

Juhani Pajari

## **AKTIIVILIETELAITOKSEN HAPPITASON SÄÄTÖ**

# **AKTIIVILIETELAITOKSEN HAPPITASON SÄÄTÖ**

Juhani Pajari  
Opinnäytetyö  
Kevät 2014  
Automaatiotekniikan koulutusohjelma  
Oulun ammattikorkeakoulu

# TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu  
Automaatiotekniikan koulutusohjelma

---

Tekijä: Juhani Pajari  
Opinnäytetyön nimi: Aktiivilietelaitoksen happitason säätö  
Työn ohjaaja: Timo Heikkinen  
Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Kevät 2014  
Sivumäärä: 54 + 9 liitettä

---

Tämä opinnäytetyö tehtiin Stora Enso Oyj:n Oulun sellutehtaalle. Opinnäytetyön aiheena oli aktiivilietelaitoksen ilmastuksen happitason säätö. Työn tavoitteena oli rakentaa ilmastukseen happitason säätö, jolla voitaisiin muuttaa turbopuhaltimien antamaa ilmastusilman määrää ja pienentää näin turbopuhaltimien sähkönkulutusta.

Työ aloitettiin tutustumalla aktiivilietelaitoksen toimintaan ja laitteistoon, sekä ilmastusaltaan happitason aiempaan käyttäytymiseen. Happimittausten trendikäyriä voitiin seurata ABB:n ja Metson informaatiojärjestelmistä. Säätöpiiri toteutettiin Metson kehittämällä FbCAD-suunnittelutyökalulla. Työn edetessä löytyi happitason säädölle suunniteltu valmis pohja, jota ei kuitenkaan ollut käytetty ja se ei ollut toimiva sellaisenaan.

Säätöpiirin pohjana käytettiin kyseistä säätöpiiriä ja siihen tehtiin tarvittavat muutokset, joilla happitason säätö saatiin toimimaan suunnitellulla tavalla. Säätöpiiri antoi ohjauspulsseja puhaltimia ohjaavalle Siemens SIMATIC S7-300 -logiikalle. Ilmastusilma tuotettiin kahdella turbopuhaltimella, joiden johtosiipien asentoa muuttamalla voitiin ilmamäärää säätää. Turbopuhaltimien tuottama ilmastusilma ohjattiin putkia pitkin aktiivilietelaitoksen ilmastusaltaassa sijaitseviin OKI-pohjailmastimiin, joita oli yhteensä 18 kappaletta. Ilmastusaltaassa oli myös kolme kappaletta pintailmastimia, joita ei kuitenkaan tässä työssä ohjattu, vaan ne ilmastivat vakioteholla koko ajan.

Lopputuloksena saatiin toimiva säädin, joka säätää puhaltimien johtosiipien asentoa ilmastusaltaan happimittausten keskiarvolaskennan perusteella. Ilmastusilman määrää saatiin laskettua lähtötilanteeseen nähden, mutta todelliset hyödyt näkyvät vasta pidemmän ajan kuluttua.

---

Asiasanat: aktiivilietelaitos, jätevesi, ilmastus, säätöpiiri

## **ALKULAUSE**

Tämä opinnäytetyö on tehty Stora Enso Oyj:n Oulun tehtaille. Työn valvojina toimeksiantajan puolelta ovat toimineet sellutehtaan tutkimuspäällikkö Ilkka Laakso ja tuotantoinsinööri Kalle Kärnä sekä työtä ohjaavana opettajana Oulun ammattikorkeakoulusta lehtori Timo Heikkinen.

Haluan kiittää opinnäytetyön valvojia Ilkka Laaksoa ja Kalle Kärnä mielenkiintoisesta työn aiheesta ja saamastani avusta. Kiitokset kuuluvat myös työn suorituksessa avustaneille Eforan projekti-insinööri Matti Rautioaholle ja kunnossapitopalveluvastaava Janne Myllyaholle sekä säätöpiirin rakentamisessa auttaneille Eforan projekti-insinööri Ilkka Pakaselle ja Oulun ammattikorkeakoulun lehtori Timo Heikkiselle.

Haluan kiittää vielä lopuksi opiskeluissa tukenutta perhettäni.

Oulussa 9.5.2014

Juhani Pajari

# SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
ALKULAUSE	4
SISÄLLYS	5
SANASTO	7
1 JOHDANTO	8
2 STORA ENSO OYJ	9
2.1 Oulun paperitehdas	9
2.2 Oulun sellutehdas	9
2.2.1 Kuitulinja	10
2.2.2 Talteenottolinja	10
3 JÄTEVEDET SELLU- JA PAPERITEOLLISUUDESSA	12
3.1 Typpi	13
3.2 Fosfori	14
3.3 Hapen kulutusta lisäävät yhdisteet	15
3.3.1 BOD	15
3.3.2 COD	16
4 AKTIIVILIETEMENELMÄ	17
4.1 Koneellinen välppäys ja esiselkeytys	18
4.2 Jäähdytys	18
4.3 Neutralointi	19
4.4 Ilmastusallas	19
4.5 Jälkiselkeytys	20
4.6 Tiivistin	21
5 TOIMILAITTEET JA MITTAUKSET	22
5.1 Turbopuhaltimet	22
5.1.1 Kompressorin rakenne	23
5.1.2 Diffusorin säätölaitteisto	23
5.1.3 Johtosiipisäätö	24
5.2 Ilmastus	25
5.3 Ilmastimet	26
5.3.1 Pohjailmastimet	26

5.3.2 Pintailmastus	27
5.3.3 Yhdistelmäilmastimet	28
5.4 Ilmastuksen ohjaus	29
5.5 Liunneen hapen mittaus	29
6 SÄÄTÖSUUNNITTELU	31
6.1 Turbopuhaltimien kytkeminen kauko-ohjaukseen	31
6.1.1 Turbopuhallin A kauko-ohjaukseen	32
6.1.2 Molemmat turbopuhaltimet kauko-ohjaukseen	33
6.2 Säättöpiirin suunnittelu	34
6.2.1 Happitrendien tarkastelu	34
6.2.2 Säättöparametrien määrittäminen	38
6.2.3 Askelkokeet	38
6.3 Säättöpiirin koeajo	43
6.3.1 Ensimmäinen säättöpiirin versio	43
6.3.2 Ensimmäisen version koeajo	45
6.3.3 Toinen säättöpiirin versio	48
6.4 Muutokset käyttöliittymään	49
6.5 Lisäykset sovellukseen	50
7 YHTEENVETO	51
LÄHTEET	52
LIITTEET	54

## SANASTO

AOX	Orgaaniset klooriyhdisteet
BOD	Biologinen hapenkulutus
BOD7	Biologinen hapenkulutus seitsemän vuorokauden jälkeen.
COD	Kemiallinen hapenkulutus
m <sup>3</sup> /d	Kuutiota päivässä
mg/l	Milligrammaa litrassa
Nm <sup>3</sup> /h	Kaasun tilavuusvirta
pH	Veden tai liuoksen happamuutta tai emäksisyyttä kuvaava luku
Reduktio %	Puhdistuksen poistotehokkuutta ilmaiseva luku

# 1 JOHDANTO

Tämän työn tilaajana toimi Stora Enso Oyj Oulun tehtaat. Työn valvojina tehtaalta toimivat sellutehtaan tutkimuspäällikkö Ilkka Laakso ja tuotantoinsinööri Kalle Kärnä.

Oulun sellutehtaan jätevedet puhdistetaan mekaanisesti ja biologisesti aktiivilietelaitoksella. Aktiivilietelaitoksen jätevesi koostuu lähes kokonaan sellutehtaan jätevesistä. Aktiivilietemenetelmä on aerobinen puhdistusmenetelmä, jossa orgaaninen aines hajoaa mikro-organismien avulla hapellisissa olosuhteissa. Näin lopputuloksena syntyy hiilidioksidia, vettä sekä uutta biomassaa.

Jätevesien happea kuluttavien aineiden määrän vähentäminen on ollut iso tehtävä Suomessa metsäteollisuuden vesiensuojelun kannalta. Tässä työssä keskitytään aktiivilietelaitoksen ilmastusaltaan happitason säätöön, jolla pyritään säästämään energiaa.

Aktiivilietteen ilmastus on aktiivilietelaitoksen yksi eniten energiaa kuluttavista prosesseista. Ennakkoon oli laskettu, että turbopuhaltimien säädöllä voitaisiin säästää jopa kolmasosa senhetkisestä sähkönkulutuksesta. Lähtötilanteessa turbopuhaltimille ei ollut säätöä, vaan ne puhalsivat täydellä teholla ilmastusilmaa ilmastusaltaaseen. Työn tavoitteena oli rakentaa säätö kahden turbopuhaltimien johtosiiville, joiden avulla ilmastusilman määrää voidaan säätää.



## **2 STORA ENSO OYJ**

Stora Enso Oyj on maailmanlaajuinen yhtiö, jonka toimialana ovat paperi-, pakkaus- ja puutuoteala. Stora Enson päätuotteet ovat sanomalehti-, kirja-, hieno- ja aikakauslehtipaperi, kuluttajapakkauskartonki, teollisuuspakkauskartonki ja puutuotteet. Konsernin palveluksessa on tällä hetkellä 28 000 henkilöä. Tehtaita ja tuotantolaitoksia on 35 maassa. (1.)

Stora Enson vuosittainen tuotantokapasiteetti on 5,4 miljoonaa tonnia kemiallista sellua 11,7 miljoonaa tonnia paperia ja kartonkia, 1,3 miljardia neliometriä aaltopahvia ja 5,6 miljoonaa kuutiometriä puutuotteita, josta 2,9 miljoonaa kuutiometriä on jatkojalosteita. Konsernin liikevaihtovuonna 2013 oli 10,5 miljardia euroa. (1.)

### **2.1 Oulun paperitehdas**

Oulun paperitehtaalla on kaksi paperinvalmistuslinjaa, paperikone PK6 ja paperikone PK7, joiden tuotantokapasiteetti on yhteensä 1 125 000 tonnia vuodessa. Paperikone 6 on käynnistynyt vuonna 1991 ja paperikone 7 vuonna 1997. Konelinjat valmistavat kahta paperituotetta, Lumi Silk ja Lumi Art, jotka ovat täyspäällystettyä taidepaperia. Tuotteet on tarkoitettu korkealaatuisiin ja vaativiin painotöihin, esitteisiin, markkinointimateriaaliin sekä taide- ja kuvakirjoihin. (2.)

Konelinja 6:n suurin ajonopeus on 1 200 m/min ja konelinja 7:n maksimi ajonopeus on 1 600 m/min. Molemmat linjat käyttävät raaka-aineena happivalkaistua sellua, joka pumpataan alueen omasta sellutehtaasta. (3.)

### **2.2 Oulun sellutehdas**

Sellutehdas muodostuu kahdesta päälinjasta, jotka ovat kuitu- ja talteenottolinja. Kuitulinjalla valmistetaan sellutehtaan lopputuote. Talteenottolinjalla otetaan talteen kuitulinjalla käytetyt kemikaalit uudelleen käyttöä varten, ja hyödynnetään prosessissa syntyvä energia. (3.)

Lisäksi sellutehtaaseen kuuluu erillinen jätevesien käsittely. Jätevesilaitoksen tehtävä on puhdistaa tehtaan jätevedet ennen niiden johtamista vesistöön. Ou-

lun sellutehdas tuottaa täysvalkaistua havusellua. Sellutehtaan tuotantokapasiteetti on 370 000 tonnia vuodessa, josta noin puolet käytetään omassa paperitehtaassa. (3.)

### **2.2.1 Kuitulinja**

Oulun sulfaattisellutehdas saa raaka-aineensa kuorimosta, jossa havupuut kuoritaan ja haketetaan hakekentälle. Hakekentältä hake kuljetetaan kuljettimien avulla keittämölle. (4.)

Keittämö on tyypiltään jatkuvatoiminen eli vuokeitin. Siinä puuhakkeen kuitu erotetaan ligniinistä liuottamalla valtaosa ligniinistä valkolipeän avulla korkeassa lämpötilassa. Vuokeittämö koostuu yhdestä jatkuvatoimisesta keittämöstä. (4.)

Keittämön jälkeen massa puhdistetaan. Massan puhdistus sisältää massan pesua, oksan erotusta ja lajittelua. Puhdistuksen jälkeen massa johdetaan valkaisuun. Valkaisun tavoitteena on sellun puhtauden ja vaaleuden parantaminen. Väriä selluun aiheuttaa jäännösligniini, joka poistetaan kemiallisen sellun valkaisuissa. (4.)

Osa valkaistusta sellusta pumpataan putkia pitkin tehdasalueella sijaitsevien paperikoneiden raaka-aineeksi. Loput sellusta kuivataan kuivatuskoneella. Kuivattu sellu paalataan paalauslinjalla, jotta sitä voidaan toimittaa asiakkaille tehdasalueen ulkopuolelle. (4.)

### **2.2.2 Talteenottolinja**

Talteenottolinjan päätehtävänä on keittokemikaalien talteenotto. Talteenottolinjaa kutsutaan myös usein lipeälinjaksi. Talteenottolinja pitää sisällään haihduttamon, soodakattilan, kaustisoinnin ja meesauunin. (5.)

Ensimmäinen prosessivaihe on haihduttamo, jonne keittämöllä syntynyt laihamustalipeä johdetaan veden poistoa varten. Haihduttamolta vahvamustalipeä johdetaan soodakattilaan poltettavaksi. (5.)

