiinin hinta on korkea, koska valmistaminen malmista vaatii paljon sähköenergiaa. Sen takia alumiinia kierrätetään paljon ja kierrätysmenetelmiä kehitetään koko ajan. Alumiinin uudelleen sulattaminen vaatii vain 5 % siitä energiasta, joka kuuluu primäärialumiinin valmistamiseen. /22/

## 2.2 Alumiiniseokset

Puhdas alumiini on pehmeää ja helposti muokattavaa. Joskus nämä ominaisuudet ovat toivottuja, mutta useimmiten puhtaan alumiinin lujuusominaisuudet eivät ole riittävän hyvät. Siksi on kehitetty erilaisia alumiiniseoksia, joiden tärkeimmät seosaineet ovat magnesium (Mg), pii (Si), ja mangaani (Mn) /31/

Magnesium (Mg) parantaa kovuutta ja lujuutta vaikuttamatta hitsattavuuteen ja korroosionkestävyyteen. Piin (Si) käyttö parantaa juoksevuutta ja alentaa sulamispistettä. Yhdessä magnesiumin kanssa saadaan karkenevia seoksia eli seoksia, joilla on enemmän lujuutta ja kovuutta sekä hyvä korroosionkestävyys. Mangaani (Mn) lisää seoksen lujuutta vaikuttamatta haitallisesti sitkeyteen. /32/

Yleisimmin käytettävät alumiiniseokset Mäkelä Alu Oy:llä ovat EN AW-6060 (AlMgSi), EN AW-6063 (AlMgO,7Si) ja EN AW-6082 (AlSi1MgMn) /21/. Alumiini-mangaani-piiseokset ovat edullisuutensa lisäksi hyvin anodisoituvia.

## 2.3 Käyttökohteita

Alumiinilla on hyvien ominaisuuksiensa vuoksi monia eri käyttökohteita esimerkiksi pakkaus-, kuljetus-, rakennus-, ja elektroniikkateollisuudessa.

Mäkelä Alu Oy:ssä valmistettavien alumiiniprofiilien yleisimpiä käyttökohteita ovat:

- rakentamisen julkisivu-, ovi-, ja ikkunarakenteet
- kulkuvälineet ja kuljetuskalusto ilmassa, vedessä ja maalla
- koneenrakennus-, sähkö- ja elektroniikkateollisuuden rakenteet ja komponentit
- huonekalu- ja sisustusalan tuotteet ja niiden rakenteet /21/.

Pakkausteollisuudessa alumiini on tärkeä materiaali, koska se ei päästä makuja, kaasuja, hajuja, bakteereja, kosteutta eikä valoa pakkauksen läpi. Alumiiniin pakataan esimerkiksi lääkkeitä. Ilmatiiviiden saavuttamiseksi mehupurkit ja perunalastupussit vuorataan alumiinilla. Alumiinia käytetään myös erilaisten juomatölkkien valmistukseen. /22/

Kuljetusteollisuudessa alumiinia käytetään keveytensä takia veneissä, laivoissa, autoissa, junissa, lentokoneissa ja avaruussukkuloissa. Turvallisuus lisääntyy, kun rakenteista saadaan keveitä ja lujia. Lisäksi nopeus kasvaa ja polttoaineen kulutus vähenee. /22/

Rakennusteollisuudessa alumiinilla on monia eri käyttökohteita. Näitä ovat esimerkiksi seinä- ja ikkunarakenteet, julkisivut, katteet sekä seinäpaneelit. Myös lämmitys- ja ilmastointilaitteissa sekä elementtirakentamisessa käytetään runsaasti alumiinia. Alumiinista valmistetaan muun muassa rakennustelineitä, tikapuita ja turvakaitteita. Hyvän sähkönjohtokykynsä takia alumiinia käytetään myös sähköjohdoin. /22/

Elektroniikkateollisuudessa alumiinia käytetään esimerkiksi televisioissa ja akuisissa. Korkeajännitejohdot, jotka kuljettavat sähköä paikkakuntien välillä, valmistetaan myös alumiinista. /22/

Muita alumiinin käyttökohteita ovat esimerkiksi liikennemerkkit, retkeilyvälineet, polkupyörät, virtakiskot ja foliot. /22/

## **3 ANODISOINTIPROSESSI**

### **3.1 Anodisoinnin tarkoitus**

Alumiinikappaleen pintaan muodostuu luonnostaan ohut alumiinioksidikerros, kun alumiini reagoi hapen kanssa. Anodisoinnissa alumiinioksidikerrosta kasvatetaan elektrolyyttisesti paksummaksi, kuin se luonnostaan voisi olla. Alumiinioksidikerros parantaa alumiinikappaleen kulumis-, lämmön-, sekä korroosionkestävyyttä ja estää naarmuuntumista. Lisäksi kappaleesta tulee kovempi ja sen sähköneristysky-

ky on parempi. Myös kappaleen ulkonäkö paranee ja huokoinen alumiinioksidikerros voidaan tarvittaessa värjätä. /24/

### **3.2 Prosessi lyhyesti**

Anodisointilaitoksen prosessilinja koostuu allasrivistä, jossa profiilin pintakäsittely tapahtuu automaattisella kastokylpyperiaatteella. Ensin anodisoitavat profiilit upotetaan rasvanpoistokylpyyn, jonka jälkeen ne peitataan natriumhydroksidikylvyssä. Peittauksen jälkeen profiilit huuhdellaan kolmessa vesikylvyssä. Seuraavaksi profiilit käsitellään oksidinpoisto eli Desmut-kylvyssä, joka sisältää anodisoinnin jäterikkihappoa. Tämän jälkeen kappaleet anodisoidaan rikkihappokylvyssä ja huuhdellaan kahdessa vesikylvyssä. Seuraavaksi profiilien oksidikerroksen huokokset suljetaan kylmätiivistyskylvyssä. Sitten profiilit huuhdellaan kahdessa vesikylvyssä ja kuumatiivistetään. Lopuksi kappaleet kuivataan ilmalla avonaisessa uunissa, pakataan ja varastoidaan.

### **3.2 Anodisointilaitoksella käytettävät kemikaalit**

Kemikaalilain mukaan terveydelle vaarallinen kemikaali on kemikaali, joka elimistöön joutuessaan voi aiheuttaa kemiallisten ominaisuuksiensa vuoksi jo pienenä määränä haittaa ihmisen terveydelle. Ympäristölle vaarallisella kemikaalilla tarkoitetaan kemikaalia, joka ympäristöön joutuessaan voi aiheuttaa jo pienenä määränä haittaa elolliselle luonnolle. /23/

Taulukkoon 1 on koottu tärkeimmät anodisointilaitoksella käytettävät kemikaalit. Liitteessä 2 on esitetty selitykset kemikaalien varoitusmerkeille.

Taulukko 1 Tärkeimmät anodisointilaitoksella käytetyt kemikaalit /20/

Kemikaali	Varoitusmerkki	Käyttö kg/a	Käyttötarkoitus
NaOH	C	273 040	Peittäus
Al-8000 NaOH<0,5%	Xi	13 200	Peittauksen lisäaine
Rikkihappo 93%	C	78 350	Anodisointi
K10 Coldimpregnation -nikkelifluoridi	T, Xi	10 000	Kylmätiivistys
Kobolttiasetaatti	Xn	200	Kylmätiivistys
Ammoniakki	C	150	Kylmätiivistyksen pH:n säätö
Correction F/R ammoniumfluoridi<40%	T	360	Kylmätiivistyksen lisäaine
Aluclin 5H	Xn	1 000	Rasvanpoisto
Sealox BR	-	3 000	Kuumahuuhtelun lisäaine
Deox	O	1 400	Oksidinpoiston lisäaine

### 3.3 Alumiiniprofiilit

Primäärialumiinista valmistetut puristusaihiot tankopuristetaan valmiiksi profiileiksi. Puristuslinjoilta profiilit toimitetaan jatkojalostukseen vähintään 2 m ja enintään 13,5 m pitkinä salkoina. Pisimmät anodisoitavat profiilit voivat olla noin 8 metriä pitkiä. Profiilien paino voi vaihdella 150 g/m–15 kg/m. /21/ Kuvassa 1 on erilaisia vakioprofiilien malleja.



Kuva 1 Vakioprofiileja /30/

### 3.4 Profiilin ripustus

Anodisoitavat profiilit kiinnitetään alumiinista valmistettuihin ripustimiin (kuva 2), joita kaksi siltanosturia kuljettaa automaattisesti anodisointilinjalla. Ripustimen ja profiilien välisen kontaktin tulee olla kiinteä, että virta kulkee tasaisesti eivätkä profiilit pääse liikkumaan anodisoinnin aikana. Jos profiili liikkuu, siitä aiheutuu riittämätön sähkökontakti ja virheitä oksidikerroksessa. /2, s. 163/



Kuva 2 Alumiiniprofiileja ripustimessa /30/

Alumiinisiin ripustimiin anodisoinnissa muodostuva oksidikerros on sähköisesti eristävä, ja se täytyy peitata pois lipeäliuoksessa ennen uutta käyttöä.

### 3.5 Käsittelyt ennen anodisointia

Ennen kuin alumiiniprofiili voidaan anodisoida, sen pinnasta täytyy poistaa luonnollinen oksidikerros ja valmistusvaiheessa tarttuneet epäpuhtaudet.

#### 3.5.1 Rasvanpoisto

Rasvanpoiston tarkoituksena on poistaa profiileista niihin eri valmistusvaiheiden yhteydessä jääneet rasvat, öljyt ja muut mahdolliset epäpuhtaudet. Rasvanpoistokemikaalina käytetään Aluclin-nimistä kemikaalia, joka sisältää boraatteja, karbonaatteja (natriumkarbonaatti), fosfaatteja ja ionittomia tensidejä. /19/

Kemikaalin pitoisuus kylvyssä on 30 g/l. Rasvanpoistoaltaita linjalla on kaksi ja niiden tilavuudet ovat noin 15 m<sup>3</sup>. Profiilia pidetään kylvyssä noin 15 minuuttia, sen mukaan, kuinka likaisia ne ovat. Kylvyn lämpötila on 60 °C. /19/

### 3.5.2 Alkalinen peittaus

Peittauksella tarkoitetaan yleensä metallisen pinnan puhdistusta happokylvyssä, mutta alumiinin peittaukseen käytetään myös alkalisia liuoksia. Peittauksen tehtävänä on poistaa alumiinin pinnalle muodostunut luonnollinen oksidikalvo sekä tasoiittaa naarmut ja pintaviat, jotta ulkonäöstä tulee tasainen. Peittausprosessissa kappaleen pintaan jää tumma kerros, jota kutsutaan usein smut-kerrokseksi. /26/

Peittauskemikaalina käytetään 50 % natriumhydroksidia. Vapaan NaOH:in pitoisuus peittauskylvyssä on noin 50 g/l. Profiileista liukenee peittausaltaaseen alumiinia, joka sitoo vapaata NaOH:a. Peittauskylvyssä käytetään lisäaineena Metachemin Al 8000:ta, jonka tarkoituksena on estää alumiinin saostuminen. Al 8000 sisältää muun muassa 0,5 % NaOH:a, polyalkoholeja ja epäorgaanisia suoloja. Al 8000 -pitoisuus kylvyssä on 25–30 g/l. Peittauskylvyn lämpötila on noin 65 °C ja profiilia pidetään kylvyssä noin 15 minuuttia. Peittausaltaita on kaksi ja niiden tilavuudet ovat noin 15 m<sup>3</sup>. Puolet peittauskylvystä vaihdetaan, kun alumiinipitoisuus nousee yli 170 g/l. /19/

### 3.5.3 Oksidinpoisto eli Desmut-kylpy

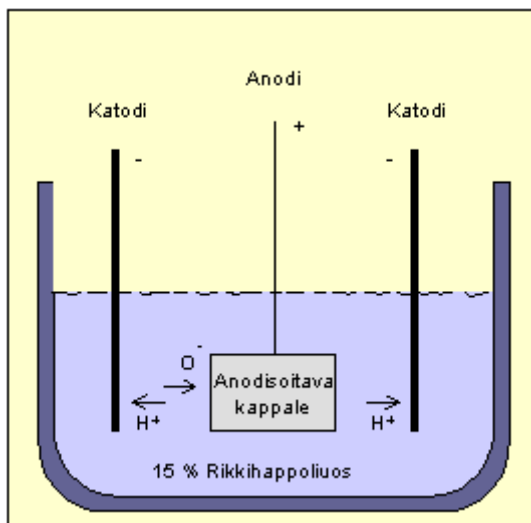
Kylvyn tarkoituksena on poistaa peittauksessa alumiinin pinnalle syntynyt tumma kerros (smut), joka koostuu liukenemattomista seosaineista ja epäpuhtauksista (esim. Fe). /26/ Kylpy sisältää anodisoinnin jäterikkihappoa ja Deoxstabilisointiainetta. Alumiinin pitoisuus kylvyssä on vähintään 5 g/l ja rikkihapon pitoisuus 100–150 g/l. Profiilia pidetään kylvyssä muutamia minuutteja. Oksidinpoistoaltaita on kaksi ja niiden tilavuudet ovat noin 15 m<sup>3</sup>. /19/

### 3.6 Anodisointi

Varsinainen anodisointi tapahtuu rikkihappoliuoksessa tasavirtaa käyttäen. Elektrolyytinä on 15–20 % rikkihappo, jossa liuennotta alumiinia saa olla enintään 15 g/l. Rikkihappopitoisuus kylvyssä on noin 180 g/l. Kylvyn lämpötila on 18 °C ja sähkövirran tiheys vaihtelee 1,5–1,8 A/dm<sup>2</sup>. Anodisointialtaita on kaksi ja niiden tilavuudet ovat noin 18 m<sup>3</sup>. /19/

Syntyvän oksidikerroksen vahvuus riippuu käsittelyajasta ja sähkövirran tiheydestä. Tavallisesti kerrospaksuus vaihtelee 5–20  $\mu\text{m}$ . 5–15  $\mu\text{m}$ :n paksuisella oksidikerroksella päällystettyjä profiileja käytetään sisätiloissa ja 20  $\mu\text{m}$ :n paksuisella oksidikerroksella päällystettyjä profiileja käytetään ulkona. Teoriassa kerrospaksuutta voisi kasvattaa aina 80  $\mu\text{m}$ :iin asti, mutta se vaatisi useiden tuntien anodisointi- ja tiivistysajan, eikä tällaisille profiileille ole käyttöä. /19/

### 3.6.1 Elektrolyysin periaate

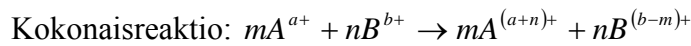
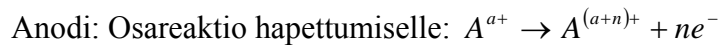


Kuva 3 Anodisoinnin periaate /24/

Elektrolyysi on sähkökemiallinen menetelmä, jossa sähkövirta hajottaa ainetta hapetus-pelkistysreaktioiden kautta. Reaktiot tapahtuvat elektrolyyttiliuoksessa, jossa sähköä kuljettavat ionit. /1, s. 36/

Kuvassa 3 ulkoisen virtalähteen navat on yhdistetty elektrolyyttiliuoksessa oleviin elektrodeihin, jotka ovat hiiltä tai metallia. Positiivisella elektrodilla, anodilla, tapahtuu elektronien luovutus eli hapettuminen ja negatiivisella elektrodilla, katodilla, tapahtuu elektronien vastaanotto eli pelkistyminen jännitesarjan määräämässä järjestyksessä. Seuraavalla sivulla on esitetty osareaktiot anodilla ja katodilla tapahtuville hapetus-pelkistysreaktioille. Osareaktiot eivät voi tapahtua yksinään, sillä elektronit eivät esiinny luonnossa vapaina.

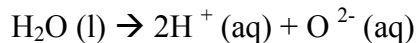




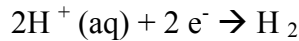
/12, s. 13/

### 3.6.2 Oksidikerroksen muodostuminen

Anodisoitava alumiinikappale asetetaan anodiksi sopivaan elektrolyyttiin, joka Mäkelä Alu Oy:n anodisointilaitoksella on rikkihapon vesiliuos. Sähkövirta hajottaa elektrolyytissä olevaa vettä vedyksi ja hapeksi seuraavan reaktioyhtälön mukaisesti:



Katodilla vetyionit pelkistyvät vetykaasuksi:

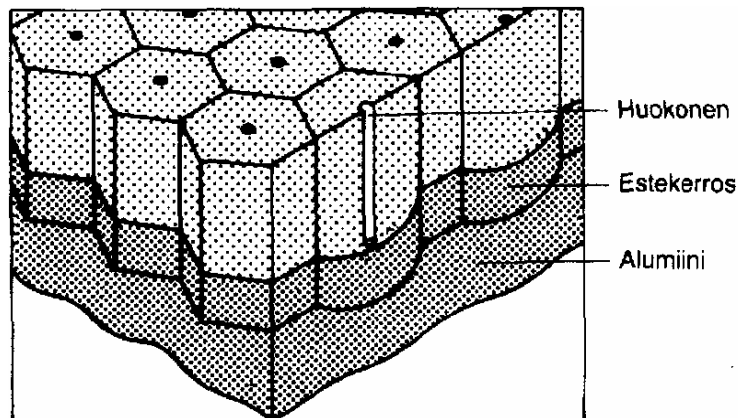


Anodilla happi-ionit reagoivat alumiinin kanssa muodostaen alumiinioksidia:



Sen seurauksena, että alumiini liukenee profiilin pinnalta muodostaakseen oksidikerroksen, voisi odottaa, että anodisoitavan profiilin mitta pienenee. Näin ei kuitenkaan tapahdu, sillä muodostuneen alumiinioksidin tilavuus on suurempi kuin liuenneen metallin. Todellisuudessa profiilin mitta hiukan kasvaa, noin 1/3 kerrospaksuudesta. Tämä täytyy ottaa huomioon käytettäessä tiukkoja toleransseja. /2 s.160/

### 3.6.3 Oksidikerroksen rakenne



Kuva 4 Oksidikerroksen rakenne /25/

Lähimpänä metallia on ohut ja tiivis estekerros (kuva 4). Jos elektrolyytti ei liuota oksidikerrosta, jää estekerros ainoaksi kerrokseksi. Jos oksidikerros liukenee elektrolyyttiin, se kasvaa vähitellen pylväsmäisesti. Liukeneminen tapahtuu pistemäisenä liukenemisena, jolloin oksidikerroksesta tulee huokoinen. Huokokset ulottuvat oksidikerroksen yläpinnasta estekerrokseen asti. /26/

## 3.7 Anodisoinnin jälkeiset käsittelyt

Anodisoinnin jälkeen profiilin oksidikerroksen mikrohuokokset on tukittava, jotta profiili ei altistu korroosiolle ja likaantumiselle. Profiilit täytyy myös kuivata ennen pakkausta ja varastointia.

### 3.7.1 Kylmätiivistys

Edellytyksenä sille, että anodisoitu pinta säilyttää ulkonäkönsä ja antaa perusmetallille hyvän korroosiosuojan, on se, että oksidikerroksen huokokset tiivistetään. Kylmätiivistyksessä oksidikerroksen huokokset tukitaan K-10-nimisellä kemikaalilla, joka sisältää muun muassa nikkelifluoridia. Nikkelifluoridi reagoi alumiinioksidin kanssa muodostaen liukenemattoman alumiinihydroksofluoriditäytteen. /2, s. 169–170/. Jotta nikkeli ei värjäisi profiilin pintaa vihertäväksi, lisätään kylpyyn kobolttiasetaattia.

K-10-kemikaalia kylvyssä on 130–160 g/l. Kylvyn lämpötila on noin 30 °C ja käsitteilyaika on noin 15 min. Kylvyn pH säädetään 25 % ammoniakkin avulla 6,5–6,8. Kylmätiivistysaltaita on kaksi ja niiden tilavuudet ovat noin 15 m<sup>3</sup>. /19/

Kun alumiiniprofiilit tulevat jälkitiivistyskylpyyn niiden huokokset ovat avoinna ja niissä on suoloja. Huokosista poistuvista alumiinisuoloista muodostuu liukenemattonta alumiinihydroksidia, joka jää leijumaan kylpyyn. /2, s. 169/ Tämän takia molemmille kylmätiivistysaltaille on omat suodattimet, jotka kierrättävät kylpyä jatkuvasti. Suodatinpaperi sitoo kiinteät partikkelit ja kylpy pysyy puhtaana. Suodattimien sakat ovat ongelmajätettä, joten ne kerätään talteen ja lähetetään Ekokem Oy:lle jatkokäsiteltäväksi.

### 3.7.2 Kuumatiivistys

Viimeisenä profiilit kastetaan kuumaan kylpyyn, jonka tarkoituksena on nopeuttaa oksidikerroksen huokosten tiivistymistä ja profiilin kuivumista ennen varsinaista kuivausta avonaisessa uunissa, jossa profiilien läpi puhalletaan 65 °C ilmaa. Kemikaalina altaassa käytetään Sealox BR:ää, jonka pitoisuus kylvyssä on 1–2 ml/l. Profiilia pidetään kylvyssä kolme minuuttia. Kuumatiivistysaltaan tilavuus on noin 18 m<sup>3</sup> ja lämpötila on noin 70 °C. /19/

### 3.8 Huuhtelut

Huuhtelut ovat hyvin tärkeä osa pintakäsittelyprosessia. Profiilit huuhdellaan vesikylvyssä, että ne puhdistuisivat kylpykemikaaleista ja etteivät prosessikylvyt sekoittuisi toisiinsa. /6 s.154/ Lisäksi huuhtelu estää suoloja tahrimasta profiilin pintaa sen kuivuessa ja jäännöskalvoa aiheuttamasta kappaleen pintaan väri vaihteluita sekä kemiallisia vaurioita /27/.

Anodisointilinjalla on peittauksen jälkeen kolme huuhteluallasta. Oksidinpoistosta profiili siirretään suoraan anodisointikylpyyn. Molempien sekä anodisoinnin että kylmätiivistyksen jälkeen on kaksi huuhteluallasta. Kuumavesialtaasta profiilit siirretään suoraan kuivausuuniin.

Kaikki huuhtelut toimivat vastavirtaperiaatteella, jolloin profiilit huuhdellaan ensin likaisemmalla ja tämän jälkeen puhtaammalla vedellä. Huuhteluveden kulkusuunta

on päinvastainen kuin huuhteltavien kappaleiden eli viimeiseen huuhtelualtaaseen lisätään aina puhdasta vettä.

Kaikki huuhteluvedet vaihdetaan noin kuukauden välein. Kylmätiivistyksen jälkeiset huuhteluvedet kulkevat ioninvaihtimen kautta, jolloin nikkeli ja fluoridit saadaan poistettua vedestä. Kuumavesiallas pysyy puhtaana samanlaisen, mutta pienemmän suodattimen avulla, kuin kylmätiivistysaltaat. /19/

Ripustamalla kappaleet oikein ja käyttämällä riittävää valutusaikaa, vähennetään prosessikylpyjen siirteitä huuhtelualtaisiin. Kuumille prosessikylvyille valutusaika ei saa olla liian pitkä, että profiilit eivät kuivu tai peittaannu liikaa. Yleensä valutusaikaa lyhennetään tuotannon vaatimusten perusteella. /6 s.155/

## **4 JÄTEVEDENKÄSITTELY**

### **4.1 Anodisointilaitoksen jätevedet**

Jätevedellä tarkoitetaan käytöstä poistettua vettä, josta voi aiheutua ympäristön pilaantumista. Jätevedet voidaan johtaa omaan tai kunnalliseen jätevedenpuhdistamoon, yleiseen viemäriin, varastoon tai maahan. /28/

Anodisointilaitoksen jätevesiä ei voida laskea käsittelemättöminä vesistöön, vaan esimerkiksi alumiini- ja kiintoainepitoisuus täytyy ensin saada hyväksytylle tasolle.

Anodisointilaitoksella syntyvät jätevedet ovat prosessikylpyliuoksia ja huuhteluvesiä. Prosessikylpyliuoksista vaihdetaan noin puolet kerrallaan, kun kylvyn alumiinipitoisuus ylittää sallitun raja-arvon. Huuhteluvedet ovat kemikaaliväkevyydeltään huomattavasti laimeampia kuin prosessikylvyt.

Jätevedet ovat emäksisiä, happamia tai metalleja sisältäviä jätevesiä. Emäksisiä jätevesiä ovat peittauskylvyt sekä peittauksen jälkeiset huuhteluvedet. Happamia jätevesiä ovat oksidinpoisto- ja anodisointikylvyt ja anodisoinnin jälkeiset huuhteluvedet. Käytetyt prosessiliuokset ja huuhteluvedet sisältävät pieniä pitoisuuksia kaikkia niitä metalleja, joita käsiteltävät profiilitkin sisältävät. Alumiiniprofiili voi sisältää alumiinin lisäksi myös piitä, kuparia, rautaa, magnesiumia, mangaania, ja

sinkkiä, joten myös näitä metalleja voi löytyä prosessiliuoksista. Kylmätiivistyksen jälkeiset huuhteluvedet ovat nikkeliä sisältäviä jätevesiä. /19/

Anodisointilaitokselle tulee myös maalaamosta jätevesiä, jotka koostuvat happopeittauksen jälkeisistä huuhteluvesistä ja kromisakan poistoon käytetyn suotopuristimen läpi tulevasta suotovedestä.