Soodakattilan tehtävänä on keittokemikaalien talteenotto ja orgaanisen aineksen palamisessa syntyvän lämmön talteenotto. Syntyvällä lämmöllä tuotetaan

höyryä ja höyryllä tuotetaan sähköä turbiinin sekä generaattorin avulla. Höyryä käytetään myös lämmittämiseen prosessin eri vaiheissa. Polttoliipeän sisältämät keittokemikaalit sulavat soodakattilassa ja ne otetaan talteen uudelleenkäyttöä varten. Kemikaalit liuotetaan viherlipeäksi ja siirretään kaustisointiin. (5.)

Kaustisoinnissa viherlipeästä tehdään keitossa käytettävää valkolipeää sammutetun kalkin avulla. Kaustisoinnissa syntyneestä valkolipeästä poistetaan syntynyt meesa eli kalkkiliete. Valkolipeä erotetaan meesasta, jonka jälkeen saatua valkolipeää voidaan käyttää uudelleen keittimessä. Valkolipeästä erotettu meesa poltetaan meesauunissa takaisin kalkiksi, jota käytetään kaustisoinnissa. (5.)

### 3 JÄTEVEDET SELLU- JA PAPERITEOLLISUUDESSA

Sellu- ja paperiteollisuuden jätevesille on ominaista, että ne sisältävät puuta joko alkuperäisessä tai muuttuneessa muodossa esimerkiksi ligniininä, tärkkelyksenä tai alkoholeina. Lisäksi jätevesissä on erilaisia prosessin aineita ja kemikaaleja joko alkuperäisessä tai muuttuneessa muodossa. (5.)

Valtaosa sellutehtaan jätevesistä syntyy valkaisulinjalla. Muilta osin prosessien jätevedet pystytään käyttämään hyvin hyödyksi muissa prosesseissa, mutta valkaisulinjan suodosten hyötykäyttö on hankalaa. Ongelman muodostavat puusta ja valkaisukemikaaleista peräisin olevat suolat, joiden kertyminen tehtaan lipeäkiertoon aiheuttaa suuria ongelmia esimerkiksi soodakattilalla. Sellun valkaisun jätevedet sisältävät paitsi puusta liuenneita orgaanisia yhdisteitä, myös puun mukana tulleita epäorgaanisia suoloja. (5.)

Valtaosa klooridioksidivalkaisussa (ECF) käytetystä klooridioksidista poistuu klorideina jätevesien mukaan ja vain pieni osa kloorattuina orgaanisina yhdisteinä. Valkaisun alkalisissa suodoksissa on paljon orgaanista ainesta ja happamissa taas epäorgaanista ainesta. Alkalisissa suodoksissa oleva ligniini on suurimolekyylisempää kuin happamien suodosten ligniini. Osa jätevesien orgaanisista aineista on rikkipitoisia ja siten myrkyllisiä. Tosin haihduttamon lauhteiden entistä parempi hyötykäyttö on vähentänyt näitä päästöjä huomattavasti. (5.)

Paperiteollisuudessa jätevesiä syntyy etupäässä paperikoneiden kiertojen ylijouksuina. Jätevedet sisältävät puun aineosasten lisäksi erilaisia kemikaaleja ja prosessin apuaineita, kuten päällystyspigmentejä ja täyteaineita. Lisäksi mekaanisen massan valmistus aiheuttaa jätevesipäästöjä. Tällöin kaikki jätekomponentit ovat puuperäisiä. Kuorimon jätevesissä on korkeita pitoisuuksia puun kuoresta liuenneita rasva- ja hartsihappoja. (5.)

Huomattava osa aineista on kiinteässä muodossa, osa taas kolloideina tai liuenneina. Puunjalostuksen jätevesille on tyypillistä suuri kolloidien määrä. Ravinteita, kuten typpeä ja fosforia, on muutamia poikkeuksia lukuun ottamatta vähän verrattuna esimerkiksi kunnallisiin jätevesiin. (5.)

Vesistöjen rehevöitymistä aiheuttavat ravinteet ovat peräisin puusta ja jätevedeen tarkoituksella lisätyistä ravinteista. Lisäravinteilla pyritään siihen, että aktiivilietelaitoksen mikrobikanta saa orgaanista ainetta ja ravinteita oikeassa suhteessa ja näin toimii mahdollisimman tehokkaasti. (5.)

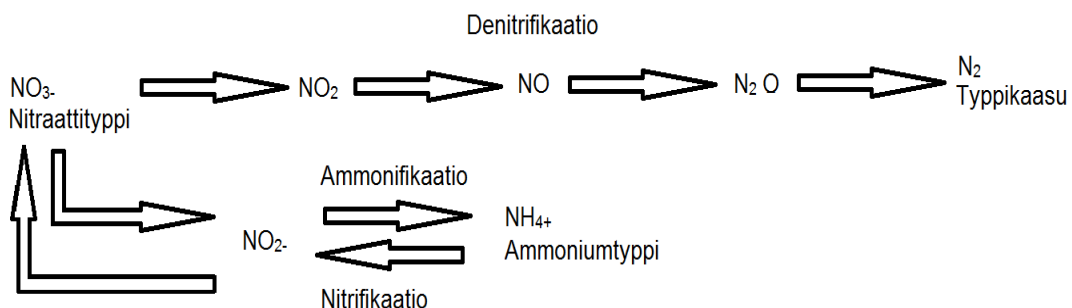
### 3.1 Typpi

Typpi on pääasiassa peräisin jätevedeen ennen aktiivilietelaitosta lisätyistä typpiravinteista, tyypillisesti ureasta. Tämän lisäksi typpeä liukenee jätevesiin raaka-aineena käytetystä puusta. (6.)

Typhen eri yhdisteistä ammonium ( $\text{NH}_4\text{N}$ ) on mikrobeille helppokäyttöisin typpi-lähde. Aktiivilietelaitokselle lisättävä ravinnelähde urea muuttuu ainakin osittain ammoniumiksi. Jos puhdistetussa jätevedessä on runsaasti ammoniumia, tarkoittaa se sitä, että ureanannostelu on liian suuri muuhun kuormitukseen nähden. (6.)

Typhen hallinnan kannalta on tärkeää tietää, mitä typhen yhdisteitä ja miten paljon liukoista typpeä tulee biologiseen puhdistussysteemiin sekä miten paljon sitä lähtee poistovesissä. Puhdistamolta lähtevä typpi on valtaosin liukoisessa muodossa. (6.)

Hapen lisäksi typhen poistoa säätelevät orgaanisen aineen määrä ja laatu sekä ravinteiden pitoisuudet sedimentissä ja vedessä. Olosuhteiden mukaan reaktio etenee kuvan 6 mukaisesti joko nitraatista kaasumaiseksi typeksi (denitrifikaatio) tai nitraatista ammoniumtypeksi (ammonifikaatio). (6.)



KUVA 1. Typhen reaktioketjut: denitrifikaatio, ammonifikaatio, nitrifikaatio (6)

Ammonium on haitallista esimerkiksi kaloille ja se pyritään muuttamaan jätevedenpuhdistuksessa nitraatiksi, vaikka tavoitteena ei olisikaan varsinainen typen poisto jätevedestä. (7, s. 545–546.)

Tärkeimmät typenpoiston mekanismit jätevedenpuhdistuksessa ovat biologisen puhdistuksen assimilaatio ja nitrifikaatio-denitrifikaatioprosessi. Assimilaatiossa typpeä sitoutuu solujen rakennusaineeksi ja poistuu prosessista poistettavan lietteen mukana. Nitrifikaatio-denitrifikaatioprosessissa nitrosomonas-bakteerit hapettavat ensin ammoniumin nitriitiksi, jonka nitrobakteerit hapettavat edelleen nitraatiksi. Toisessa vaiheessa erilaiset denitrifioivat bakteerit pelkistävät nitraatin typpikaasuksi ( $N_2$ ), joka poistuu vedestä ilmaan. (7, s. 211–213.)

### **3.2 Fosfori**

Fosfori on alkuaine, joten sitä ei voi hävittää, vaan tehtaalle tuleva fosfori on poistettava tehtaalta ympäristönsuojelun kannalta hyväksyttävässä muodossa. Raaka-aineiden, prosessikemikaalien ja veden mukana tehtaalle tulee fosforia, josta huomattava osa peseytyy jätevesivirtaan. (8, s. 220.)

Alkuaineena fosfori on reaktiivinen ja se on yleensä liittynyt happeen muodostaen fosfaatteja, jotka muodostavat kationien kanssa liukenevia tai saostavia yhdisteitä. Luonnossa orgaaniset yhdisteet hajoavat ja epäorgaaniset saostumat liukenevat, jolloin muodostuu liukoista fosfaattia, joka rehevöittää vesistöjä. Koska fosfaatit eivät muuten ole ympäristölle haitallisia, voidaan ympäristön kannalta pitää hyväksyttävänä sitä, että estetään fosforin pääsy vesistöön. (8, s. 222.)

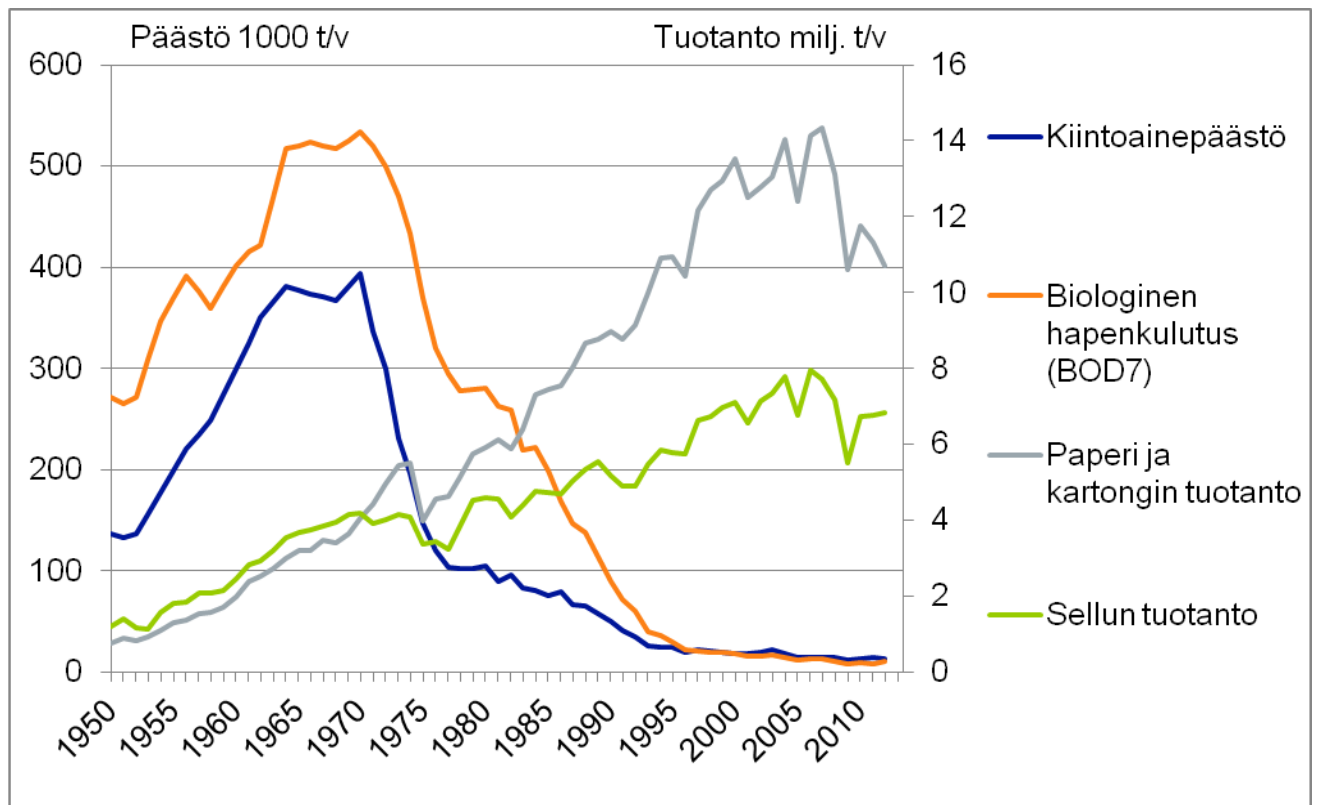
Sellutehtaan vesissä fosfori jakaantuu kiinteään ja liuenneen faasin välille. Kun pH on matalalla fosfori on liuenneena ja kun pH on korkealla, osa fosforista adsorboituu tai saostuu kiinteään faasin pinnalle. Kuorimon jätevesissä fosfori on pääasiassa kiintoaineeseen sitoutunut. Sellutehtaan prosessivesistä erityisesti valkaisuon hapansuodos on suuri liuenneen fosforin lähde. (8, s. 222.)

Fosfori on yleisesti poistettu kemiallisesti saostamalla, mutta sen poisto onnistuu myös biologisesti. Typpiyhdisteet eivät muodosta saostuvia suoloja, joten niiden poisto täytyy tehdä biologisesti. (8, s. 222.)

### 3.3 Hapen kulutusta lisäävät yhdisteet

Happea kuluttavia yhdisteitä ovat esimerkiksi alkoholit ja sokerit. Hapenkulutusta kuvataan BOD- ja COD -arvoilla. Massan valmistuksen eri vaiheissa puusta liukenevat aineet, kuten ligniini ja hiilihydraatit, kuluttavat vedessä hajotessaan happea. Mikäli hapenkulutus on suuri, voi vesistöön aiheutua happikatoa. (5.)

Jätevesien happea kuluttavien aineiden määrän vähentäminen on ollut iso tehtävä Suomessa metsäteollisuuden vesiensuojelun kannalta. Kuten kuvista 2 ja 3 nähdään, happea kuluttavaa kuormitusta onkin onnistuttu vähentämään parin viimeisen vuosikymmenen aikana merkittävästi. (5.)



KUVA 2. Suomen massa- ja paperiteollisuuden päästöt veteen (9)

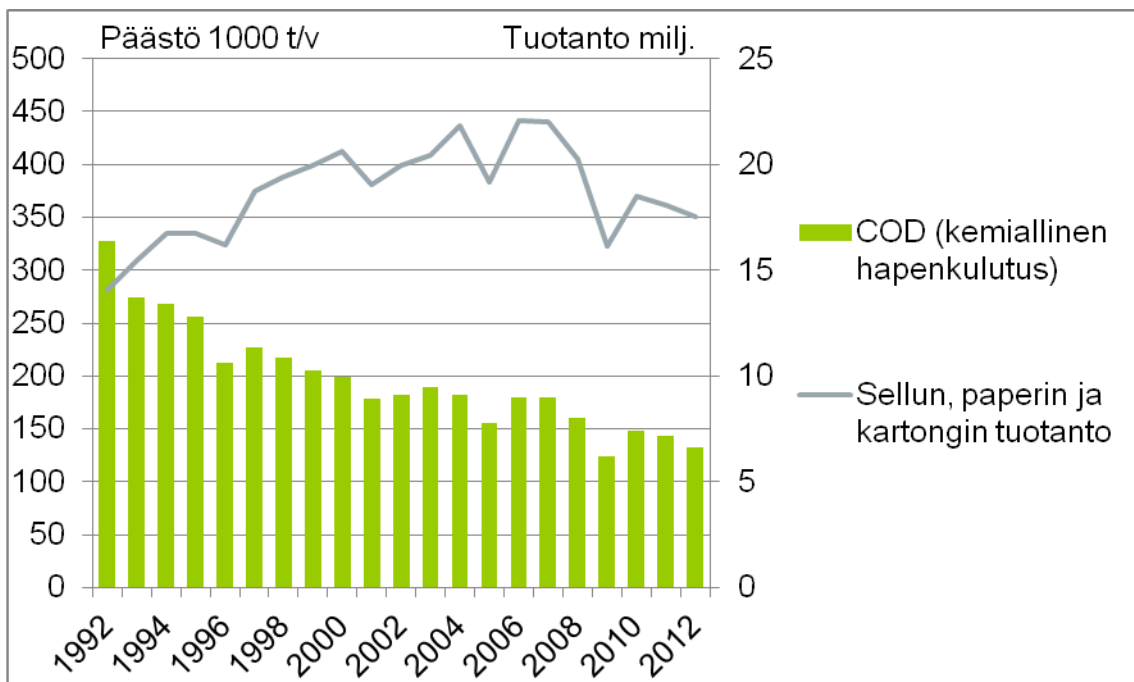
#### 3.3.1 BOD

BOD eli biologinen hapenkulutus kuvaa, kuinka paljon happea (mg/l) jäteveden orgaaninen aines vesistössä kuluttaa. BOD-luku antaa kuvan siitä, kuinka paljon jätevesissä on helposti hajoavaa eloperäistä ainesta. (5.)

BOD<sub>7</sub> kuvaa jäteveden hapenkulutusta bakteerien hajottaessa yhdisteitä viikon ajan ja BOD<sub>5</sub> vastaavaa viiden päivän aikana. Suomen metsäteollisuuden viimeaikaisen BOD<sub>7</sub>-arvon kehitys näkyy kuvasta 3. (5.)

### 3.3.2 COD

Kemiallinen hapenkulutus mitataan kemiallisesti voimakkaalla hapettimella. Teollisuuden jätevesissä voi esiintyä myrkyllisiä aineita, jotka heikentävät mikrobi-toimintaa. Tällöin COD-arvo antaa paremman kuvan orgaanisten aineiden määrästä kuin BOD-arvo. (5.) Kuvasta 3 nähdään, että COD-päästöt ovat olleet las-  
kusuunnassa viimeisen kymmenen vuoden ajan massa- ja paperiteollisuudessa Suomessa.



KUVA 3. Suomen massa- ja paperiteollisuuden COD-päästöt (9)



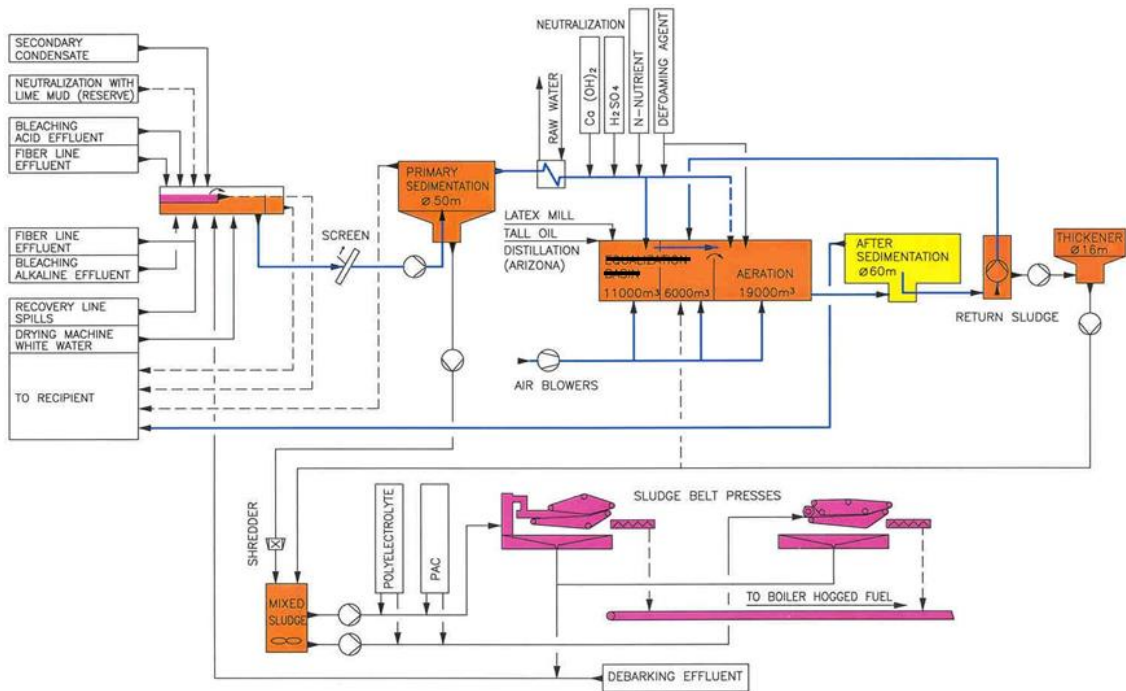
## 4 AKTIIVILIIETEMENELMÄ

Aktiiviliietemenetelmä on aerobinen jäteveden puhdistusmenetelmä, jossa orgaaninen aines hajoaa mikro-organismien avulla hapellisissa olosuhteissa. Näin lopputuloksena syntyy hiilidioksidia, vettä sekä uutta biomassaa. Aktiivilieteprosessin tavoitteena on veteen liunneen, siinä kolloidisena olevan ja kiinteänä kulkeutuvan ympäristölle haitallisen aineksen poistaminen vedestä tai sen muuntaminen haitattomaan muotoon. (10, s. 40.)

Aktiivilietemenetelmän pääosat ovat ilmastus ja selkeytys, jotka määräävät prosessin toiminnan. Prosessissa aktiiviliete eli bioliete ja jätevesi pidetään sekoituksen avulla tasalaatuisena seoksena ilmastusaltaalla, jonne johdetaan happea. Seos johdetaan ilmastusaltaalta jälkiselkeytykseen, jossa liete laskeutetaan ja pääosin palautetaan takaisin ilmastusaltaalle. Ylimääräinen bioliete poistetaan prosessista jatkokäsittelyyn. (10, s. 40.)

Sellutehtaan jätevedet puhdistetaan mekaanisesti ja biologisesti aktiivilietelaitoksella. Aktiivilietelaitoksen jätevesi koostuu suurimmalta osin sellutehtaan jätevesistä. Vähäinen määrä jätevettä saapuu myös tehdasalueen kemiantehdailta. Paperitehtaan jätevedet käsitellään omalla puhdistuslaitoksella. (11.)

Luvuissa 4.1–4.6 on käsitelty Oulun Stora Enson sellutehtaan aktiivilietelaitoksen eri puhdistusvaiheet. Kuvassa 4 on Oulun sellutehtaan jätevesilaitoksen aktiivilieteprosessi.



KUVA 4. Aktiivilieteprosessi (4)

#### 4.1 Koneellinen välppäys ja esiselkeytys

Ensimmäinen vaihe jäteveden puhdistuksessa on välppäys, jossa jätevedestä poistetaan karkeat epäpuhtaudet, kuten esimerkiksi oksat. Jollei tätä vaihetta tehtäisi, syntyisi puhdistusprosessin myöhemmissä vaiheissa ongelmia, kuten takertumisia ilmastimiin, kaapimiin ja muihin laitteisiin. (12.)

Karkeimmista epäpuhtauksista puhdistettu vesi johdetaan esiselkeyttimeen, jossa vettä raskaampi aines laskeutetaan altaan pohjalle. Pyörivän laahainkoneiston avulla pohjalle laskeutunut liete siirretään altaan keskiössä olevaan lietesyvennykseen, josta se pumpataan edelleen sekalietesäiliöön. (11, s. 1.)

Esiselkeyttimen pinnalle jäävä kirkaste johdetaan ylijooksuna lämmönvaihtimelle. Aktiivilieteprosessi on myös mahdollista ohittaa poikkeustilanteessa, jolloin esiselkeytetty vesi ohjataan kuoha-altaaseen ja sitä kautta mereen. (11, s. 1.)

#### 4.2 Jäähdytys

Saapuva jätevesi on yleensä kuumempaa kuin aktiivilieteprosessin toimivuuden kannalta on suotavaa. Tämän vuoksi jätevesi tulee jäähdyttää biologiselle toiminnalle sopivaksi eli noin 35–40 °C:seen. Lämmönvaihtimen jäähdytystehoa

säädetään tehdasvedellä, jota voidaan ohjata tarvittaessa myös suoraan neutralointialtaaseen. (11, s. 1.)

### **4.3 Neutralointi**

Jäähdytetty jätevesi johdetaan neutralointialtaaseen, jossa siihen lisätään rikkihappoa, vaahdonestoainetta ja ureaa. Ravinteena käytetään ureaa (tyypeä). Fosforia ei tarvitse lisätä, sillä tehtaalta tulevissa jätevesissä on sitä itsessään biotoimintaan riittävästi. (11, s. 2.)

Rikkihappoa käytetään pH:n säätämiseen optimaaliselle alueelle. Rikkihappoa lisätään mikäli jätevesi on emäksistä. Neutralointialtaan pH:n tavoitearvona käytetään 7,5 pH:ta. (11, s. 2.)

### **4.4 Ilmastusallas**

Ilmastusallas on jaettu nimellisesti kahteen osaan, mutta käytännössä ilmastusallas on yhtenevä ympyrärenkaan muotoinen allas. Ensimmäinen osa on 7,5 metriä syvä ja tilavuudeltaan 11 000 m<sup>3</sup>:n maapohja-allas. Tähän osaan johdetaan jätevedet ja palautusliete, jolloin sen hapetustarve on suuri. Tämän vuoksi sinne on sijoitettu kuusi OKI-ilmastinta ja kolme pintailmastinta. (11, s. 3.)

Ensimmäisestä osasta jätevesi johdetaan jälkimmäiseen osioon, jonka tilavuus on 25 000 m<sup>3</sup>. Jälkimmäiseen osioon on sijoitettu 12 OKI-ilmastinta. Ilmastusallas kokonaisuudessaan on ympyrärenkaan mallinen. (11, s. 3.)

Koska altaan alkuosan biotoiminta kuluttaa enemmän happea, sen happipitoisuudet ovat normaalisti pienemmät kuin loppupäässä. Tämä selviää myös luvun 6.1 sisällöstä, jossa on tutkittu altaan happipitoisuuksia eri aikaväleillä. Yleisesti happipitoisuus vaihtelee välillä 1–5 milligrammaa litrassa (mg/l) mittauspisteestä riippuen. Eri lähteiden mukaan ilmastusaltaan riittävä happitaso altaan jokaisessa osassa olisi 1,5–3 mg/l. Yli 4 mg/l:n happitaso ei enää paranna merkittävästi puhdistustulosta. (7, s. 517; 12.)

## 4.5 Jälkiselkeyty

Ilmastusaltaasta jätevesi johdetaan edelleen jälkiselkeytysaltaaseen. Siellä ilmastusaltaassa syntynyt flokki laskeutuu jälkiselkeyttimen pohjalle. Pohjalta se poistetaan imulaahaimella ja palautuslietepumpulla ja palautetaan ilmastusaltaan alkuosaan riittävän biomassapitoisuuden ylläpitämiseksi. Osa lietteestä johdetaan lietteenkäsittelyyn. (11, s. 8.)

Jälkiselkeyttimessä selkeytynyt vesi johdetaan ylikaatona kuoha-altaaseen ja sitä kautta vesistöön. Poistuvasta jätevedestä mitataan reaaliaikaisesti mm. kokonaistyyppi, kiintoainepitoisuus sekä kemiallinen hapenkulutus (COD). Jäteveden pitoisuuksia analysoidaan myös laboratoriossa tietyin väliajoin otettavasta näytteestä. Taulukossa 1 on esitetty eräs puhdistustulosraportti. (11, s. 8; 9.)