## 4.2 Jätevedenpuhdistusprosessi

Anodisointilaitoksella on käytössä oma jätevedenpuhdistamo, jossa käsitellään laitoksessa syntyvät jätevedet. Jätevedenpuhdistusprosessi on kuvattuna liitteessä 6.

Anodisointilinjalla kaikki huuhteluvedet vaihtuvat jatkuvasti ja ne tulevat kourua pitkin keräilyaltaaseen. Samaan keräilyaltaaseen lasketaan myös maalaamosta tulevat jätevedet ja kylmätiivistyksen jälkeiset huuhteluvedet.

Keräilyaltaasta vesi pumpataan suurempaan altaaseen, jossa on tehokas sekoitus. Seuraavaksi vesi pumpataan neutralointialtaaseen ja neutraloinnin jälkeen vesi johdetaan flokkausaltaaseen. Flokkausvaiheessa jäteveteen lisätään polymeeriä saostumisen parantamiseksi. Flokkauksesta vesi johdetaan selkeyttimeen, josta kirkas vesi lasketaan hiekkasuodattimen kautta ja pH-tarkkailun jälkeen Mikinpuroon. Selkeyttimen pohjalle kerääntyvä sakka pumpataan kammiosuotopuristimelle. Puristimesta tuleva suodos johdetaan takaisin flokkausaltaaseen. Tähän asti puristimen liete on kuljetettu lähellä sijaitsevalle Millesbacka Oy:n kaatopaikalle. Nykyään Kemira vie lietteen uusiokäyttöön. /19/

Anodisointilaitoksen käsitellyt jätevedet johdetaan Mikinpuroon, jonka Länsi-Suomen ympäristökeskus on todennut sopivaksi purkupaikaksi. Mikinpuroon johdettavien puhdistettujen jätevesien tavoitearvot ovat seuraavat :

- COD<sub>Cr</sub> enintään 125 mg/l
- kokonaisfosfori enintään 1,0 mg/l
- kiintoaine enintään 50 mg/l
- kloridi enintään 1000 mg/l

- alumiini enintään 1 mg/l
- nikkeli enintään 0,5 mg/l
- sulfaatti enintään 2000 mg/l
- jäteveden pH tulee olla välillä 6-9
- puhdistustulos vähintään 90 % /33/.

Kolmen kuukauden välein käy näytteenottaja Pöyry Environment Oy:ltä hakemassa näytteen keräilyaltaan jätevedestä ja Mikinpuroon laskettavasta puhdistetusta jätevedestä.

Vuoden 2006 Mikinpuroon laskevan jäteveden mittaustuloksissa muut arvot olivat alle annettujen rajojen, mutta sulfaattimäärä oli lähes kaksinkertainen /18/. Anodisointilaitoksella on ennen käytetty kalkkimaitoa sulfaattien saostukseen, mutta ongelmana on ollut märkä liete, joka on tahrannut jätevedenpuhdistuslaitteistoa.

Kalsiumsulfaatin saostumisen edistämiseksi ja sen aiheuttaman vakavan likaantumisriskin välttämiseksi koko jätevedenpuhdistuslaitteistoon täytyy osa selkeytyksessä syntyneestä lietteestä kierrättää. Eli osa lietteestä, joka on laskeutunut selkeyttimen pohjalle, pumpataan takaisin ensimmäiseen neutralointialtaaseen. Liete antaa sulfaattikiteille ydintymiskeskuksia ja näin helpottaa niiden saostumista. /13, s. 54–55/

### **4.3 Anodisointilaitoksen kylpyliuokset**

Peittausaltaiden käytetyt kylvyt johdetaan tornimaiseen säiliöön, jossa alumiinisakan annetaan laskeutua pohjalle ja lipeä kuljetetaan uusiokäyttöön Haapavedelle. Jäterikkihappo eli käytetyt oksidinpoisto- ja anodisointikylvyt johdetaan erilliseen varastoaltaaseen, josta niitä pumpataan jätevesiprosessin neutralointialtaaseen pH:n laskemiseksi. Rasvanpoisto- ja kylmätiivistyskylpyjä ei vaihdeta, vaan niihin lisätään kemikaaleja tarpeen mukaan. Kaikki käytetyt huuhteluvedet johdetaan aina keräilyaltaaseen. /19/

#### 4.4 Jäteveden neutralointi

Jäteveden neutralointi on tarpeen, sillä happaman tai emäksisen jäteveden päästäminen ympäristöön on hyvin haitallista sekä ympäristölle että eläimille. Ilman erillistä lupaa on jäteveden pH säädettävä välille 6,5–9, ennen kuin se voidaan laskea viemäriin. /13, s. 49/

Neutralointiin tuleva jätevesi on yleensä emäksistä ja sen pH lasketaan sallitulle tasolle lisäämällä jäterikkihappoa ( $H_2SO_4$ ) varastoaltaasta. Jäteveden pH:n kohottamiseen käytetään natriumhydroksidia (NaOH). Kun pH nousee yli tai laskee alle sallitun arvon, käynnistyy happo- tai lipeäpumppu automaattisesti ja pH-arvo palautuu normaaliksi.

#### 4.5 Metallien saostus

Kemikaalisaostus jätevesien puhdistusmenetelmänä mahdollistaa erilaisten jätevesijakeiden sekoittamisen ja saostuksen yhteiskäsittelynä. Hyvin yleinen metallipitoisten jätevesien käsittelymenetelmä on veden pH:n säätö. Tällöin valitaan sellainen pH-alue, että jäteveden sisältämät metallit saostuvat niukkaliukoisina yhdisteinä, yleensä hydroksideina tai oksidihydraatteina. /27/

Jos jätevesi sisältää vain alumiinia on alumiinihydroksidin saostusoptimi pH-arvossa 4,8–8,5. Jos jätevedessä on useampia metalleja, ne voivat yhteissaostua tai adsorboitua toisten metallien hydroksidien pinnalle. /12, s. 25/

Yhteissaostuksella ei yleensä päästä yhtä hyvään puhdistustulokseen kuin erillissaostuksella, koska jo saostunut metalli saattaa liueta uudelleen muutettaessa pH:ta toisen metallin saostamiseksi. /27/ Anodisointilaitoksen jätevesi sisältää metalleista suurimmaksi osaksi alumiinia, mutta vedessä voi olla pieniä pitoisuuksia myös muita metalleja esimerkiksi magnesiumia (Mg) ja rautaa (Fe). /18/

#### 4.6 Flokkaus

Flokkauksen tarkoituksena on saada jäteveden epäpuhtaudet sellaiseen muotoon, että ne on helppo erottaa. Koska suurten hiukkasten erottaminen on helpompaa kuin pienten, pyritään epäpuhtaudet sitomaan suuremmiksi ja siten erotuskelpoisemmiksi flokeiksi. /14, s. 86/

Pintakäsittelylaitosten tuottamien jätevesien flokkauksessa käytetään yleensä synteettisiä polymeerejä. Ne ovat pitkäketjuisia orgaanisia molekyyliä, joiden molekyyli­massa on suuri. Polymeerit voivat olla joko anionisia polymeerejä, jolloin niiden ionivaraus on positiivinen, tai kationisia polymeerejä, jolloin ionivaraus on negatiivinen. Anioniset polymeerit ovat pintakäsittelyteollisuuden jätevesien käsitte­lyssä yleisempiä. /13, s. 58/

Flokin muodostuminen johtuu hiukkasten välisistä vetovoimista. Kun kolloidiliuokseen lisätään synteettistä polymeeriä, se adsorboituu hiukkasten pinnalle, jolloin se vähentää hiukkasen sähkövarauksen voimakkuutta. Sen takia samanlaisen sähkövarauksen omaavien hiukkasten välinen karkottava voima pienenee. Polymeeri muodostaa siltoja liuoksessa olevien hiukkasten välille ja polymeerimolekyylit vetävät kiintoainehiukkaset toisiinsa, jolloin flokkien massa kasvaa ja ne laskeutuvat altaan pohjalle. /29; 12, s. 26/

Anodisointilaitoksen flokkausaltaan pH on 6,5–8. Tässä pH:ssa veteen liuennut alumiini saostuu itsestään. Alumiinihydroksidi- ja mahdolliset muut alumiiniyhdistehiukkaset ovat kuitenkin niin pieniä, että vajoamista altaan pohjalle tehostetaan käyttämällä flokkausainetta. Tällä hetkellä käytössä on Fennopol A 305-niminen synteettinen akryyliamidin ja natriumakrylaatin kopolymeeri. Polymeeri toimitetaan tehtaalle 20 kg:n jauhesäkkeinä. Polymeeri liuotetaan ja sekoitetaan veteen erillisessä säiliössä. Säiliöstä polymeerineste johdetaan flokkausaltaaseen pieninä määrinä putkea pitkin.

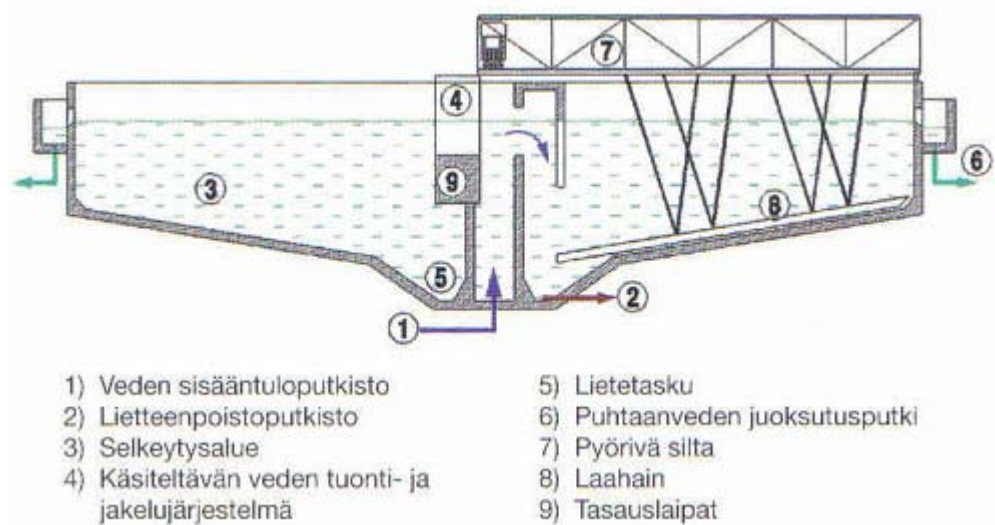
#### **4.7 Selkeytys**

Selkeytyksellä tarkoitetaan vedessä olevan kiintoaineen tai nestemäisen partikkelin poistamista painovoimaa tai keskipakovoimaa hyväksi käyttäen. Selkeytyksen tavallisin menetelmä on laskeutus, jolloin erotettavat hiukkaset ovat vettä raskaampia ja laskeutuvat painovoiman vaikutuksesta altaan pohjalle. Altaan pohjalle vajoavaa lietettä kutsutaan alitteeksi ja selkeyttimen pintakerrokseen erottunutta kirkasta nestettä kutsutaan ylitteeksi. Laskeutus on yleisin menetelmä jätevesien puhdistuksessa. /3, s. 77; 8, s. 37/



Laskeutuksessa ajavana voimana on kiintoaineen ja nesteen välinen tiheysero. Vettä raskaampi kiinteä hiukkanen laskeutuu vedessä aluksi kiihtyvällä nopeudella, kunnes veden aiheuttama vastus ja hiukkasen paino ovat yhtä suuret. Tämän jälkeen hiukkasen laskeutumisenopeus on tasainen. Tasapainonopeuden määräävät hiukkasen tiheys, muoto ja koko sekä veden tiheys ja viskositeetti. /3, s. 77–78/

Anodisointilaitoksen jätevedenkäsittelyprosessissa jätevesi johdetaan flokkausaltaasta kuorivaan selkeytimeen, jossa varsinainen selkeytys tapahtuu.



Kuva 5 Kuoriva selkeytin /13, s. 70/

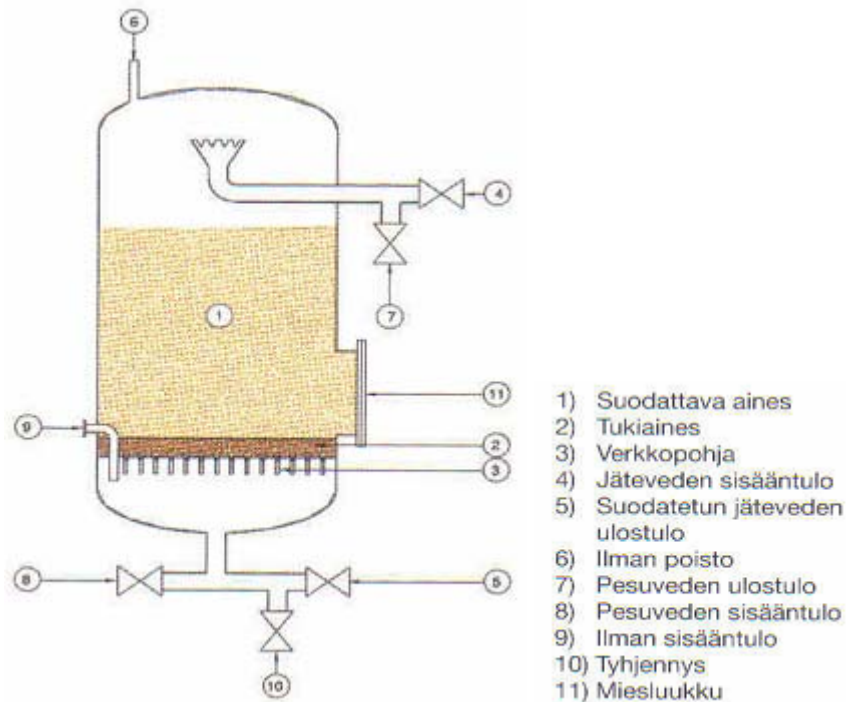
Kuorivassa selkeyttimessä flokkautunut jätevesi tuodaan sisääntuloputkistoa pitkin selkeyttimen pinnalle (kuva 5). Kiintoaine laskeutuu selkeyttimen pohjalle lietetasakuun, josta se pumpataan kammiosuotopuristimelle. Selkeyttimessä on liikkuva laahain, joka estää lietteen kasaantumisen selkeyttimen seinämiin. Ylivuotokourusta tuleva puhdas vesi eli ylite kerätään säiliöön ja johdetaan hiekkasuodattimen läpi, jonka jälkeen se voidaan laskea Mikinpuroon.

#### 4.8 Suodatus

Suodatus on menetelmä, jonka avulla kiinteät partikkelit erotetaan niihin sekoittuneista nesteistä tai kaasuista. Suodatuksen tarkoituksena on nesteiden tai kaasujen puhdistus tai kiinteiden aineiden talteenotto tai molemmat. Suodatuksessa kiinteää ainesta sisältävää nestettä johdetaan huokoisen kerroksen, suotoaineen, läpi, jolloin sen pinnalle syntyy tavallisesti kiinteiden osasten muodostama kerros tai kakku.

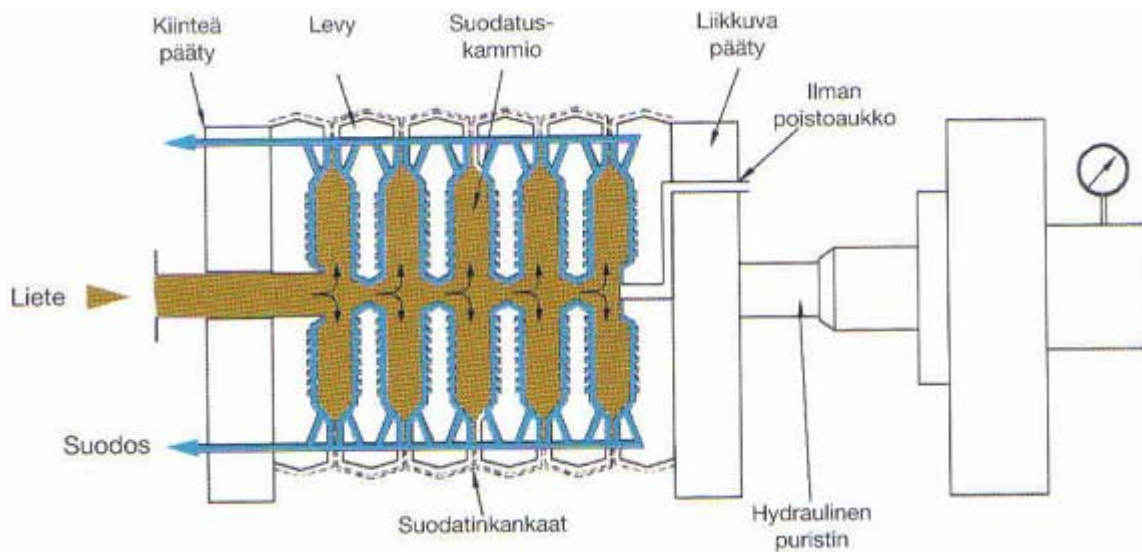
Tämä kerros toimii samalla suotoaineena, jolloin kiinteä osat kerrostuvat sen pinnalle ja kakun paksuus kasvaa. Kerroksen läpi tulevaa kirkasta nestettä nimitetään suodokseksi. /8, s. 42–43/

Pintakäsittelyssä syntyvien jätevesien puhdistuksessa suodattimia käytetään enimmäkseen selkeytyksestä jäljelle jääneen suspendoituneen aineksen poistamiseen. Suotopuristustekniikka on yleisimmin käytetty metallihydroksidilietteiden vedenpoistomenetelmä. Sillä saavutetaan lietteen suurehko kuiva-ainepitoisuus muihin suodatusmenetelmiin verrattuna. /13, s. 94, 98/ Anodisointilaitoksen jätevedenkäsittelyprosessissa selkeyttimen ylite kulkeutuu hiekkasuodattimen läpi Mikiinpu-roon ja alite johdetaan kammiosuotopuristimelle.



Kuva 6 Hiekkasuodatin /13, s. 95/

Hiekkasuodatus tapahtuu suljetussa paineellisessa säiliössä (kuva 6). Jätevesi johdetaan suodattimeen yläpäästä ja se kulkeutuu hiekan läpi ja tulee ulos suodattimen alapäästä. Suodattimessa oleva hiekka sitoo kiinteät hiukkaset vedestä. Kun suodatin tukkeutuu kiintoaineesta se pestään vastavirtahuuhtelulla.



Kuva 7 Kammiosuotopuristin /13, s. 98/

Kammiosuotopuristin koostuu toisiaan vastaan voimakkaasti puristetuista uurretuista polypropeenilevyistä, jotka on päällystetty suodattavalla kankaalla (kuva 7). Vierekkäisten levyjen väliin jää suodatinkammio, johon liete pumpataan tasaisella paineella. Suotovesi kulkeutuu suodatinkankaan läpi poistoputkeen ja kiintoaine kasaantuu hiljalleen suodatuskammioon muodostaen lopulta kakun. Poistoputkesta tuleva suotovesi johdetaan takaisin flokkausaltaaseen. Suodatusvaihetta seuraa puristusvaihe, jonka jälkeen levypaketit avautuvat ja pneumaattinen ravistin pudottaa lietekakut automaattisesti keräilylavalle. Lietteen kuiva-ainepitoisuudeksi suotopuristimella saadaan noin 25 % /18/.

## 5 ALUMIINIPITOISUUDEN MÄÄRITTÄMINEN

Lipeäpeittauksen jälkeisten kolmen huuhtelun alumiinipitoisuutta päätettiin määrittää laboratoriossa atomiabsorptiospektrofotometrian avulla. Lisäksi kahden likaisemman huuhteluveden natriumhydroksidi- ja alumiinipitoisuus pystyttiin selvittämään titraamalla. Huuhteluvesien alumiinimääritys tehtiin Suomen standardoimisliiton standardien SFS 3044 ja SFS 3046 ohjeita noudattaen. SFS 3044-standardissa määritetään menetelmät veden, sedimentin ja lietteen metallipitoisuuden määrittämiseen atomiabsorptiospektrometrisesti liekkimenetelmällä. Standardia SFS 3046 käytetään standardin SFS 3044 ohella, koska se sisältää erityisohjeita

alumiinin määritykseen. /36/ Näytteitä kerättiin jokaisesta lipeäpeittauksen jälkeisestä huuhtelultaasta kerran viikossa kuukauden ajan.

Tampereen ammattikorkeakoulun laboratoriossa määritettiin näytteiden alumiinipitoisuudet käyttämällä Thermo-elemental Solaar: Series Atomic Absorption Spectrometer System AAS -laitetta. Alumiinipitoisuus määritettiin aallonpituudella 309,3 nm ja liekin polttokaasuna käytettiin typpioksiduuli-asetyleeniseosta. Huuhteluvesinäytteiden titrauksessa kahden likaisemman huuhtelun NaOH- ja alumiinipitoisuus saatiin selvitettyä yrityksessä olevan laimean lipeäliuoksen titrausohjeen mukaisesti. Myös huuhteluvesien pH ja sähkönjohtokyky mitattiin näytteitä otettaessa.

## 5.1 AAS

Atomiabsorptiospektrometria perustuu atomien kykyyn absorboida valon säteilyenergiaa, tavallisesti spektrin näkyvän valon ja ultraviolettivalon alueella. Atomiabsorptioanalyysissä käytetään yleensä niin sanottuja resonanssiivoja, jolloin atomi siirtyy perustilasta alimpaan mahdolliseen viritystilaan. AAS-menetelmä soveltuu lähes kaikkien metallien sekä seleenin ja arseenin kvantitatiivisiin määrityksiin, koska nämä alkuaineet absorboivat aallonpituusalueella 190–900 nm. /9, s. 4, 6/

AAS-menetelmässä analyysin aikana yhdisteet hajotetaan alkuainemuotoon. Yleisin atomisointitapa on liekkitekniikka, jossa nestemäinen näyte syötetään kuumaan liekkiin. Liekissä olevat virittymättömät atomit virittyvät ja absorboivat osan säteilystä. Alumiinin määrityksessä käytetään typpioksiduuli-asetyleeniliikkiä. /7, s. 222; 10, s. 69/

Säteilylähteenä käytetään mitattavaa alkuainetta sisältävää onttokatodilamppua. Lamppu lähettää intensiivistä, teräväviivaista säteilyä aallonpituudella, jolla tutkittava alkuaine absorboi. Lampusta tuleva säteily johdetaan kulkemaan liekin läpi, jolloin tapahtuu Lambert-Beerin lain mukainen intensiteetin pieneneminen. Liekkiin johdetut tutkittavan alkuaineen atomit absorboivat osan säteilystä. Näytteen läpi kulkenut säteily ohjataan monokromaattorille, joka päästää läpi vain tietyllä aallonpituuden tulevan säteilyn. Valodetektorilla havaitsee monokromaattorilta tule-

van säteilyn ja muuttaa sen sähkösignaaliksi. Laitteen näyttämä absorptanssiarvo asetetaan nolaksi niin sanotulla nollanäytteellä, joka ei sisällä määritettävää ainetta. Nollanäytettä vastaava signaali on verrannollinen Lambert-Beerin lain  $I_0$ -arvoon ja analysoitavan näytteen aiheuttama signaali on verrattavissa lain I-arvoon. /7, s. 223; 10, s. 70–71/

## 5.2 Lambert-Beerin laki

Kulkiessaan näytteen läpi säteilyn intensiteetti pienenee. Pieneneminen on kullekin aineelle ominaista ja siihen vaikuttaa näytteeseen tulevan säteilyn aallonpituus sekä näytteen pitoisuus ja paksuus. Näytteeseen tulevan säteilyn intensiteettiä aallonpituudella  $\lambda$  merkitään yleensä  $I_0(\lambda)$ :lla. Näytteen läpi menneen säteilyn intensiteetti  $I(\lambda)$  voidaan laskea kaavalla:

$$\ln \frac{I_0(\lambda)}{I(\lambda)} = k \cdot c \cdot b \quad , \text{ jossa} \quad (1)$$

$k$  on kullekin aineelle ominainen kerroin

$c$  on näytteen konsentraatio

$b$  on säteilyn näytteessä kulkema matka

Tavallisesti tässä yhteydessä käytetään kymmenkantaista logaritmia, jolloin  $k$  täytyy korvata toisella suureella, molaarisella absorptiokertoimella  $\varepsilon$ . Molaarinen absorptiokerroin on kullekin aineelle ominainen suure ja aallonpituuden funktio. Merkitsemällä  $\log \frac{I_0}{I} = A(\lambda)$  saadaan kaava, joka tunnetaan Lambert-Beerin lakina.

$$A(\lambda) = \varepsilon(\lambda) \cdot c \cdot b \quad (2)$$

Jossa  $A$  on absorptanssi. Koska absorptanssin arvo on suoraan verrannollinen näytteen konsentraatioon, sitä käytetään kvantitatiivisessa analyysissä. /10, s. 51–52/

## 5.3 Määritykset titraamalla

Huuhteluvesinäytteestä pipetoitiin 5 ml 250 ml:n erlenmeyeriin. Näytteeseen lisättiin 100 ml vettä ja 3–4 pisaraa fenoliftaleiini-indikaattoria. Näyte titrattiin 1 N rikkihapolla värinmuutoskohtaan punaisesta värittömäksi. Hapon kulutus kirjattiin

muistiin (A ml). Seuraavaksi näytteeseen lisättiin 30 ml kylläistä kaliumfluoridiliuosta ja titrattiin jälleen 1 N rikkihapolla värinmuutoskohtaan punaisesta värittömäksi. Hapon kulutus kirjattiin muistiin (B ml).