TAULUKKO 1. Jäteveden puhdistustulokset (13)

A 1. virtaama	m <sup>3</sup> /d	33251
A 2. pH		7,7
A 3. lämpötila	°C	35
A 4. sähkönjohtavuus	mS/m	274
A 5. kiintoaine	mg/l kg/d	13 446
A 6. BOD <sub>7</sub>	mg O <sub>2</sub> /l kg O <sub>2</sub> /d jätevesipuhdistamon reduktio-%	6,9 229 97,9
A 7. COD <sub>Cr</sub>	mg O <sub>2</sub> /l kg O <sub>2</sub> /d jätevesipuhdistamon reduktio-%	441 14664 66,0
A 8. kokonaisfosfori	mg/l kg/d	0,295 9,81
A 9. kokonaistyyppi	mg/l kg/d	1,54 51,21
A 10. kokonaisriikki	mg/l kg/d	79 2627
A 11. natrium	mg/l kg/d	570 18953

#### **4.6 Tiivistin**

Osa jälkiselkeytyksestä tulleesta lietteestä poistetaan tiivistimeen. Tiivistin on pyöreä ja sen pohja on kartionmuotoinen. Altaassa pyörii laaha, joka ohjaa lietteen keskellä olevaan syvennykseen, josta bioliete pumpataan pumpun avulla sekalietesäiliöön. Biolietettä käsitellään vielä myöhemmässä vaiheessa ja sitä voidaan käsittelyn jälkeen polttaa turvekattilassa. Tiivistimen kirkaste johdetaan takaisin ilmastusaltaaseen. (11, s. 9.)

## 5 TOIMILAITTEET JA MITTAUKSET

Työssä ohjataan aktiivilietelaitoksen ilmastusaltaan happimittausten perusteella turbopuhaltimien johtosiipien asentoa. Ohjattavia turbopuhaltimia on kaksi kappaletta ja ne on rinnankytketty. Turbopuhaltimilta saatava ilma johdetaan putkistoa pitkin ilmastusaltaassa sijaitseviin OKI-pohjailmastimiin, joiden avulla pyritään aktiivilietteeseen sitomaan happea ilmasta. Ilmastimia altaassa on yhteensä 21 kappaletta, joista 18 on OKI-pohjailmastimia ja kolme pintailmastimia.

Liitteeseen 1 on merkitty punaisella värillä ilmastimien sijainnit ilmastusaltaassa. Turbopuhaltimet löytyvät liitteen 1 kuvaan merkitystä kemikaalirakennuksesta. Happimittauksia on neljä ja ne ovat sijoiteltu ilmastusaltaan eri kohtiin. Ensimmäinen mittaus on ilmastusaltaan ensimmäisessä osassa, johon saapuva jätevesi ja palautusliete syötetään, loput kolme mittausta ovat jälkimmäisen osan alussa, keskellä ja lopussa (liite 1).

### 5.1 Turbopuhaltimet

Turbopuhaltimien valmistaja on tanskalainen HV-TURBO ja ne ovat tyypiltään radiaalipuhaltimia. Turbopuhaltimien keskeisimmät tekniset tiedot on esitelty taulukossa 2.

TAULUKKO 2. Turbopuhaltimien tekniset tiedot (14, s. 1)

<b>Kompressori</b>		
Ilmamäärä maksimi	12600	m <sup>3</sup> /h
Ilmamäärä minimi	5670	m <sup>3</sup> /h
Imupaine	1,013	bar
Lähtöpaine maksimi	1,763	bar
Pyörimisnopeus	14400	r/min
Tehonotto maksimi	291	kW
<b>Vaihteisto</b>		
Tehonsiirto	291	kW
Pyörimisnopeus (sisään)	2979	r/min
Pyörimisnopeus (ulos)	14400	r/min
<b>Kompressorin moottori</b>		
Teho	355	kW
Jännite	380/660 - 50	V - Hz
Pyörimisnopeus	2979	r/min

### **5.1.1 Kompressorin rakenne**

Kompressor on yksivaiheinen radiaalikompressor ja siihen kuuluu seuraavat pääosat:

- tulo
- spiraalipesä
- diffusoriyksikkö
- juoksupyörä
- takalevy.

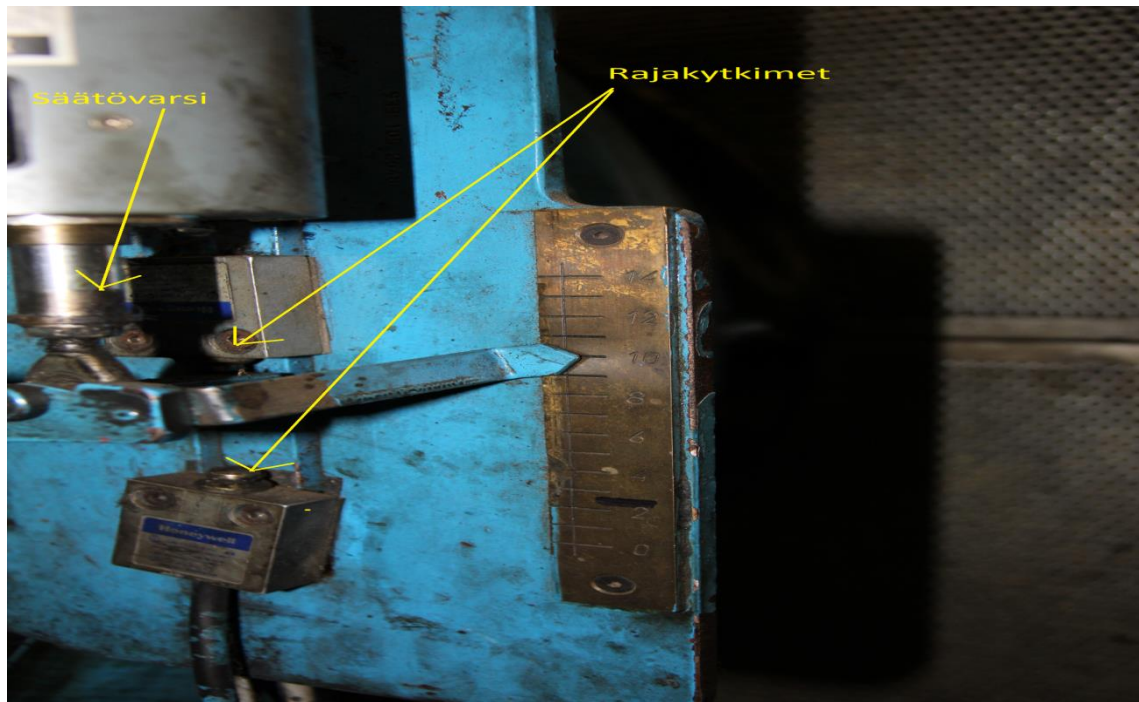
Kompressorin juoksupyörä on asennettu vaihteiston toisioakseliin malja-asennuksella, minkä vuoksi itse kompressorisyksikössä ei ole laakereita. (14, s. 2.)

Diffusoriyksikössä on säädettävät siivet. Täten on mahdollista säätää kompressorin tuottamaa ilmamäärää. Ilma tulee tuloaukosta aksiaalisesti juoksupyörään, minkä jälkeen se tangentialisesti johdetaan diffusorin siipien kautta spiraalipesään ja poistolaippaan. Poistolaipasta voidaan ilma johtaa putkiston kautta käyttöpaikalle. Takalevy sulkee spiraalipesän takaosan ja toimii samalla kompressorin jalustana. (14, s. 454.)

### **5.1.2 Diffusorin säätölaitteisto**

Diffusorin ulkoinen säätölaitteisto on sähköinen lineaarimoottori, jonka liikkeitä ohjataan joko paikallisesta ohjauspaneelistä tai kauko-ohjauksella logiikan ja automaatiojärjestelmän avulla. (14, s. 455.)

Säätövarren avulla johdetaan käyttövoima säätöakselin kautta sisäiseen diffusorin säätölaitteistoon. Säätövarren liikettä säätelevät rajakytkimet. Aktivoituessaan kytkimet antavat signaaleja diffusorin max- ja min-asennoista. (14, s. 455.) Säätölaitteiston edellä mainitut osat näkyvät kuvassa 5.



*KUVA 5. Turbopuhaltimen johtosiipien säätölaitteisto (kuva: Juhani Pajari)*

### **5.1.3 Johtosiipisäätö**

Työssä käytettävien turbopuhaltimien ilmavirran säätö tapahtuu johtosiipisäätöä käyttäen. Muita yleisesti käytettäviä säätöjä ovat kuristussäätö, pyörimisnopeussäätö ja siipikulmasäätö. (15, s. 57.)

Puhaltimen imuaukolle asennetulla johtosiipisäätimellä aiheutetaan kaasuvirralle siipipyörän pyörimissuunnan mukainen pyörimisliike. Tilavuusvirta pienenee, mutta tehohäviö on kaasun pyörimisliikkeen johdosta paljon pienempi kuin esimerkiksi kuristussäädössä. Säätimen suhteellisen halvan hinnan takia tämä on keskipakoispuhaltimilla paljon käytetty säätötapa. (15, s. 57.)

Kun johtosiipisäätimen avulla aiheutetaan puhaltimeen virtaavalle kaasulle siipipyörän pyörimissuuntainen pyörimisliike, ei puhallin enää toimi varsinaisen painekäyränsä mukaisesti, vaan kutakin säätimen kulmaa vastaa uusi, alempi painekäyrä. (15, s. 57.)

Johtosiipisäädin toimii tehokkaimmin pienpaineiseen puhaltimeen liitettynä, koska tällöin pienempikin säätimellä aiheutettu lisävastus muuttaa systeemin kokonaisvastusta. Suurpaineisilla puhaltimilla tilavuusvirran säätö tiettyyn pro-



senttimäärään vaatii suuremman säätökulman. Puhaltimien paineluokkiin jako näkyy taulukosta 3. (15, s. 58.)

TAULUKKO 3. Puhaltimien paineluokat (15, s. 38)

Paineluokka	Kokonaispaine $\rho_{tF}$ [Pa]	Ominaishyötyö $y$ [J/kg]	Tiheyden muuttumisen huomioonotto
Pienpaine	< 720	< 600	Ei tarpeen
Keskipaine	>720 <3600	>600 <3000	Riippuu halutusta tarkkuudesta
Suurpaine	>3600	>3000	Välttämätöntä

Taulukossa 3 annetuilla raja-arvoilla tarkoitetaan puhaltimen normaaleja maksimiarvoja. Jakoa voidaan pitää myös ohjeena sille, miten tärkeää on eri tapauksissa ottaa puhallinta valittaessa huomioon kaasun kokoonpuristuminen eli tiheyden muuttuminen puhaltimessa. (15, s. 38.)

## 5.2 Ilmastus

Ilmastus on yleistermi kaasun siirrolle vesi- ja kaasufaasin välillä. Vaikka ilmiö on luonteeltaan fysikaalinen, sillä on runsaasti kemiallisia vaikutuksia, joten sitä voidaan kutsua fysikaalis-kemialliseksi käsittelyksi. (7, s. 69.)

Ilmastuksen avulla muutetaan veteen liuenneiden kaasujen määrää. Toimenpide sellaisenaan on fysikaalinen, mutta siitä saattaa olla seurauksena kemiallisia tai biokemiallisia laadun muutoksia. Kysymyksessä voi olla esimerkiksi hapettoman pohjaveden hapen lisäys ja samanaikaisesti hiilidioksidin vähentäminen tai hapen lisääminen jäteveteen aerobisten hajotusprosessien hapenkulutusta vastaavasti, kuten tässä opinnäytetyössä on tarkoituksena. (7, s. 69.)

Ilmastus jaetaan kahteen päätaphtumaan seuraavasti:

- kaasun lisäys veteen, jota kutsutaan absorptioksi
- kaasun poisto vedestä, jota kutsutaan desorptioksi eli yleisimmin strippaukseksi (7, s. 69).

### 5.3 Ilmastimet

Jäteveden puhdistuksessa ilmastimet on toimintatapansa perusteella jaettu karkeasti kolmeen pääryhmään seuraavasti:

- pohjailmastimet
- pintailmastimet
- yhdistetty pohja- ja pintailmastimet (7, s. 529).

Taulukossa 4 on esitetty pohja- ja pintailmastinten hapetustehot. Hapetustehot voivat kuitenkin vaihdella suurestikin ilmastimen rakenteen ja valmistajan mukaan.

TAULUKKO 4. Ilmastimien hapetustehot (7, s. 528.)

Ilmastintyyppi	Hapetusteho
Hienokuplailmastin	1,7–3,0 kg O <sub>2</sub> /kWh
Keskikarkeakuplailmastin	1,2–2,3 kg O <sub>2</sub> /kWh
Karkeakuplailmastin	0,7–2,0 kg O <sub>2</sub> /kWh
Pintailmastimet	1,3–2,2 kg O <sub>2</sub> /kWh

#### 5.3.1 Pohjailmastimet

Pohja- eli diffuusioilmastuksessa kaasua, esimerkiksi ilmaa tai puhdasta happea, johdetaan pieninä kuplina veteen. Sen tähden diffuusioilmastimet on yleensä luokiteltu kuplakoon mukaan eri tyyppeihin. Kuplakoon mukaan ilmastimet jaetaan seuraavasti:

- hienokuplailmastimet, kuplakoko 2–3 mm
- keskikarkeakuplailmastimet, kuplakoko 3–5 mm
- karkeakuplailmastimet, kuplakoko > 5 mm. (7, s. 73.)

Ilmastuksen teho on sitä parempi, mitä pienempi on kuplan koko. Kuitenkaan kuplakokoa ei voi rajattomasti pienentää, sillä ilmastimen energian tarve kasvaa samalla voimakkaasti. On otettava huomioon myös, että pienemmät suutinreiät

tukkeutuvat helpommin kuin suuremmat, etenkin jätevesiä käsiteltäessä. (7, s.73.)

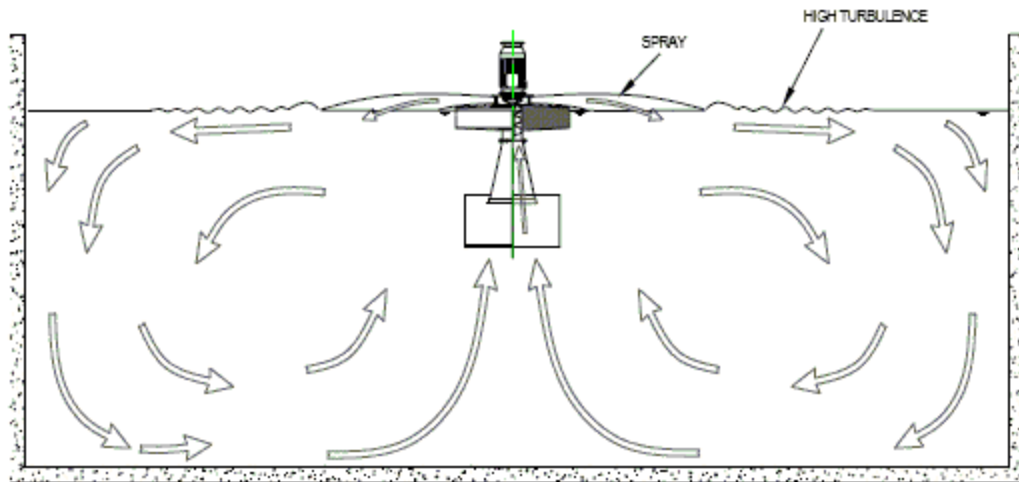
### **5.3.2 Pintailmastus**

Pintailmastimia käytetään hapen lisäämiseen veteen ja kaasujen ja haihtuvien aineiden poistoon, kun poistoprosentti on vähemmän kuin 90 %. Pintailmastimia on kaksi perustyyppiä. Toisessa on pyörivä harja ja toisessa turbiinityyppinen ilmastin, jossa potkuria muistuttava laite pyörii välittömästi vedenpinnan alapuolella. (7, s. 73.)

Pintailmastimia käytetään etupäässä jätevesien puhdistuksessa. Suomessa pintailmastimien käyttö on vähentynyt ankarien talvisten olosuhteiden takia. Sisätiloissa pintailmastimien käyttöä rajoittavat terveydelliset seikat, sillä jätevesien sisältämät tauteja aiheuttavat mikrobit leviävät helposti puhdistamon sisätiloissa ja muodostavat potentiaalisen riskin henkilökunnalle. (7, s. 73.)

Hapensiirto tapahtuu pintailmastimen nostaessa hapetettavaa vettä roiskuttaen sitä ympärilleen pisaroina. Pisarat ottavat ilmasta mukaansa happea ja putoavat takaisin veteen. Osa hapesta siirtyy veteen kuplista, jotka kulkeutuvat virtauksen vuoksi syvemmälle ilmastusaltaaseen. Pintailmastimen toimintaa on havainnollistettu kuvassa 6. Etuna kyseisellä ilmastintyyppillä voidaan pitää yleisesti hyvää hapetustehoa sekä riippumattomuutta ilmastusputkista ja kompressoreista. (7, s. 73)

Tässä työssä käsiteltävässä ilmastusaltaassa on kolme pintailmastinta, jotka sijaitsevat ilmastusaltaan alkupäässä. Pintailmastimet ovat malliltaan turbiinityypisiä.



KUVA 6. Pintailmastin (11)

### 5.3.3 Yhdistelmäilmastimet

Yhdistelmäilmastimissa on yhdistetty karkea- ja hienokuplailmastuksen edut. Tämän tyyppisissä ilmastimissa paineilmaa johdetaan pyörivän roottorin lähelle, jonka siivet hajottavat karkeat kuplat pienemmiksi ja näin ollen parantavat hapeustehoa. (7, s. 530.)

Yhdistelmäilmastimia on usein käytetty puunjalostusteollisuuden jätevesien puhdistukseen. Myös tämän työn kohteena olevassa ilmastusaltaassa olevat OKI-pohjailmastimet toimivat kyseisellä periaatteella. Kuvassa 7 on kuva maanpinnalle nostetusta OKI-pohjailmastimesta. Ilmastimen vasemmassa reunassa näkyy pystyssä oleva putki, johon ilmastusilma syötetään ja josta se kulkeutuu ilmastimen pohjassa näkyville siiville.



KUVA 7. OKI-pohjailmastin (kuva: Juhani Pajari)

## 5.4 Ilmastuksen ohjaus

Suurella osalla jätevedenpuhdistamoista suurin yksittäinen energiankuluttaja on ilmastusallas ja sen ilmastus. Tästä johtuen ilmamäärän säästöpotentiaali tai prosessin mahdollinen tehostaminen voivat merkitä suuriakin säästöjä energiankulutuksessa. Ilmastusaltaiden happipitoisuudella on lisäksi suuri merkitys kaikissa biologisissa prosesseissa, joten parempi ilmastuksen ohjaus voi vaikuttaa merkittävästi myös jätevesilaitoksen puhdistustuloksiin. (16, s. 152.)

Ilmamäärän ohjaus happipitoisuuden mukaan on tehokas tapa vastata laitoksen tulokuorman vaihteluun. Puhdistettavan kuorman kasvaessa ilmastusaltaassa hapenkulutus nousee pyrkien laskemaan veteen liuenneen hapen määrää. Tämän happimittari mittaa ja ohjausjärjestelmä nostaa altaan hapetusta muutoksen estämiseksi. Samoin alhaisen kuormituksen aikaan happitaso ei pääse altaassa nousemaan turhan korkeaksi, jolloin hapen liukenemistehokkuus laskee. Happipitoisuuden mukainen ilmamäärän ohjaus voi säästää jätevedenpuhdistamolla noin kolmasosan energiaa tasaiseen ilmamäärän syöttöön verrattuna. (16, s. 101.)

Ilmastusaltaan happipitoisuuden mittaus yhdestä kohdasta ei useinkaan anna riittävää informaatiota koko altaan happipitoisuudesta. Etenkin tulppavirtaus-tyyppisissä ilmastusaltaissa, joissa epäpuhtauksien pitoisuus pienentyy loppua kohden, hapen tarve muuttuu altaan matkalla. Altaan yhden pisteen happipitoisuuden mukainen ilmamäärän ohjaus voi aiheuttaa suuriakin happipitoisuuden vaihteluja altaan muissa osissa. Tämän vuoksi happimittauksia tulisi olla vähintään kaksi, kolme tai useampia ja myös ilmanjakoon tulisi kiinnittää huomiota, jolloin happipitoisuudet saadaan pidettyä tehokkaasti halutulla tasolla. (16, s. 25.)

## 5.5 Liuenneen hapen mittaus

Mittaussuurella "liennut happi" ilmaistaan liuenneen hapen määrää sen kaasupitoisessa, nestemäisessä tilassa yksikössä mg/l. Mittaustarkkuus hapen liukoisuuden mittauksessa on yleisesti noin  $\pm 2$  % mittausalueesta. (17.)

Hapen liukoisuus veteen riippuu pääasiallisesti kolmesta tekijästä:

- hapen osapaineesta
- veden lämpötilasta
- muiden veteen liuenneiden aineiden, esimerkiksi suolojen, sokereiden tai kaasujen määrästä (12, s. 255).

Liuenneen hapen mittauksissa eniten käytettyjä antureita ovat joko galvaaniset tai polarografiset sähkökemialliset kennot. Anturissa on elektrolyytillä täytetty, membraanilla varustettu kärki, jonka sisällä ovat katodi ja anodi. Näytteessä oleva happi diffundoituu membraanin läpi kennoon ja pelkistyy jalometallikato-dilla kemiallisesti hydroksyyli-ioneiksi, jotka kulkevat lyijyanodille ja tapahtuu hapettumisreaktio. (12, s. 255.)

Yleisimpiä sovellusalueita jäteveden käsittelyn lisäksi ovat

- voimalaitosten kattilavedet
- biotekniikan prosessit
- kemian prosessit
- kalanviljelylaitokset: hapensyötön ohjaus, kun veden laatua tulee säädellä kalanjalostustarkoituksessa
- juomaveden käsittely: hapetusvaiheen optimointi vesilaitoksissa
- ympäristötekniikka: pintavesien laadun arviointi (17).

Liuenneen hapen mittauspiiriin tarvitaan vähintään anturi, kaapeli ja vahvistin eli lähetin. Lähettimessä anturilta saatava jännite vahvistetaan ja muutetaan liuenneen hapen arvoa näyttävälle mittarille sopivaksi viestiksi. Lähettimeltä saadaan mittauspiiriin jännitteeseen verrannollinen standardiviesti. (17.)

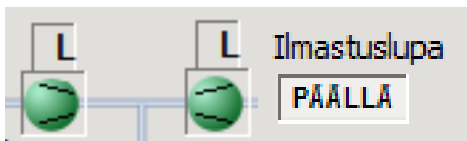
## 6 SÄÄTÖSUUNNITTELU

Työn tarkoituksena oli rakentaa säätöpiiri aktiivilietelaitoksen ilmastusaltaan ilmastukseen käytettäviin turbopuhaltimiin. Lähtötilanteessa kävi ilmi, että säätimen avulla ohjattavat turbopuhaltimet olivat olleet jo useamman vuoden ajan paikallisohjauksessa, joten ensimmäinen vaihe olisi näin ollen mahdollistaa turbopuhaltimien ohjaus kauko-ohjauksena. Turbopuhaltimille löytyi ajotapaselosteet (liite 2), jonka mukaisesti niitä lähdettiin kytkemään kauko-ohjaukseen. Tämän vaiheen jälkeen edessä oli happitrendien analysointi, askeltestien suorittaminen, säätimen suunnittelu, vitysparametrien määrittäminen ja säätimen testaus.

### 6.1 Turbopuhaltimien kytkeminen kauko-ohjaukseen

Jotta hapen säätöpiirin käyttö olisi mahdollista, tuli ohjattavien puhaltimien olla asetettuna kauko-ohjaukseen paikallisohjauspaneelista sekä käyttöliittymästä ilmastuslupa annettuna. Puhaltimien ohjaus oli toteutettu Siemensin ohjauslogiikoilla ja säätöpiiri MetsoDNA-automaatioympäristössä. Puhaltimien ajotapaohjeet löytyvät sellutehtaan sisäisistä ajotapaselosteista (liite 2).

Puhaltimien tila tarkistettiin käyttöliittymästä. Kuten kuvasta 8 nähtiin, molemmat puhaltimet olivat "local"-tilassa eli paikallisohjauksessa. Myös ilmastuslupa oli päällä.



*KUVA 8. Turbopuhaltimien symbolit käyttöliittymässä*

Puhaltimien tilanvaihto paikallisohjauksesta kauko-ohjaukseen tapahtui painamalla kauko-ohjauspainiketta paikallisohjauspaneelista, jolloin paikallisohjaus kytkeytyi automaattisesti pois ja kauko-ohjaus kytkeytyi päälle. Tämä toimi samalla periaatteella myös toiseen suuntaan.

Puhaltimia ei kuitenkaan ollut ajettu useaan vuoteen kauko-ohjauksella, joten oli odotettavissa mahdollisesti ongelmia. Viimeisimmät varmat toimintatestaukset ja -kuvaukset oli tehty ennen vuotta 2006, jolloin oli tehty järjestelmä- ja ohjauslogiikkapäivityksiä. Puhaltimien ja logiikoiden toimintaympäristö on myös sellainen, joka voi aiheuttaa vikaantumista ja häiriöitä.

### 6.1.1 Turbopuhallin A kauko-ohjaukseen

Turbopuhallin A valittiin käyttökäytön kanssa kauko-ohjaukseen. Vaihto paikallisohjauksesta kauko-ohjaukseen sujui ongelmitta ja tilan vaihtuminen voitiin havaita myös käyttöliittymästä, kuten kuva 9 osoittaa. Puhallinsymbolin yläpuolella oleva kirjain "A" tarkoittaa, että puhallin on automaattitilassa.



*KUVA 9. Turbopuhaltimien symbolit käyttöliittymässä*

Turbopuhallin B jätettiin paikallisohjaukseen varotoimenpiteenä, koska ei ollut varmuutta, miten tilanvaihto onnistuisi ja miten puhaltimet käyttäytyisivät kauko-ohjaustilassa. Puhaltimen A siipikulmien säätöä testattiin valvomon käyttöliittymästä eli kauko-ohjauksena. Kuitulinjan valvomon käyttöliittymästä asetettiin puhaltimien säädin manuaalitilaan, jotta säätimen parametrit eivät vaikuttaisi ohjaukseen. Säätimen lähtöskalaus oli tehty välille -10–10 sekuntia. Säädin antoi siis ulostulona ohjauspulsseja, joiden mukaisesti turbopuhaltimien johtosiipien asennot muuttuivat. Mikäli pulssi oli esimerkiksi -10, säätivät siivet kiinni-suuntaan 10 sekunnin ajan. Vastaavasti jos pulssi on 10, siivet kääntyivät auki-suuntaan.