Titraustuloksista pystyttiin laskemaan näytteen lipeä- ja alumiinipitoisuus seuraavilla kaavoilla :

$$\text{Lipeäpitoisuus g/l} = \left( A - \frac{B}{3} \right) \cdot 8 \quad (3)$$

$$\text{Alumiinipitoisuus g/l} = B \cdot 2 \quad (4)$$

#### 5.4 Näytteet huuhteluvesistä

Lipeäpeittauksen jälkeisistä kolmesta huuhtelualtaasta otettiin näyte kerran viikossa kuukauden ajan. Näytteidenottopäivät olivat 9.3.2007, 16.3.2007, 23.3.2007 ja 30.3.2007. Näytteet otettiin jokaisesta altaasta kauhalla noin 120 cm:n syvyydestä 250 ml:n erlenmeyeriin.

Ensimmäiseen huuhteluun lisättiin muutama viikko ennen näytteidenoton alkua kaasunpesurista tuleva pesuvesi. Veden virtaama työpäivän aikana on noin 15 m<sup>3</sup> eli lähes koko huuhtelualtaan tilavuus. Huuhteluvedet oli edellisen kerran vaihdettu joulukuun lopussa. 17.3.2007 puhtaimpaan huuhteluun vaihdettiin uusi vesi.

#### 5.5 Välineiden ja vesinäytteiden esikäsittely

Polyeteenistä valmistettuja 250 ml:n näytepulloja liotettiin 24 tuntia 0,5 M suolahappoliuoksessa (HCl) ennen näytteiden ottoa. Myös muut näytteenottovälineet pestiin samalla hapolla.

Näytteistä mitattiin lämpötila, pH ja sähkönjohtokyky. Sen jälkeen ne suodatettiin ensin tavallisella suodatinpaperilla ja sen jälkeen 0,45 µm:n kalvosuodatuspaperilla. Näytteisiin lisättiin standardin SFS 3046 mukaisesti 100 ml:aa kohden 2,0 ml 1,3 M kaliumkloridiliuosta (KCl) alumiinin ionisoitumisen estämiseksi liekissä. Tämän jälkeen näytteet kestävästi väkevällä typpihapolla (HNO<sub>3</sub>, 65 %, pro-analysis), jota lisättiin näytteisiin 1 ml 100 ml:aa kohden tai niin paljon, että pH oli alle kaksi.

## 5.6 Näytteiden laimentaminen

Titraustulosten perusteella pystyttiin arvioimaan, kuinka paljon näytteitä pitäisi laimentaa AAS-analyysiä varten. Ensimmäisen huuhtelualtaan näytteet päätettiin laimentaa 100 ml mittapulloon suhteessa 1/100 ja 2/100, jotta mittaustuloksia voitaisiin verrata toisiinsa virheen arvioimiseksi. Toisen huuhtelualtaan näytteet laimennettiin 100 ml mittapulloon suhteessa 10/100 ja kolmannen huuhtelun näytteitä ei laimennettu ollenkaan.

## 5.7 Kalibrointiliuokset

Kalibrointiliuokset ovat vähintään kahden liuoksen sarja. Kaikki sarjan liuokset sisältävät tunnetun määrän analysoitavaa metallia. Tutkittavan näytteen metallipitoisuus määritetään vertaamalla AAS:n kalibrointiliuoksille antamia arvoja. Alumiinin paras mitta-alue aallonpituudella 309,3 nm on 40–200 mg alumiinia/l liuotinta, joten kalibrointiliuokset päätettiin tehdä tälle välille.

Alumiinin perusliuos 1000 mg/l oli valmiina 1000 ml:n mittapullossa. Tästä liuoksesta valmistettiin 40 mg/l, 80 mg/l, 120 mg/l, 160 mg/l ja 200 mg/l sisältävät laimennokset 50 ml:n mittapulloihin. Taulukossa 2 on perusliuoksen pipetointimäärät kuhunkin mittapulloon. Kalibrointiliuoksiin lisättiin standardin SFS 3046 mukaisesti 1 ml KCl-liuosta. Mittapullot täytettiin merkkiin asti laimealla typpihappovedellä (1 ml 65 % HNO<sub>3</sub>/ 100 ml tislattua vettä). Lisäksi 50 ml:n mittapulloon tehtiin nollanäyte, johon laitettiin ainoastaan 1 ml KCl-liuosta ja pullo täytettiin merkkiin asti laimealla typpihappovedellä.

Taulukko 2 Alumiinin perusliuoksen pipetointimäärät kalibrointisarjan tekemiseksi

Al kalibrointisarja (mg Al/l)	1000 mg Al/l standardiliuosta (ml)
40	2
80	4
120	6
160	8
200	10

## 6 ANALYYSIEN TULOKSET

### 6.1 AAS

Taulukossa 3 on esitetty AAS-analyysissä saadut tulokset. Taulukkoon 4 on laskettu näytteiden todelliset konsentraatiot AAS analyysitulosten perusteella.

Taulukko 3 AAS:n mittaustulokset

Näytteenotto päivämäärä	AAS:llä mitattu konsentraatio mg/l			
	1. huuhtelu laimennos 2/100	1. huuhtelu laimennos 1/100	2. huutelu laimennos 10/100	3. huuhtelu ei laimennosta
9.3.	83,17	39,97	20,79	1,29
16.3.	88,81	42,73	19,76	5,97
23.3.	76,79	35,82	29,59	35,83
30.3.	90,76	44,19	39,03	19,18

Ensimmäinen huuhtelu laimennos 2/100, pitoisuus 83,17 mg/l:

$$\rightarrow \text{Todellinen konsentraatio} = 83,17 \frac{\text{mg}}{\text{l}} \cdot \frac{100}{2} = 4158,4 \frac{\text{mg}}{\text{l}} \approx 4,16 \frac{\text{g}}{\text{l}}$$

Taulukko 4 Näytteiden todelliset konsentraatiot

Näytteenotto päivämäärä	Todellinen konsentraatio g/l			
	1. huuhtelu	1. huuhtelu	2. huuhtelu	3. huuhtelu
9.3.	4,16	4,00	0,21	0,001
16.3.	4,44	4,27	0,20	0,006
23.3.	3,84	3,58	0,30	0,036
30.3.	4,54	4,42	0,39	0,019

### 6.2 Titraus- ja muut mittaustulokset

Taulukkoihin 5 ja 6 on koottu ensimmäisen ja toisen huuhtelun titraustulokset. Kolmatta huuhtelua ei pystytty titraamaan, koska fenoliftaleiini ei muuttanut näytteen väriä punaiseksi, eli  $\text{H}^+$ -ioneita oli joka kerta liian vähän. 9.3.2007 ei tehty titrauksia. NaOH- ja alumiinipitoisuus on laskettu kaavoilla 3 ja 4.

$$\text{Ensimmäisen huuhtelun NaOH-pitoisuus 9.3.2007} = \left(2,1 - \frac{5}{3}\right) \cdot 8 \frac{\text{g}}{\text{l}} \approx 3,46 \frac{\text{g}}{\text{l}}$$



$$\text{Ensimmäisen huuhtelun Al-pitoisuus 9.3.2007} = 5 \cdot 2 \frac{\text{g}}{\text{l}} = 10 \frac{\text{g}}{\text{l}}$$

Taulukoissa 7,8 ja 9 on esitetty muut mittaustulokset kaikista huuhteluista. Taulukoon 10 on kerätty tiedot vedenkulutuksesta kuukauden ajalta. Vedenkulutusta lisäävät erityisesti käsittelykylpyjen puolitukset.

Taulukko 5 Ensimmäisen huuhtelun titraustulokset

Näytteenotto päivämäärä	Rikkihapon kulutus A (ml)	Rikkihapon kulutus B (ml)	NaOH-pitoisuus (g/l)	Al-pitoisuus (g/l)
16.3.	2,1	5	3,46	10
23.3.	1,8	4,1	3,47	8,2
30.3.	2,1	5,2	2,93	10,4

Taulukko 6 Toisen huuhtelun titraustulokset

Näytteenotto päivämäärä	Rikkihapon kulutus A (ml)	Rikkihapon kulutus B (ml)	NaOH-pitoisuus (g/l)	Al-pitoisuus (g/l)
16.3.	0,2	0,5	0,27	1
23.3.	0,2	0,6	-	1,2
30.3.	0,2	0,8	-	1,6

Taulukko 7 Ensimmäisen huuhtelun mittaustulokset

Näytteenotto päivämäärä	Sähkönjohtokyky $\mu\text{S/cm}$	lämpötila $^{\circ}\text{C}$	pH
9.3.	14 700	24,6	11,73
16.3.	21 500	29,9	11,93
23.3.	17 900	29	11,87
30.3.	20 500	28,2	11,94

Taulukko 8 Toisen huuhtelun mittaustulokset

Näytteenotto päivämäärä	Sähkönjohtokyky $\mu\text{S/cm}$	lämpötila $^{\circ}\text{C}$	pH
9.3.	1 273	16,9	10,56
16.3.	1 638	19,8	10,69
23.3.	1 948	17,3	10,88
30.3.	2 400	19	10,95

Taulukko 9 Kolmannen huuhtelun mittaustulokset

Näytteenotto päivämäärä	Sähkönjohtokyky $\mu\text{S/cm}$	lämpötila $^{\circ}\text{C}$	pH
9.3.	171,5	14,4	7,25
16.3.	166,9	16,2	7,95
23.3.	403	13,6	9,99
30.3.	322	13,6	9,8

Taulukko 10 vedenkulutus anodisointilaitoksella

	Vedenkulutus l	Vedenkulutus, l/työpäivä (keskiarvo)
1. viikko	344 000	68 800
2. viikko	264 000	52 800
3. viikko	200 000	40 000
4.viikko	169 000	33 800

## 7 ANALYYSITULOSTEN TARKASTELU

Analyysitulosten perusteella voidaan todeta, että suuria muutoksia huuhteluvesien likaantumisessa ei kuukauden aikana tapahtunut. Jos kaikki huuhteluvedet olisivat olleet puhtaita näytteenoton alkaessa, olisi likaantumista luultavasti tapahtunut enemmän. Toisaalta uuden virtauksen lisääminen ensimmäiseen huuhtelualtaaseen on saattanut pitää huuhteluvedet normaalia puhtaampana.

Ensimmäisen huuhtelualtaan alumiinipitoisuus ja sähkönjohtokyky vaihtelivat jonkin verran mittausten aikana. Ensimmäinen huuhtelu likaantui altaista nopeimmin, jos linjalla ajettiin pienireikäisiä profiileja tai jos vesi suljettiin linjalta muutamaksi tunniksi. Ensimmäisen altaan ilmasekoitusputki oli lähes kokonaan tukossa, joten vesi ei sekoittunut kunnolla. Ainoastaan toinen huuhtelu likaantui jokseenkin tasaisesti mittausten aikana. Huomattavin muutos kolmannessa huuhtelussa oli se, että 17.3.2007 suoritettua vedenvaihdon jälkeisenä perjantaina vesi olikin likaisempaa kuin ennen vaihtoa. Tämän perusteella voidaan sanoa, että veden vaihtaminen ainoastaan puhtaimpaan altaaseen on turhaa.

Tulosten perusteella voidaan todeta, että profiilien pölyntyminen ei johdu lipeäpeittauksen jälkeisistä huuhteluista. Kolmas huuhteluallas pysyi aika puhtaana

koko kuukauden ajan. Kun 17.3.2007 siihen vaihdettiin uusi vesi, oli profileissa pölyä heti ensimmäisistä kuormista lähtien. Myös ilmasekoitus tässä altaassa toimi moitteettomasti koko kuukauden ajan.