Säätimen lähtöön asetettiin erisuuruisia ohjauspulsseja ja havaittiin johtosiipien asentotiedon muuttuvan pulssien syöttämisen jälkeen. Pian havaittiin kuitenkin, että johtosiipien ohjaussuunnat eivät toimineet halutulla tavalla, vaan johtosiivet



ajautuivat kiinni- ja auki-suuntaan hyvinkin mielivaltaisesti riippumatta siitä, oliko ohjauspulssin etumerkki – vai +.

Tätä ongelmaa selvitettiin alkuun säätöpiirin sisäisiä toimintoja tutkimalla. Säätöpiiri on toteutettu Metson kehittämällä FbCAD-suunnittelutyökalulla. Säätöpiirin sisältö näkyy liitteessä 3.

Säätöpiiristä löydettiin laskentaan tullut virhe, jonka vuoksi säädin toimi juuri toisinpäin kuin haluttiin. Mikäli annettiin --etumerkkinen pulssi, säädin ohjasi johtosiipiä auki-suuntaan ja päinvastoin. Virhe korjattiin ohjelmasta muuttamalla liitteestä 3 kohdasta 7 löytyvän calc-toimilohkon kaavasta erään parametrin --etumerkki +-etumerkkiin. Vaikka tämä virhe korjattiin, ongelmat eivät poistuneet, vaan johtosiipien asento ei muuttunut halutulla tavalla. Nyt oli kuitenkin yksi vian aiheuttaja saatu suljettua pois.

Käyttöhenkilökunnan mukaan ongelmia turbopuhaltimien ohjauksen kanssa oli esiintynyt automaatiojärjestelmä- ja logiikkapäivitysten jälkeen. Ratkaisua ongelmiin lähdettiin etsimään puhaltimien logiikkaohjelmasta ja I/O-liitännöistä.

Ratkaisu ongelmiin löytyi, kun huomattiin puhaltimien logiikan tulosignaaleista "lisää"- ja "vähennä"-tulojen aktivoituvan samanaikaisesti. Säätimeltä tuleva ohjaussignaali antoi siis käskyn ohjata johtosiipien asentoa samanaikaisesti kiinni sekä auki. Syyksi ilmeni automaatiojärjestelmän vaihdossa tulleen lähtökortin periaatteen muuttuminen, jota suunnitteluvaiheessa ei ollut huomattu.

Aiemmin automaatiojärjestelmänä oli ollut Honeywellin Alcont –automaatiojärjestelmä ja nykyään järjestelmänä toimii siis MetsoDNA. Virheen havaitsivat työn suorituksessa paljon auttaneet Eforan projekti-insinööri Matti Rautioaho sekä kunnossapitopalveluvastaava Janne Myllyaho. He saivat virheen korjattua muuttamalla lähtökortin johdotukset oikeanlaisiksi.

### **6.1.2 Molemmat turbopuhaltimet kauko-ohjaukseen**

Puhaltimien ajotapaselostuksen (liite 2) mukaan molempien turbopuhaltimien tuli olla valittuna kauko-ohjaukseen. Tähän asti siis vain turbopuhallin A oli valittuna kauko-ohjaukseen ja B oli paikallisohjauksessa.

Vaihdettaessa B-turbopuhaltimen tila paikallisohjauksesta kauko-ohjaukseen ajautuivat molemmat turbopuhaltimet kuitenkin alas ja tilanne korjaantui vain asettamalla vähintään toinen puhaltimista paikallisohjaukseen. Turbopuhaltimia kokeiltiin usein eri keinoin saada toimimaan yhtäaikaisesti kauko-ohjauksella, mutta lopputulos oli aina edellä mainittu.

Olisi suotavaa, että molemmat puhaltimet olisivat kauko-ohjauksessa, sillä mikäli vain toista turbopuhaltimista voidaan ohjata säätimen avulla, säätöalue olisi vain puolet suunnitellusta. Tilanne oli kuitenkin sellainen, että säädintä voitiin testata toisen puhaltimen avulla, joten päätettiin, että molempien puhaltimien yhteistoiminnan testaaminen jäisi myöhemmälle.

## **6.2 Säätöpiirin suunnittelu**

Säätöä suunniteltaessa oli tärkeää tutustua prosessin käyttäytymiseen, jotta tiedettiin, mitä säädöltä vaaditaan ja miten sen tulisi käyttäytyä eri tilanteissa.

Ennen säätöpiirin suunnittelua tutustuttiin aktiivilietelaitoksen toiminnan teoriaan, jotta osattiin tulkita, mitä eri mittaukset kertovat ja mistä voisivat johtua esimerkiksi poikkeustilanteet. Teoriatiedoista kyettiin jo päättämään, että prosessista löytyy paljon viiveitä sekä kuormituksen vaihteluita, jotka tulisi ottaa huomioon säätöä suunniteltaessa.

### **6.2.1 Happitrendien tarkastelu**

Ilmastusaltaan kaikkien neljän mittauspisteen historiatiedot koottiin samaan kuvaan MetsoDNA:n DNAt racer-sovelluksella. Tarkasteltiin menneen kuukauden happitason muutoksia viikkotasolla, jotta nähtiin, miten mittaukset ovat käyttäytyneet pidemmällä aikavälillä. Turbopuhaltimet antoivat koko ajan maksimiteholla ilmastusilmaa eli noin  $19500 \text{ Nm}^3/\text{h}$ , joten siltä osin tilanne oli jokaisella tarkailujaksolla sama.

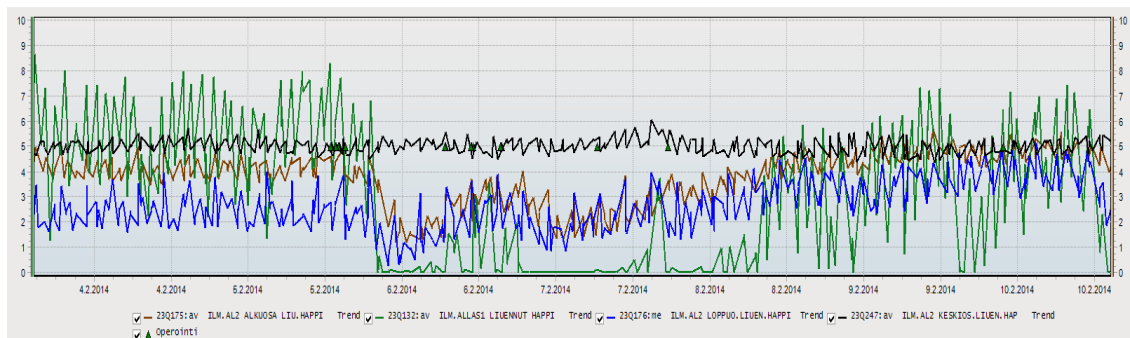
#### **Trendien värit ja selitykset**

- musta: ilmastusallas 2 keskiosan liennut happi mg/l
- ruskea: ilmastusallas 2 alkuosan liennut happi mg/l

- sininen: ilmastusallas 2 loppuosan liuennut happi mg/l
- vihreä: ilmastusallas 1 liuennut happi mg/l.

### Ensimmäisen viikon tarkasteluväli (kuva 10)

Mustalla näkyvä ilmastusallas 2:n keskiosan happimittaus näytti värähtelevän koko ajan noin 5 mg/l:n tasolla, vaikka ilmastusallas 2:n alku- ja loppuosan sekä ilmastusallas 1:n hapen määrä vaihtelee suuresti. Tämän tarkkailujakson perusteella voisi olettaa, että keskiosan mittauksessa on jotain vikaa tai ainakaan se ei reagoi jostain syystä happitason muutoksiin.



KUVA 10. Happimittausten arvot 3.2.2014–10.2.2014

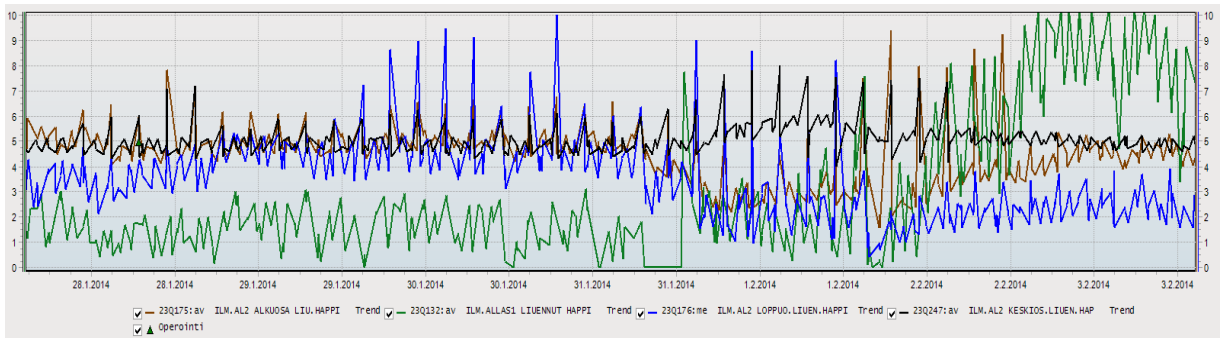
Ruskea eli ilmastusallas 2:n alkupään mittaus ja sininen loppupään mittaus olivat ragoineet suunnilleen samalla tavalla happitason muutoksiin ja näin ollen ne näyttäisivät mittauksen oikein.

Ilmastusallas 1:n happimittauksen käyrä näytti värähdelleen suuremmin kuin muut mittaukset, mutta toisaalta se reagoi pääpiirteittäin kuten ilmastusallas 2:n alku- ja loppuosan mittaukset. Suurempi värähtely saattoi johtua viallisesta mittauksesta tai altaaseen syötettävästä jätevedestä ja palautuslietteestä, jotka mahdollisesti aiheuttivat suurempia heilahteluita tälle mittauspisteelle.

### Toisen viikon tarkasteluväli (kuva 11)

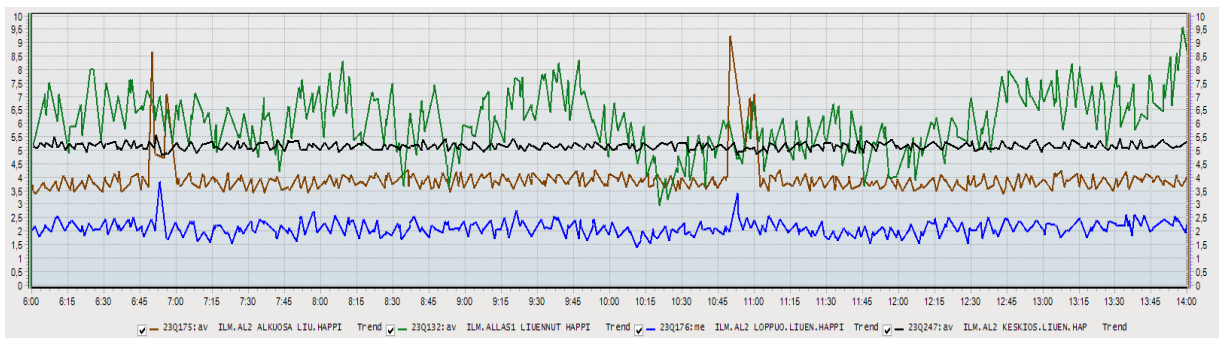
Mittauksissa oli nähtävissä piikkejä, joissa happitaso oli käynyt hyvinkin korkealla. Tämän tarkkailujakson aikana myös musta eli 2. altaan keskiosan mittaus oli reagoi näihin piikkeihin, mutta muuten happitaso oli pysynyt

lähellä 5 mg/l:aa. Ilmastusallas 1:n trendikäyrä näyttäisi olleen jälleen paljon vaihtelevampi kuin muiden mittausten trendikäyrät.



*KUVA 11. Happimittausten arvot 27.1.2014–3.2.2014*

Mittauksissa näkyvät piikit olivat lähemmin tarkasteltuna hyvinkin lyhytkestoisia, mutta ne tulisi ottaa huomioon säätöä suunniteltaessa. Piikit tulisi saada suodatettua pois säätöä varten, jotta säädin ei tee liian suuria muutoksia ohjaukseen, koska piikit antavat väärän kuvan happitason tilasta. Häiriöpiikkien aiheuttajaa ei löytynyt. Kuvassa 12 on lähemmin tarkasteltu havaittuja piikkejä.



*KUVA 12. Happimittausten arvot 2.2.2014 (2.00–10.00)*

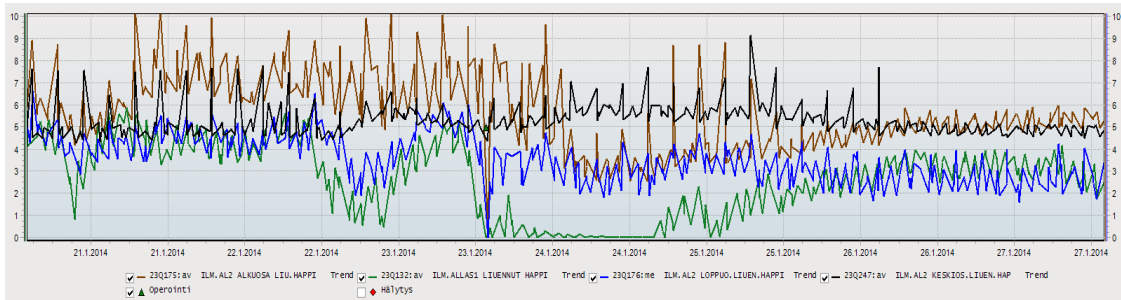
Piikit olivat tulleet säännöllisin väliajoin noin neljän tunnin välein ja yhden piikin kesto oli 3–10 minuuttia, jonka jälkeen mittaukset olivat palanneet normaaliksi. Tätä oli jatkunut usean päivän ajan.