Titraustuloksilla saatu alumiinipitoisuus oli ensimmäisen huuhtelun analyysituloksissa yli kaksinkertainen ja toisen huuhtelun titraustuloksissa noin viisinkertainen AAS-analyysiin verrattuna. Tässä tapauksessa arvioitiin kuitenkin, että AAS-tulokset ovat lähempänä totuutta, koska analyysit tehtiin standardeja noudattaen ja titrausohje puolestaan oli tarkoitettu satiinikylvyille eikä huuhteluvesille. Analyysin toistaminen olisi antanut vielä luotettavamman tuloksen, mutta AAS-menetelmän kalleuden vuoksi näytteitä ei tutkittu kahta kertaa. AAS- ja titraustuloksilla oli kuitenkin jotain yhteistä. Molempien analyysitulosten perusteella ensimmäisen huuhtelultaan alumiinipitoisuus oli korkein näytteessä, joka oli otettu 30.3.2007 ja matalin näytteessä, joka oli otettu 23.3.2007. Lisäksi molempien tulosten perusteella toisen huuhtelun alumiinipitoisuus oli korkein näytteessä, joka oli otettu 30.3.2007 ja matalin näytteessä, joka oli otettu 16.3.2007.

Virhe AAS-analyysissä ensimmäisen huuhtelun perusteella on noin 4,4 %. Virhe laskettiin neljän viikon keskiarvona ensimmäisen huuhtelun laimennoksien 1/100 ja 2/100 avulla.

Virhe ensimmäisen huuhtelun analyysituloksissa 9.3.2007:

$$\frac{4,16 - 4,00}{\left(\frac{4,16 + 4,00}{2}\right)} \cdot 100\% \approx 3,92\%$$

Neljän viikon virheiden keskiarvo:

$$\frac{(3,92 + 3,90 + 7,01 + 2,67)\%}{4} \approx 4,4\%$$

## 8 ERILAISIA MENETELMIÄ VEDENKULUTUKSEN PIENENTÄMISEKSI

Seuraavissa luvuissa on esitelty erilaisia menetelmiä, joilla pintakäsittelyteollisuudessa voidaan vähentää vedenkulutusta.

### 8.1 Vastavirtahuuhtelu

Vastavirtahuuhtelussa puhdas vesi lisätään aina viimeiseen huuhteluun. Puhtaimmasta huuhtelualtaasta vesi kulkeutuu likaisempaan huuhteluun esimerkiksi ylivuotona. Vastavirtahuuhtelua käytettäessä huuhteluvedet pysyvät huomattavasti kauemmin puhtaina myötävirtahuuteluun verrattuna. /5, s. 64–65/

Pintakäsittelylaitoksella, jossa linja toimii kastokylpyperiaatteella, voidaan vettä säästää huomattavasti käyttämällä kaksi- tai useampiportaista vastavirtahuuhtelua. Säästön saavuttaminen edellyttää, että vastavirtahuuhtelu on oikein suunniteltu eikä vesi virtaa missään vaiheessa väärään suuntaan. /6, s. 155–156/

### 8.2 Säästöhuuhtelu

Säästöhuuhteluallas on vesiallas, josta palautetaan vettä takaisin pintakäsittelyprosessiin. Pintakäsittelyaltaasta tulevat kappaleet huuhdotaan ensin säästöhuuhtelualtaassa, jossa vesi ei kierrä, ja sen jälkeen vähintään kaksiportaisessa huuhtelussa.

Huuhtelemalla kappaleet ensin säästöhuuhtelualtaassa ja sen jälkeen juoksevalla vedellä voidaan huuhteluveden kulutusta vähentää, ja suuri osa siirteen kemikaaleista saadaan palautettua takaisin käyttöön. Menetelmä sopii erityisesti lämpimien prosessikylpyjen jälkeen, joissa haihtumahäviöt korvataan säästöhuuhtelun vedellä puhtaan veden asemasta.

Säästöhuuhtelualtaasta metallit saadaan haluttaessa talteen elektrolyysillä. Nykyisin on käytävissä useita menetelmiä pieniä metallimääriä sisältävien liuosten elektrolyysiin. Useimmat menetelmät perustuvat matalaan virrantiheyteen (suuri katodipinta) ja/tai ohueen katodinestekalvoon (voimakas sekoitus). Talteenotettu metalli myydään yleensä metalliromuna. /6, s. 172/

### 8.3 Kalvotekniikat

Tällä hetkellä teollisuuden jätevesien käsittelyssä kalvotekniikoita käytetään lähinnä arvokkaiden ainesosien talteenottamiseksi ja myrkyllisten aineiden poistamiseksi. Tekniikoiden kehittyessä ja investointi- ja ylläpitokustannusten laskiessa saattaa tulevaisuudessa olla mahdollista puhdistaa kalvotekniikalla suurin osa jätevedestä takaisin prosessiin.

Kalvoerotuksessa prosessivirta kohtaa kalvon, jonka läpi pääsee vain osa virtaamasta. Yhdisteiden kulkeutumisen kalvon läpi saa aikaan paine-, lämpötila-, konsentraatio- tai sähköinen potentiaaliero kalvon erottamien faasien välillä. Useimmiten erottuminen perustuu kokoeroon kalvon huokosen ja liuenneen yhdisteen välillä. Kalvon läpäisyyttä puhdasta prosessivirtaa kutsutaan permeaatiksi ja kalvoa läpäisemätöntä konsentroituvaa prosessivirtaa kutsutaan retentaatiksi. /11, s. 26/

Kalvoerotusmenetelmiä on useita erilaisia, esimerkiksi kaasuerotus, kalvotislaus, dialyysi, elektrodialyysi ja pervaporaatio. Paine-eroon perustuvista ja tässä työssä hieman tarkemmin käsitellyistä menetelmistä tunnetuimpia ovat mikro-suodatus, ultrasuodatus, käänteisosmoosi ja nanosuodatus. Nanosuodatukseen on perehdytty hieman muita menetelmiä tarkemmin. Liitteestä 4 nähdään eri menetelmien erotte-lukyky /13, s. 82/.

Suodatuskalvoja on useita erilaisia, joista pyritään valitsemaan paras mahdollinen tarvittavaan puhdistusprosessiin. Liitteessä 5 on esitelty erilaisten kalvojen etuja ja haittoja. /13, s. 84/

#### 8.3.1 Mikro-suodatus

Mikro-suodatuksessa käytetään yleisesti Cross-flow- eli poikittaisvirtaussuodatusmenetelmää. Suodatuksen aikana suodattimen pinta puhdistuu koko ajan nestevirran voiman vaikutuksesta. Samalla neste konsentroituu. Kalvon sisä- ja ulkopuolen välinen paine-ero (0,5–2 bar) takaa sen, että suodatettava neste kulkeutuu kalvon läpi. Mikro-suodatuskalvon huokosten koko on mikrometrin luokkaa eli menetelmällä pystytään erottamaan kiintoainetta, bakteereja ja mikroleviä liuoksesta. Mikro-suodatusta käytetään usein nesteiden esikäsitelyssä ennen nanosuodatusta tai käänteisosmoosia. /13, s. 83, 86/

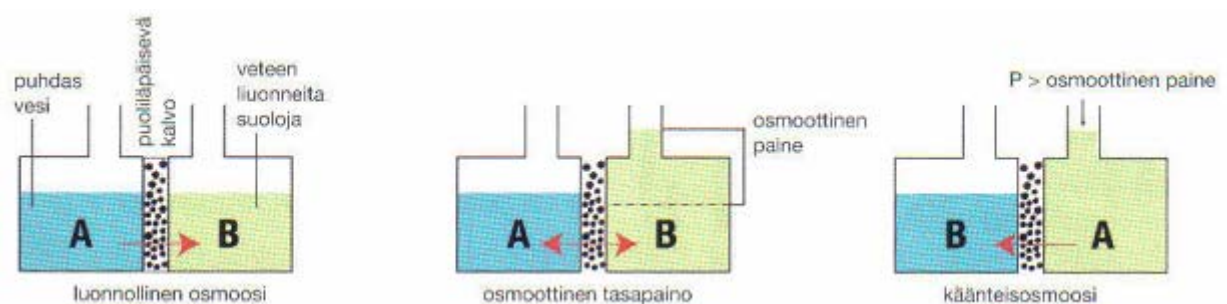
### 8.3.2 Ultra-suodatus

Ultra-suodatus toimii samalla periaatteella kuin mikro-suodatuskin. Paine-ero on yleensä 0,5–5 bar ja kalvon huokoskoko on 0,001–0,1  $\mu\text{m}$ . Ultra-suodatuskalvo sitoo muun muassa proteiineja, joten sitä käytetään usein talteenotto-prosesseissa.

Pintakäsittelyteollisuudessa sähköpinnoituksesta tai sähköstaattisesta maalauksesta peräisin olevat jätevedet voidaan puhdistaa ultra-suodatuksella. Ultra-suodatus voidaan ottaa osaksi fysikaalis-kemiallista puhdistuslinjaa, joka käsittelee metalleja. Metallit voivat olla jätevedessä joko liuenneina tai hiukkasina. Perinteisen neutraloinnin ja mahdollisen saostusapuaineen lisäämisen jälkeen kiinteän aineksen erottelu nesteestä tapahtuu ultra-suodatusta käyttämällä, jolloin selkeytystä ja hiekkasuodatinta ei tarvita. Ultra-suodatettu neste lasketaan viemäriin, konsentraatti hiutaloitetaan ja siitä poistetaan vettä suotopuristimella. Menetelmän etuina ovat hyvä puhdistustulos ja laitteiston mahtuminen pieneen tilaan. Haittapuolina ovat laitteiston vähäinen käyttökokemus ja kalvojen pesun tarve. /13, s. 85/

Ultra-suodatus on kalvotekniikoista kaikkein yleisimmin käytetty prosessikylpyjen kierrätysmenetelmä. Yleensä sitä käytetään rasvanpoistokylpyjen puhtaanapitoon. /13, s. 83, 86/

### 8.3.3 Käänteisosmoosi



Kuva 8 Osmoosin periaate /13, s. 83/

Kun kaksi osastoa, toinen (A), joka sisältää puhdasta vettä, ja toinen (B), joka sisältää suolaista vettä, erotetaan puoliläpäisevällä kalvolla, puhdas vesi pyrkii kulkeutumaan luonnollisesti kalvon läpi tasoittamaan osastojen suolapitoisuutta. Tätä il-

miötä kutsutaan osmoosiksi. Tasapainotilanteessa nesteiden konsentraatioerot aiheuttavat liukseen osmoottisen paineen. /13, s. 83/

Käänteisosmoosin perusideana on saattaa käsiteltävä vesi, joka on läpäisevän kalvon rajoittavassa tilassa, niin suuren paineen alaiseksi, että osmoottinen paine tulee ylitetyksi. Tällöin paineenalaisen suolaisen veden puolelta kulkee vesimolekyylejä kalvon läpi makean veden puolelle (kuva 8). /3 s.124/

Käänteisosmoosissa paine-ero on yleensä noin 15–100 bar ja kalvon huokoskoko on nanometrinen luokkaa. Käänteisosmoosilla voidaan poistaa vesiliuoksista orgaanisia ja epäorgaanisia yhdisteitä, kuten liuenneita suoloja, vettä ja etanolia.

Käänteisosmoosia käytetään yleisimmin suolan poistoon merivedestä ja ultrapuhdetaan veden valmistukseen elektroniikkateollisuuteen. /15/

#### **8.3.4 Nanosuodatus**

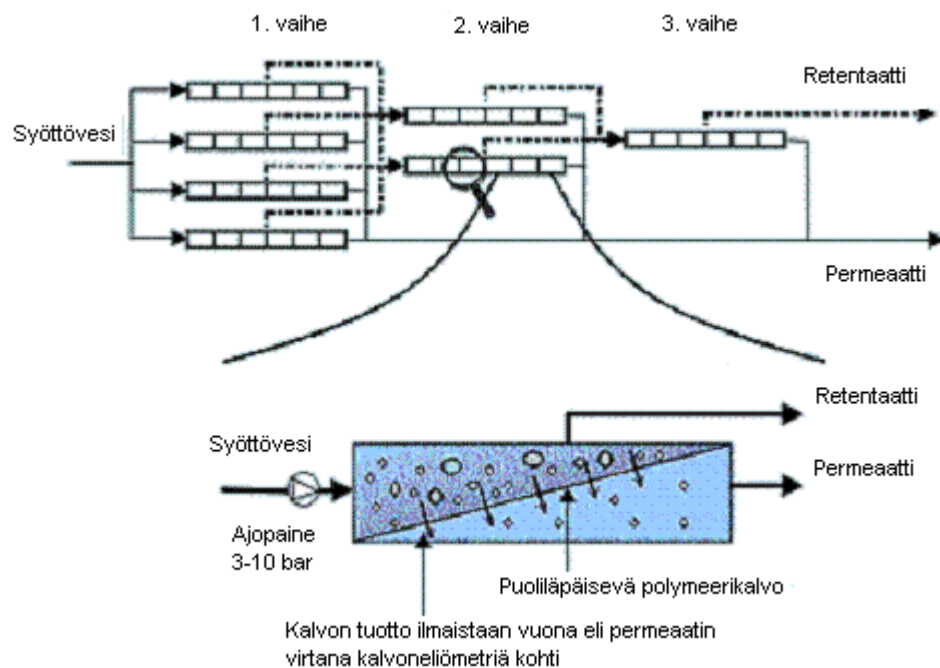
Nanosuodatus on toimintaperiaatteeltaan käänteisosmoosin kaltainen. Ero on nanosuodatuksessa käytettyjen kalvojen läpäisevyydessä. Nanosuodatuksen kalvot päästävät lävitseen enemmän ioneja, jolloin veden puhtaudelle ei voi asettaa yhtä korkeita vaatimuksia. Nanosuodatuksella voidaan erottaa yhden nanometrin kokoisia aineita. /13, s. 83/

Nanosuodatuksen tutkimus on viime vuosina kasvanut huomattavasti. Nanosuodatusta voidaan käyttää metallisuolojen ja hapon erotukseen sekä monien orgaanisten yhdisteiden, kuten hormonien, torjunta-aineiden ja värillisten yhdisteiden poistamiseen vedestä. /11, s. 27/

Tällä hetkellä Suomessa nanosuodatusta käytetään lähinnä muutamalla pohjavesilaitoksella pehmeiden ja humuspitoisten pintavesien käsittelyyn. Nanosuodatusta on kuitenkin tutkittu myös osana paperiteollisuuden vedenpuhdistusta. /11, s.26; 34/

Nanosuodatuksessa vesi pakotetaan 3–10 bar:n paineella puoliläpäisevän polymeerikalvon läpi. Kuvassa 9 on esitetty periaatekuva nanosuodatuksen toiminnasta. Juomaveden puhdistuksessa kalvot pakataan yleisimmin spiraalimoduuleiksi, joissa kalvot on kierretty rullalle kääretortun tapaan. Suodatettavasta vedestä pääosa vir-

taa kalvopintojen välissä moduulin päästä päähän, ja yhdessä moduulissa 10–15 % prosessivirrasta läpäisee kalvon. Vedenkäytön hyötysuhde saadaan nostettua 80–95 %:iin laittamalla useita moduuleja peräkkäin paineputkeen ja tekemällä prosessista kaksi- tai kolmivaiheinen. Väkevöitynyttä vettä, joka ei edellisessä paineputkessa ole läpäissyt kalvoa, käytetään seuraavan vaiheen syöttövetenä. Nanosuodatusprosessin syöttövedessä olevat partikkelit, moniarvoiset ionit, suurikokoiset molekyylit, sekä bakteerit ja virukset pidättyvät tehokkaasti ja poistuvat pääosin retentaatin mukana. /34/



Kuva 9 Nanosuodatuslaitteisto /34/

Tekesin Vesihuolto 2001-teknologiaohjelman puitteissa on Teknillisen korkeakoulun vesihuoltotekniikan laboratoriossa tutkittu nanosuodatusta osana pintaveden käsittelyprosessia kahdella pienikokoisella (noin 10 l) nanosuodatuslaitteella. Tutkimuksissa verrattiin muun muassa nanosuodatuksen toimivuutta ja veden laatua kahta eri esikäsittelymenetelmää käytettäessä. Tutkimuksen mukaan virtaus nanosuodatuskalvon läpi pysyi tasaisimmin hyvänä mikro-suodatusta käytettäessä, mutta tavanomaisella saostus-selkeytys-hiekkasuodatus-käsittelyllä päästiin lähes yhtä hyviin tuloksiin. /34/



Kalvoerotuksen haittoiksi mainitaan usein kalvojen likaantuminen, tukkeutuminen ja alhainen suodatuskapasiteetti. Ongelmia voidaan kuitenkin vähentää valitsemalla oikea kalvo ja optimoimalla suodatusolosuhteet. /11 s. 26/ Nanosuodatuslaitteiston mitoitus optimoitaessa joudutaan monesti tekemään kompromissi käyttö- ja investointikustannusten välillä. Alhaisella ajopaineella ja saannolla prosessin tuotto on tasaista ja energiantarve alhaista, pesuja voidaan tehdä harvemmin ja suodatuskalvot kuluvat vähemmän, mutta toisaalta investointikustannukset kasvavat alhaisen yksikkötuoton seurauksena. Korkealla ajopaineella ja saannolla päästään samaan tuottoon pienemmällä kalvoalalla ja alhaisemmilla investointikustannuksilla, mutta käyttökustannukset kasvavat. /34/

Metso Paper on kehittänyt cross-rotational-suodattimen, jossa tuotetaan voimakas turbulenssi pyörittämällä sekoitinlapaa lähellä kalvon pintaa. Tällöin kalvo ei tukkeudu niin helposti, ja sen käyttöikä pitenee huomattavasti. /11, s. 26/

#### 8.4 Haihdutus

Haihdutus on lämpöä hyväksikäyttävä prosessi, jolla erotetaan käsiteltävästä liuoksesta haihtuva neste, joka tiivistetään lauhteeksi eli kondensaatiksi. Jäljelle jää väkevöitynyt neste eli konsentraatti. Jätevedenpuhdistuksessa haihdutusta käytetään käsittelykylpyjen kierrättämiseen tai pienentämään nestemäisten jätteiden tilavuutta. /13, s. 87/

Normaalissa ilmanpaineessa vesi on nesteinä lämpötilassa 0–100 °C. Veden kiehumispisteeseen voidaan vaikuttaa muuttamalla ilmanpainetta, jolloin vesi saadaan haihtumaan joko alemmissa (paineen laskeminen) tai korkeammassa (paineen nostaminen) lämpötiloissa. /13, s. 87/

Haihdutintyyppejä on useita erilaisia. Yleisimpiä haihduttimia pintakäsittelyteollisuudessa ovat muun muassa lämpöpumppuhaihduttimet, kompressoritoimiset haihduttimet, keskipakopuhaltimella toimivat haihduttimet ja vakiotilavuuskompressorilla toimivat haihduttimet. /13, s. 89/

Mäkelä Alu Oy:n maalamossa on alipainehaidutin, jolla puhdistetaan keltakromauksen jälkeiset huuhteluvedet. Haihduttimessa huuhteluvesi syötetään konsentraattipuolelle, jossa kiertopumppu nostaa nesteen haihduttimen yläosassa oleviin nes-

teenjakoelimiin. Nesteenjakajat ohjaavat väkevöitävän liuoksen lämmönsiirtokasettien pinnalle. Osa liuksesta höyrystyy matkalla valuessaan lämmönsiirtopintaa pitkin takaisin haihduttimen pohjalle. Syntynyt höyry siirtyy puhaltimeen, joka nostaa höyryn lämpötilaa ja painetta, ennen kuin se siirtyy lämmönsiirtopinnan sisäpuolelle lämmityshöyryksi. Lämmityshöyry lauhtuu ja puhdas vesi kerätään lämmönsiirtokasettien alaosasta, josta se johdetaan lauhdesäiliöön. Sieltä lauhde pumpataan prosessin syöttöveden säiliöön ja käytetään uudelleen kylpy- ja huuhtelulaitisiin. /17/

## 8.5 Ioninvaihto

Ioninvaihdossa käytetään hyväksi joko rakeisia tai jauhemaisia massoja, jotka ovat useimmiten selektiivisiä hartseja. Ne pystyvät pidättämään ohi virtaavasta vedestä pinnalleen joko kationeja (kationinvaihtimet) tai anioneja (anioninvaihtimet). /3, s. 160/ Ioninvaihtohartseissa on kiinnittyneinä aktiivisia ryhmiä, jotka voivat vaihtaa liikkuvat ioninsa käsiteltävässä liuoksessa olevien samanmerkkisten ionien kanssa. Ioninvaihtohartsityypeistä voidaan erottaa useita erilaisia:

- hyvin happamat kationinvaihtajat, joita kutsutaan vahvoiksi kationinvaihtajiksi
- miedosti happamat kationinvaihtajat, joita kutsutaan heikoiksi kationinvaihtajiksi
- vahvasti emäksiset anioninvaihtajat, joita kutsutaan voimakkaiksi anioninvaihtajiksi
- lievästi tai keskitasoisesti emäksiset ioninvaihtajat, joita kutsutaan heikoiksi anioninvaihtajiksi
- absorboivat hartsit. /13, s. 60/

Kun ioninvaihdin ei pysty enää pidättämään lisää ioneja, täytyy hartsi regeneroida eli elvyttää. Elvytyksessä hartsimassa käsitellään yleensä väkevällä liuoksella, jonka vastaavanmerkkiset ionit asettuvat vedestä pidättyneiden ionien paikoille, jolloin alkuperäinen vaihtokapasiteetti palautuu. /3, s. 161/ Elvytysliuoksena kationinvaih-

timella voi olla suolahappo (HCL), rikkihappo (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) tai typpihappo (HNO<sub>3</sub>). Anioninvaihtimessa elvytysliuoksena käytetään natriumhydroksidia (NaOH). /35/

Ioninvaihtoa käytetään yleensä pintakäsittelyteollisuudessa seuraavissa tehtävissä:

- tuotettaessa suolatonta vettä
- kierrätettäessä huuhteluita uudelleen
- viimeistelykäsittelyä ennen veden johtamista vesistöön
- pidettäessä yllä käsittelykylvyn ominaisuuksia /13 s.62/.

Mäkelä Alu Oy:n anodisointilaitoksella kylmätiivistyksen jälkeiset huuhteluvedet kiertävät ioninvaihtimen kautta. Näin saadaan nikkeli ja fluoridit pois huuhteluvesistä ja vedet pysymään pitempään puhtaina. Ioninvaihtimen regenerointivesi laskeetaan 1000 litran konttiin ja viedään maalaamon alipainehaihduttimeen käsiteltäväksi.

## 8.6 Menetelmien soveltaminen anodisointilaitoksella

Anodisointilaitoksen kaikki huuhtelut toimivat jo vastavirtaperiaatteella. HELCOM-suosituksen mukaan monivaihehuuhtelun tulisi olla vähintään kolmivaiheinen. Tähän muutokseen ei kuitenkaan ole tilaa anodisointilinjalla. Viskoottisimman kylvyn eli peittauskylvyn jälkeen on käytössä kolmivaiheinen vastavirtahuuhtelu.

Säästöhuuhtelua voisi harkita käytettäväksi, toisin sanoen ensimmäisestä lipeäpeittauksen jälkeisestä huuhtelualtaasta siirrettäisiin vettä peittausaltaisiin korvaamaan haihtumahäviöitä. Analyysitulosten perusteella ensimmäisessä huutelualtaassa on alumiinia korkeintaan 10 g/l kun peittauskylvyssä alumiinia on 130–170 g/l. Säästöhuuhtelun käyttöä ei kuitenkaan kannata aloittaa, ennen kuin on selvitetty tarkemmin, mitä yhdisteitä uusi virtaus kaasunpesurista ensimmäiseen huuhteluun sisältää.

Eräs vedensäästömahdollisuus olisi rakentaa peittausaltaisiin exit-spray-suihkuhuuhtelu. Tällöin kappaleet huuhdeltaisiin suihkuhuuhtelulla, kun niitä nostetaan ylös peittauskylvystä. Samalla kylvyn haihtuma korvautuisi suihkuista tule-

valla vedellä. Peittauksen jälkeiset huuhtelut pysyisivät myös varmasti pitkään puhtaina. Suihkuhuuhtelu saattaisi olla niinkin tehokas, että peittauksen jälkeen tarvittavien huuhtelualtaiden määrää voitaisiin vähentää nykyisestä kolmesta kahteen.

Kalvotekniikoista käyttöön olisi mahdollista ottaa mikrosuodatus ja nanosuodatus. Vuonna 1999 tehdyssä VTT:n tutkimuksessa on ehdotettu eräälle pintakäsittelyyritykselle uudeksi huuhtelujärjestelmäksi mikrosuodatusta ja nanosuodatusta puhdistetun jäteveden jatkokäsittelymenetelmäksi /27/. Tällä menetelmällä yli 90 % vedestä voitaisiin palauttaa takaisin prosessiin. Kalvotekniikat vaatisivat huomattavia investointeja eikä Mäkelä Alu Oy:n kannata vielä sijoittaa niihin. Kalvotekniikoiden ja erityisesti nanosuodatuksen kehitystä kannattaa kuitenkin seurata tarkasti.