### **Kolmannen viikon tarkasteluväli (kuva 13)**

Tällä tarkasteluvälillä ilmastusallas 2:n alkuosan happitaso näyttäisi olleen useamman päivän ajan muita korkeammalla. Loppuosan happitaso oli ollut vastaavasti matalin ilmastusallas 2:n mittauksista. Kuvan 13 keskiosassa näkyy

kaikissa mittauksissa happitason jyrkkä lasku, joka johtui ongelmista turbopuhaltimien kanssa, jolloin happitaso pääsi laskemaan alhaiseksi.

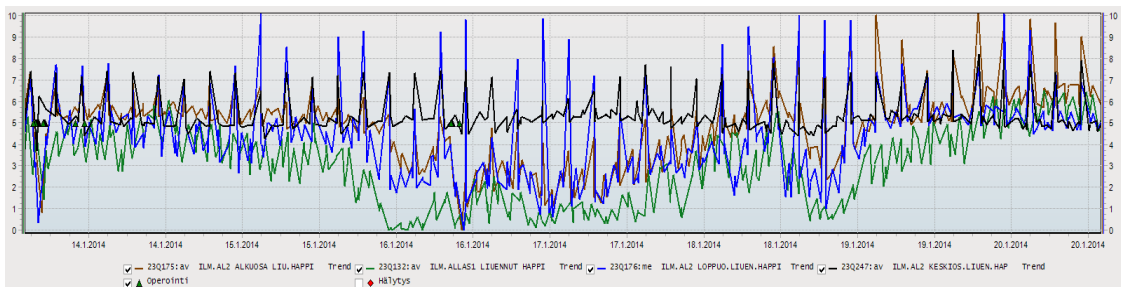
Keskiosan happi oli jälleen koko tarkasteluvälin ajan noin 5 mg/l. Se oli kuitenkin reagoinut tapahtuneisiin piikkeihin. Tästä kuvasta nähdään kuitenkin, että happitaso vaihtelee suurestikin altaan eri mittausten välillä, mikä taas lisäsi mietittävää säädön rakentamiseen.



*KUVA 13. Happimittausten arvot 20.1.2014–27.1.2014*

#### **Neljännän viikon tarkasteluväli (kuva 14)**

Kuvan 14 tarkasteluvälillä oli havaittavissa neljän tunnin välein tapahtuvia noin 10 minuuttia kestäviä piikkejä. Ilmastusallas 2:n alku- ja loppupään sekä ilmastusallas 1:n alkupään happimittaukset olivat reagoineet suunnilleen samalla tavalla muutoksiin. Keskiosan happi oli noin 5 mg/l ja se oli myös reagoinut piikkeihin.



*KUVA 14. Happimittausten arvot 13.1.2014–20.1.2014*

Jo pelkästään näitä ajanjaksoja tarkkaillaessa kävi ilmi, että kuormitus ja mittaukset elävät suuresti ilmastusaltaassa. Tämän lisäksi nähtiin, että säätöä ei voi tehdä pelkästään yhtä mittausta seuraamalla, vaan täytyi löytää jokin ratkaisu, jolla pystyttiin käyttämään hyväksi kaikkia mittauksia. Happitasot tulisi

säilyttää altaan jokaisella puolella mahdollisimman tasaisena ja lähellä haluttua asetusarvoa.

Edellä suoritetuissa trendien tarkasteluissa voitiin havaita, että keskiosan liuenneen hapen mittaus näyttäisi olleen viallinen. Happimittaukselle tulisi tehdä huolto, jotta testausvaiheessa nähtäisiin altaan happitasot jokaisessa osassa ilmastusallasta.

### **6.2.2 Säätoparametrien määrittäminen**

Jotta säätimen parametreja voitiin määrittää, täytyi prosessille tehdä kokeita, joista saatiin selvitettyä prosessin ja sitä ohjaavien laitteiden käyttäytymisen.

Tärkeimmät parametrit, jotka säätimelle tuli määrittää, olivat vahvistus ja tarkastelutiheys eli aika, jonka välein säädin vertaa mittauksen ja asetusarvon erosuurta. Koska säädin oli hyvin yksinkertainen ja se ei käytä integrointi- ja derivointiparametreja, voitiin tarvittavat parametrit määrittää hyvinkin yksinkertaisesti askelkokeista saaduista trendikäyristä.

Kappaleen 6.2.1 trendikäyrien tarkastelujen perusteella prosessissa ilmeni suuriakin muutoksia ja värähtelyitä, joten testejä tuli tehdä riittävän useita, jotta liian suurien vääristymien syyt säätöparametreihin ei aiheutuisi.

### **6.2.3 Askelkokeet**

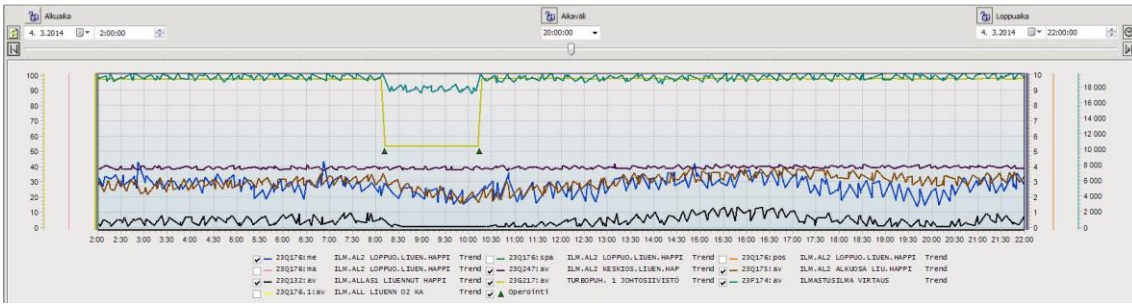
#### **Koesuunnitelma**

- Säädin asetettiin manuaalitilaan.
- Säätimen ulostuloon asetettiin ohjauspulssi -10.
- Seurattiin ilmastusilman virtausta, happitason muutosta ja johtosiipien asentotietoa niiden trendikäyristä.
- Lopussa säätimen ulostuloon asetettiin ohjauspulssi +10, jotta nähtiin, palautuuko prosessi samaan tilaan kuin kokeen lähtötilanteessa.

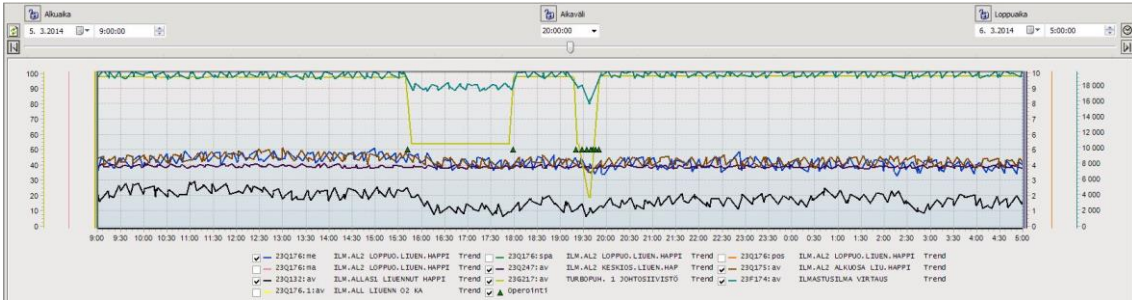
- Trendeistä saaduista datatiedoista selvitettiin ohjauspulssin vaikutus turbopuhaltimen johtosiipien asentoon, ilmastusilman virtaukseen ja ilmastusaltaan happitasoon.

### **Trendikäyrien selitykset ja värit (kuvat 15–18)**

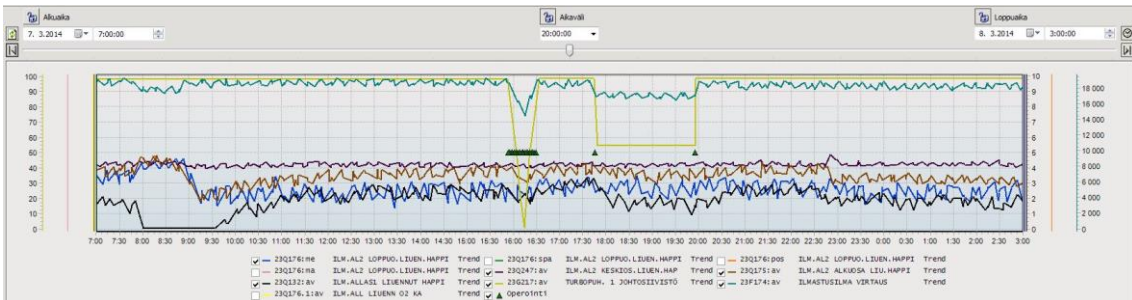
- Vihreä: ilmastusilman virtaus ( $\text{Nm}^3/\text{h}$ , skaalaus 0–19500)
- Keltainen: johtosiipien asentotieto( %, skaalaus 0–100)
  - Huomioitavaa oli, että vaikka molempien puhaltimien johtosiipien asentotieto oli 0 %, ilmastusilman virtaus ei ollut 0  $\text{Nm}^3/\text{h}$ , vaan noin 10 000  $\text{Nm}^3/\text{h}$ . Puhaltimen johtosiipien asentotiedon ollessa 0 % olivat puhaltimen johtosiivet puolivälissä. Yhden turbopuhaltimen säätöalue 0–100 % vastasi siis johtosiipien todellista asentoa 50-100 %.
  - Mikäli toinen turbopuhaltimista oli sammutettuna kokonaan, voitiin ilmastusilman virtausta saada säädettyä välillä 5000–10 000  $\text{Nm}^3/\text{h}$ .
- Violetti: ilmastusallas 2:n keskiosan liuennut happi (mg/l)
- Ruskea: ilmastusallas 2:n alkuosan liuennut happi (mg/l)
- Sininen: ilmastusallas 2:n loppuosan liuennut happi (mg/l)
- Musta: ilmastusallas 1:n liuennut happi (mg/l).



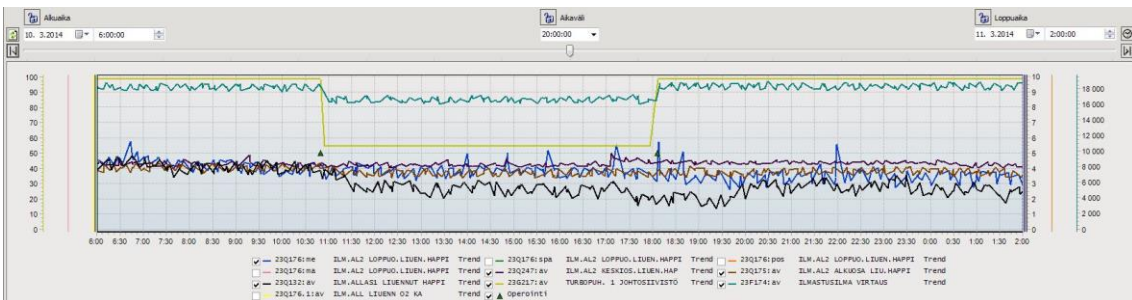
KUVA 15. Askelkoe 1



KUVA 16. Askelkoe 2



KUVA 17. Askelkoe 3



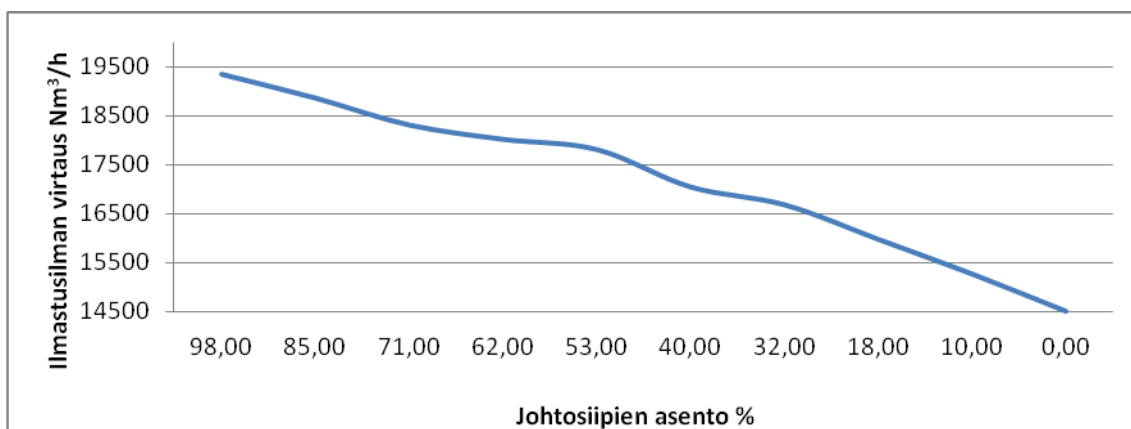
KUVA 18. Askelkoe 4



## Askelkokeiden tulokset

Askelkokeista saadut tulokset voitiin siirtää suoraan kopiaamalla Excel-ohjelmaan, jossa tuloksia voitiin käsitellä. Aktiivilieteprosessi on luonteeltaan hyvinkin vaihteleva, jonka vuoksi eri askelkokeille oli vaikea löytää samanlaisia olosuhteita. Tästä johtuen lähes kaikissa kokeissa oli lähtötilanne erilainen. Kokeita tehtiin neljä kappaletta ja saaduista tuloksista koottiin suuntaa antavat arvot säätimelle. Saatuja arvoja voitiin myöhemmässä vaiheessa käyttää säätimen testauksessa.