Haihduttimen käytöstä anodisointilaitoksella ei olisi hyötyä, koska ainoastaan kylmätiivistyksen jälkeiset huuhteluedet voitaisiin johtaa siihen sellaisenaan. Muiden huuhteluvesien johtaminen haiduttimeen ilman esikäsittelyä synnyttäisi paljon saostumia.

Kylmätiivistyksen jälkeiset huuhteluedet kiertävät jo ioninvaihtimen kautta, ja näin nikkeli ja fluoridit saadaan poistettua huuhteluedestä. Muita huuhteluvesiä ei tarvitse ionivaihtaa.

## **9 SYITÄ PROFIILIN PÖLYYNTYMISEEN**

### **9.1 Anodisointi**

Oksidikerroksen pinta on koko anodisoinnin ajan alttiina elektrolyytin liuottavalle vaikutukselle. Jos kylvyn parametrejä eli lämpötilaa, alumiini- ja rikkihappopitoisuutta sekä virrantiheyttä ei valvota tarkasti, saavutetaan piste, jossa syntyvä oksidikerros liukenee samalla vauhdilla, kuin uutta syntyy. Tällöin profiilin pinnalle syntyy jauhemainen kerros tai ulkopinnaltaan pehmeämpi kerros. /2, s. 160, 162/

Anodisointilaitoksella tätä ilmiötä kutsutaan kuorman palamiseksi. Profiilien pölyyntymisessä ei kuitenkaan ole kyse tästä ilmiöstä. Jos kuorma palaa, pölyä on myös profiilin alapuolella ja sen ulkonäkö on huonompi.

## 9.2 Tiivistys

Tässä luvussa käsitellään pölyyntymistä, jos anodisoinnin jälkeinen tiivistys tapahtuu vähintään 95 °C lämpötilassa. Mäkelä Alu Oy:n anodisointilaitoksella tiivistys tapahtuu kylmätiivistyksenä 30 °C:ssa. Tämän jälkeen on kuumahuuhtelu, joka nopeuttaa tiivistymistä ja kovettaa hieman oksidikerrosta.

Kuumatiivistyksessä 95 °C:ssa ensimmäisessä vaiheessa solujen pinnalla oleva vesi absorboituu oksidikerroksen huokosten sisään. Toisen vaiheen aikana absorboituu loput solujen pinnalla olevasta vedestä. Sulfaatti-ionit vapautuvat ja alumiinioksidi liukenee osittain ja muodostaa hyytelömäisen sakan alumiinihydroksidista, joka asteittain täyttää huokokset kasvavalla tilavuudellaan. Toisen reaktiovaiheen aikana muodostuu myös oksidikerroksen pinnalle samanlainen hyytelömäinen alumiinihydroksidikalvo kuin huokosiin. Tästä aiheutuu niin kutsuttu jälkitiivistysjauhe. /2, s. 168–169/

Jälkitiivistysjauhe, joka muodostuu jälkitiivistetyn esineen pinnalle, vaikuttaa sen ulkonäköön haitallisesti. Sillä ei kuitenkaan ole mitään negatiivista vaikutusta jälkitiivistyksen laatuun. Tämän jauheenmuodostumisen estämiseksi lisätään jälkitiivistyskylpyyn tiivistyslisiäainetta, jonka tarkoituksena on estää tai hidastaa oksidikerroksen pinnalla tapahtuvaa reaktiota.

Jälkitiivistyskylvyn suodattaminen on tärkeää, koska kylpyyn tulee huuhteluvdestä kalsium- ja magnesiumioneja sekä oksidikerroksen huokosista kylpyyn diffundoituvia alumiini-ioneja. Nämä aineet muodostavat ajan mittaan hydroksidihiualeita, jotka kiinnittyvät esineen pintaan ja saavat aikaan jauhemaisen pinnoitteen. /2, s. 168–169/

## 10 YHTEENVETO

Huuhteluvesien likaantumisessa ei tapahtunut kuukauden aikana suuria muutoksia. Tämä voi johtua uudesta virtauksesta ensimmäiseen huuhteluun. Ensimmäisen huuhtelun ilmasekoitus kannattaa korjata, jotta vesi sekoittuu ja vaihtuu altaassa kunnolla. Tällöin huuhteluallas pysyy puhtaana pitempään.

Analyysitulosten perusteella voidaan todeta, että profiilien pölyntyminen ei johdu lipeäpeittauksen jälkeisistä huuhteluista. Viimeinen eli kolmas huuhtelu pysyi aika puhtaana koko kuukauden ajan ja ilmasekoitus toimi moitteettomasti. Kuitenkin profiileissa oli pölyä heti 17.3.2007 suoritettuna vedenvaihdon jälkeen. Pelkästään viimeiseen huuhtelualtaaseen ei kannata vaihtaa puhdasta vettä, koska vesi likaantuu nopeasti, jos muut huuhtelualtaat ovat likaisia. Kirjallisuuden perusteella syitä profiilien pölyntymiseen kannattaa etsiä jälkiviivästä.

Anodisointilaitoksella ei tällä hetkellä pystytä tekemään suuria muutoksia vedenkulutuksen pienentämiseksi, koska käytössä on jo hyviä menetelmiä, kuten vastavirtahuuhtelu ja ioninvaihto. Ottamalla käyttöön joko säästöallas tai suihkuhuuhtelu peittauksen jälkeen, voitaisiin vettä säästää jonkin verran ilman suuria investointeja. Säästöallasta ei kuitenkaan kannata ottaa käyttöön, ennen kuin on selvitetty tarkasti, mitä yhdisteitä kaasunpesurista tuleva vesi sisältää. Kalvotekniikoista nanosuodatuksen kehitystä kannattaa seurata.

## LÄHDELUETTELO

### Painetut lähteet

- 1 Haavisto, Anja – Nikkola, Jorma – Viljanmaa, Lauri, Kemia 3, Kirjapaino Oy West Point, Rauma 2003
- 2 Suomen Galvanoteknisen yhdistyksen julkaisuja No 5, Kemiallinen ja sähkökemiallinen pintakäsittely osa I, Gummerus Kirjapaino Oy, Saarijärvi 2003
- 3 Karttunen, Erkki – Tuhkanen, Tuula – Kiuru, Heikki, RIL 124-2 Vesihuolto II, Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, Vammalan Kirjapaino Oy, 2004
- 4 Laitinen, Risto – Toivonen, Jukka, Yleinen ja epäorgaaninen kemia, Hakapaino Oy, Helsinki 2001
- 5 Woodward Frank, Industrial waste treatment handbook, Butterworth-Heinemann, 2001
- 6 Suomen Galvanoteknisen yhdistyksen julkaisuja No 7, Kemiallinen ja sähkökemiallinen pintakäsittely osa III, Gummerus Kirjapaino Oy, Jyväskylä 2001
- 7 Lehtonen, Pekka – Sihvonen, Marja-Liisa, Laboratorioalan analyttinen kemia, Edita Prima Oy, 2004
- 8 Pihkala Juhani, Prosessitekniikan yksikköprosessit, Hakapaino Oy, 2003
- 9 Lindsjö, Olle – Riekkola, Marja, Instrumenttianalytiikka I, Atomiabsorptiospektrometria, Vammalan Kirjapaino Oy, 1976
- 10 Jaarinen, Soile – Niiranen Jukka, Laboratorion analyysitekniikka, Edita Prima Oy, 2005
- 11 Kalvosuodatus puhdistaa jäteveden uuteen käyttöön, Kemia Kemi, Forssan Kirjapaino 7/2006
- 12 Lekkala Maria, Tutkintotyö, Alumiinipitoisen puhdistamolietteen hyötykäyttömahdollisuuksien kartoitus, Tampereen ammattikorkeakoulu

- 13 Suomen Galvanoteknisen yhdistyksen julkaisuja No 8, Pintakäsittelylaitosten veden käsittely, Gummerus Kirjapaino Oy, Jyväskylä 2003
- 14 Vedenkäsittelyn käsikirja, käännetty pääosin ruotsinkielisestä teoksesta ”Handbok i Vattenvård”, 1989
- 15 Väliaho, Esa, luentomateriaali, Polymeerien prosessointi
- 16 Yli-Hemminki Pekka, tuotantopäällikkö, Mäkelä Alu Oy, prosessikaavio
- 17 Korkea-aho Sanna, prosessinohitaja, Mäkelä Alu Oy, prosessinohitajan työohjeet
- 18 Pöyry Environment Oy, jätevesitutkimukset, 2006

#### Painamattomat lähteet

- 19 Moilanen Sami, prosessinohitaja, Mäkelä Alu Oy, suullinen tiedonanto
- 20 Korkea-aho Matti, ympäristöpäällikkö, Mäkelä Alu Oy, suullinen tiedonanto

#### Sähköiset lähteet

- 21 Mäkelä Alu Oy:n kotisivut, [luettu 8.4.2007], saatavana: <http://www.makelaalu.fi>
- 22 Alumiinin käyttö, [luettu 11.1.2007],  
saatavana: <http://www.helsinki.fi/kemia/opettaja/aineistot/alumiini/oh3.htm>
- 23 Vaarallisten kemikaalien yleiset luokitus- ja merkintävaatimukset,  
[luettu 29.1.2007], saatavana: <http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1989/19890744>
- 24 Anodisointi, [luettu 17.1.2007],  
saatavana: <http://www.bodycote.fi/fi/mainframe/anodisointi.htm>
- 25 Alumiinin pintakäsittelyt, [luettu 15.2.2007], saatavana: <http://www.kerppu.hut.fi/opiskelu/materiaali/kurssimateriaali/mak85/mak85144/pintakas4-anodisointi.pdf>
- 26 Alumiinin pintakäsittely, [luettu 15.2.2007],  
saatavana: <http://www.mv.helsinki.fi/home/jasalone/pintak.htm>



- 27 Siivinen Jarmo, Mahiout Amar, VTT tiedotteita, Pintakäsittelylaitosten jätevesikuormituksen vähentäminen, osa 2 Kokeellinen tutkimus, Valtion teknillinen tutkimuskeskus, Espoo 1999, [luettu 6.3.2007],  
saatavana: <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/1999/T2010.pdf>
- 28 Jätevesi, [luettu 8.3.2007], saatavana <http://fi.wikipedia.org/wiki/j%c3%aytevesi>
- 29 Pintaveden puhdistaminen, luettu [11.3.2007],  
saatavana: <http://www.tat.fi/fi/koulut/vedesta/kortti15.pdf>
- 30 Purso Oy:n kotisivu, [luettu 11.3.2007], saatavana: <http://www.purso.fi>
- 31 Nordic Aluminium Oyj:n kotisivu, [luettu 22.3.2007], saatavana:  
<http://www.nordicaluminium.fi>
- 32 Alumiini, [luettu 22.3.2007]  
saatavana: [http://www.ims.tut.fi/vmv/2004/vmv\\_4\\_2\\_1.php](http://www.ims.tut.fi/vmv/2004/vmv_4_2_1.php)
- 33 Mäkelä Alu Oy:n anodisointilaitoksen ympäristölupapäätös, [luettu 12.4.2007],  
saatavana: <http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=21074&lan=fi>
- 34 Nanosuodatuksen käytön optimointi talousveden valmistuksessa, [luettu 12.4.2007],  
saatavana: <http://www.mvtt.fi/vesitalous/arkisto/2001/vesitalous200104/nanos.html>
- 35 Ioninvaihto, [luettu 20.4.2007], saatavana:  
<http://kerppu.hut.fi/opiskelu/materiaali/kurssimateriaali/mak85/mak85170/Hydro9-ioninvaihto.pdf>
- 36 Suomen standardoimisliitto, SFS 3044, Veden, lietteen ja sedimentin metallipitoisuudet. Määrittäminen atomiabsorptiospektrometrisesti liekkimenetelmällä, [luettu 15.4.2007], saatavana: <http://sales.sfs.fi/servlets/SFSContractServlet?action=enterContract&contractId=10223>

## **LIITTEET**

Liite 1 : Alumiiniprofiilin valmistus prosessiromusta asiakkaalle toimitettavaksi tuotteeksi

Liite 2 : Kemikaalien varoitusmerkit

Liite 3 : Suotopuristimen sakan koostumus

Liite 4 : Kalvosuodatusmenetelmien erottelukyky

Liite 5 : Erilaisten suodatuskalvojen etuja ja haittoja

Liite 6 : Anodisointilaitoksen jätevedenpuhdistuksen prosessikaavio