Taulukon 5 tulosten mukaan yhden turbopuhaltimen johtosiipien säätöalue 0–100 % on noin 5000 Nm<sup>3</sup>/h (kuva19). Säätimen lähtöön syötetty pulssi –10 sekuntia aiheutti johtosiipien asennossa muutoksen 97 %:sta 53 %:iin. Muutos oli siis 44 prosentin suuruinen, jolloin voidaan päätellä yhden sekunnin mittaisen ohjauspulssin aiheuttavan 4,4 prosentin muutoksen.



*KUVA 19. Johtosiipien ja ilmastusilman virtauksen välinen riippuvuus*

Kuten kuvista 15–18 nähdään, johtosiipien asentoon tehty askelmainen muutos aiheutti myös ilmastusilman virtaukseen lähes samalla hetkellä askelmaisen muutoksen. Happitason muutosnopeus ja -suuruus oli kuitenkin hyvinkin poikkeavaa eri askelkokeissa.

Kuvista 15–18 voitiin myös päätellä, että tasapainotila ohjauksen ja mittauksen välillä saavutettiin keskimäärin tunnin kuluttua askelmaisen muutoksen tapahtuttua säätimen lähdössä. Johtosiipien asentotiedon muutos 44 % aiheutti ilmastusilman virtaukseen noin 8 prosentin muutoksen.

Happitason keskimääräinen muutos kyseisellä ohjauksen muutoksella oli trendikäyrien perusteella noin 0,3 mg/l eli noin 6 % normaalissa ajotilanteessa olevan prosessin minimiarvon ollessa 0 mg/l ja maksimin 5 mg/l. Poikkeustilanteita, jolloin happitaso voi nousta yli 5 mg/l:n, ovat seisakit tehtaalla, jolloin saapuvan jäteveden määrä laskee.

Saaduista tuloksista voitiin määrittää vahvistus kaavan 3 mukaisesti. Ohjaus- ja mittaussignaalin tuli kuitenkin olla ensin samassa skaalassa. Kaavoissa 1 ja 2 on esitetty signaalien skaalaus. (18, s. 80.)

$$PV(\text{skaalattu}) = \frac{(PV - PV(\text{min}))}{PV(\text{max}) - PV(\text{min})} \quad \text{KAAVA 1}$$

$PV$  = mittaus

$PV(\text{min})$  = mittauksen alaraja

$PV(\text{max})$  = mittauksen yläraja.

$$CO(\text{skaalattu}) = \frac{(CO - CO(\text{min}))}{CO(\text{max}) - CO(\text{min})} \quad \text{KAAVA 2}$$

$CO$  = ohjaus

$CO(\text{min})$  = ohjauksen alaraja

$CO(\text{max})$  = ohjauksen yläraja.

$$\text{Vahvistus } (K) = \frac{\Delta y}{\Delta u} \quad \text{KAAVA 3}$$

$\Delta y$  = mittaussignaalin muutos

$\Delta u$  = ohjaussignaalin muutos.

Eri askelkokeista saadut vahvistuksen arvot löytyvät taulukosta 5. Ensimmäisen askelkokeen tulos oli muista selvästi poikkeava, joten vahvistuksen arvoksi valittiin kolmen muun askelkokeen perusteella 0,6.

## TAULUKKO 5. Askelkokeista saadut vahvistuksen arvot

	Vahvistus K
Askelkoe 1	1,5
Askelkoe 2	0,5
Askelkoe 3	0,5
Askelkoe 4	0,7

### 6.3 Säättöpiirin koeajo

#### 6.3.1 Ensimmäinen säättöpiirin versio

Alkuperäinen säättöpiiri oli rakennettu säätämään johtosiipien asentoa loppuosan happimittauksen perusteella. Luvun 6.2 tulosten perusteella säättöpiiri muutettiin kuitenkin toimimaan siten, että säätö tapahtuisi kaikkien neljän happimittauksen mediaanin mukaisesti. Laskenta on esitetty kaavassa 4 ja sama liitteessä 4 toteutettuna FbCAD-suunnittelutyökalulla.

$$\text{Mediaani} = \frac{a + b + c + d - e - f}{2}$$

KAAVA 4

$a$  = ilmastusallas 1 happimittaus mg/l

$b$  = ilmastusallas 2 alkuosan happimittaus mg/l

$c$  = ilmastusallas 2 keskiosan happimittaus mg/l

$d$  = ilmastusallas 2 loppuosan happimittaus mg/l

$e$  = kaikista happimittauksista arvoltaan pienin mg/l

$f$  = kaikista happimittauksista arvoltaan suurin mg/l.

Saadusta laskennan tuloksesta laskettiin vielä puolen tunnin liukuvaa keskiarvoa (liite 4), jotta säädössä käytettävä laskentamittaus ei olisi liian herkkä hetkellisille muutoksille.

Koska prosessin luonne on sellainen, että ohjauksen ollessa vakio happitasot ilmastusaltaassa voivat vaihdella paljonkin, päätettiin rakentaa säädin reagoi-

maan muutoksiin vain, mikäli keskiarvomittaus poikkeaa asetusarvosta liian paljon. Tässä tapauksessa arvioimme sallitun poikkeaman olevan 0,15 mg/l asetusarvon ylä- sekä alapuolella. Sallitun vaihteluvälin toteutus näkyy liitteessä 5.

Säätöpiiri laskee asetusarvon ja mittausarvon välisen eroisuureen, joka kerrotaan säätimelle annetulla vahvistuksen arvolla (liite 3). Säädin ohjaa saadun tulon mittaisella ohjauspulssilla johtosiivistöä joko kiinni- tai auki-suuntaan. Kaavassa 5 on pulssin pituuden laskenta ja sama toteutettuna Metson sovelluksella liitteessä 4.

$$(Asetusarvo - mittaus) \cdot vahvistus = pulssin\ pituus\ (s) \quad \text{KAAVA 5}$$

Säätöpiiri toteutettiin Metson kehittämällä FbCAD-työkalulla, jossa moduulille asetetaan suoritusväli. Tämän säätöpiirin moduulin suoritusväli oli 1100 ms. Suoritusväli rajoitti säätimen toimintaa siinä mielessä, että lyhin säätöpulssin pituus oli 1100 ms, vaikka säädin itsessään antaisi esimerkiksi ohjauspulssin 600 ms.

Moduulin suoritusvälin vuoksi säätimen ohjauspulssit muuttivat johtosiivistön asentoa sekä ilmastusilman määrää karkeasti määriteltynä taulukon 6 mukaisesti.

*TAULUKKO 6. Ohjauspulssien vaikutus johtosiivistöön*

Ohjauspulssin pituus (ms)	Johtosiivistön asentotiedon muutos (%)	Ilmastusilman virtauksen muutos (Nm <sup>3</sup> /h)
0	0	0
1100	4,4	220
2200	8,8	440
3300	13,2	660
4400	17,6	880
5500	22	1100
6600	26,4	1320
7700	30,8	1540
8800	35,2	1760
9900	39,6	1980
11000	44	2200

### 6.3.2 Ensimmäisen version koeajo

Luvun 6.2.3 askelkokeista saatujen säätöparametrien perusteella säädintä testattiin automaattitilassa. Säättöpiirille asetettiin seuraavat parametrit:

- asetusarvo 2,5 mg/l
- tarkasteluväli 1 h
- vahvistus 0,6.

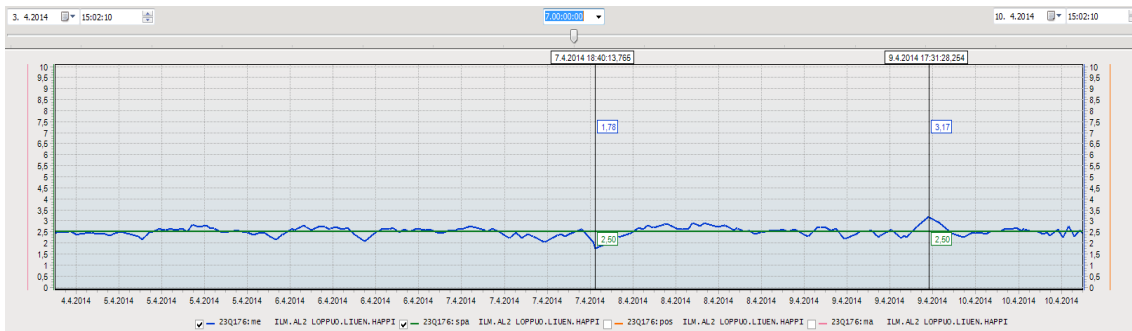
Koeajon pituudelle ei asetettu aikarajoja, vaan säätimen toimivuutta seurattiin ja muutoksia tehtäisiin tarvittaessa. Säätimen toimivuutta voitiin mitata seuraamalla johtosiipien asentotiedon muutoksia, ilmastusilman virtausta sekä happitason muutoksia.

### Ensimmäisen viikon koeajon tulokset

Kuvassa 20 näkyy sinisellä trendiviivalla keskiarvolaskennan mittaustulos ja vihreällä trendiviivalla säätimen asetusarvo. Taulukosta 7 nähtiin, että alimmillaan happitaso on käynyt noin 1,74 mg/l:ssa ja korkeimmillaan noin 3,17 mg/l:ssa.

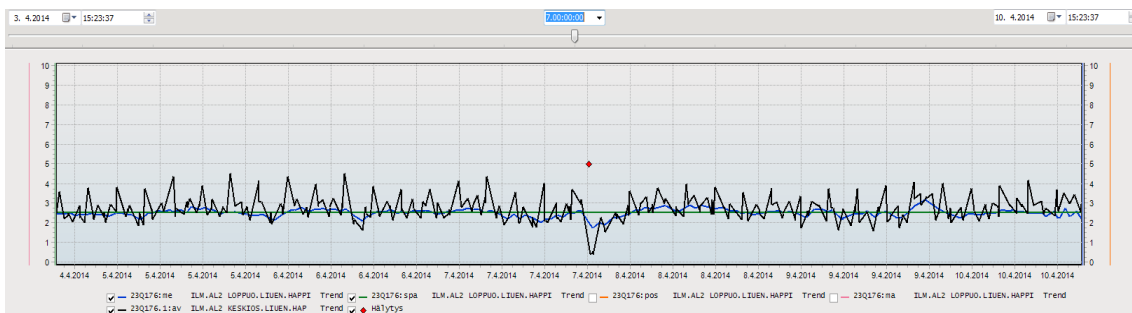
*TAULUKKO 7. Koeajoviikon happitaso.*

Hapen keskiarvo (mg/l)	Hapen minimiarvo (mg/l)	Hapen maksimiarvo (mg/l)
2,51	1,74	3,17



*KUVA 20. Ensimmäisen koeajoviikon keskiarvolaskenta ja asetussarvo*

Syy alhaisena käyneeseen happitasoon löytyy kuvasta 21, josta nähtiin, että mustalla merkitty loppuosan happimittaus oli käynyt alhaisena. Syytä alhaiseen happitasoon oli vaikea löytää, sillä muut altaan happimittaukset eivät olleet reagoineet samankaltaisesti, vaikka voisi olettaa alhaisen happitason näkyneen mittauksissa, jotka sijaitsivat ennen viimeistä mittausta.

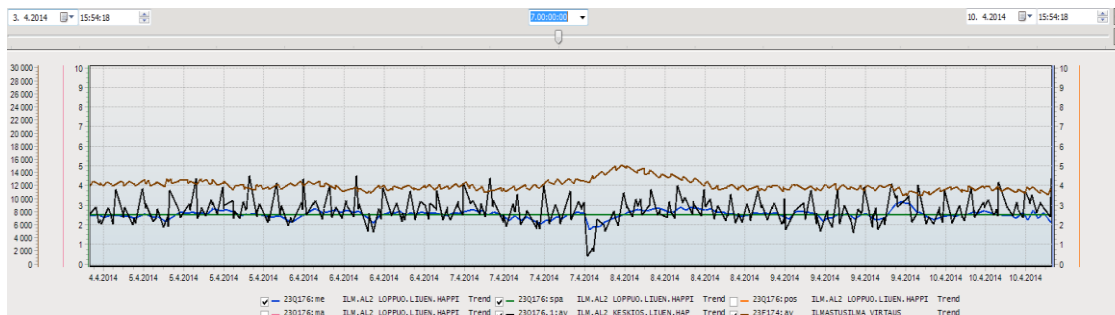


*KUVA 21. Ensimmäisen koeajoviikon happimittausten keskiarvolaskenta, loppuosan happimittaus ja asetussarvo*

Korkeimmillaan happitaso oli käynyt noin 3,17 mg/l:ssa, jolloin säädin oli ajanut säädössä olevan turbopuhaltimen johtosiivet minimiin. Tällaisessa tilanteessa olisi tarvittu myös toisen turbopuhaltimen johtosiipien säätöä, sillä yhden turbopuhaltimen säätövara alaspäin loppui kesken, jolloin happitaso pääsi nousemaan korkeaksi. Toinen turbopuhallin oli edelleen paikallisohjauksessa logiikkaongelmien vuoksi.

Taulukkoon 8 lasketun ilmastusilman virtauksen keskiarvon (kuva 22) perusteella nähtiin, että jo heti ensimmäisellä koeajolla saavutettiin ilmastusilman määrässä merkittävä väheneminen. Aikaisemmin turbopuhaltimet olivat antaneet

koko ajan maksimimäärän ilmaa eli noin 19 500 Nm<sup>3</sup>/h. Koeajoviikon keskiarvo oli noin 12 000 Nm<sup>3</sup>/h, eli ilmastusilman määrä oli laskenut yli kolmasosalla.



KUVA 22. Ensimmäisen koeajoviikon ilmastusilman virtaus

TAULUKKO 8. Koeajoviikon ilmastusilman virtaus

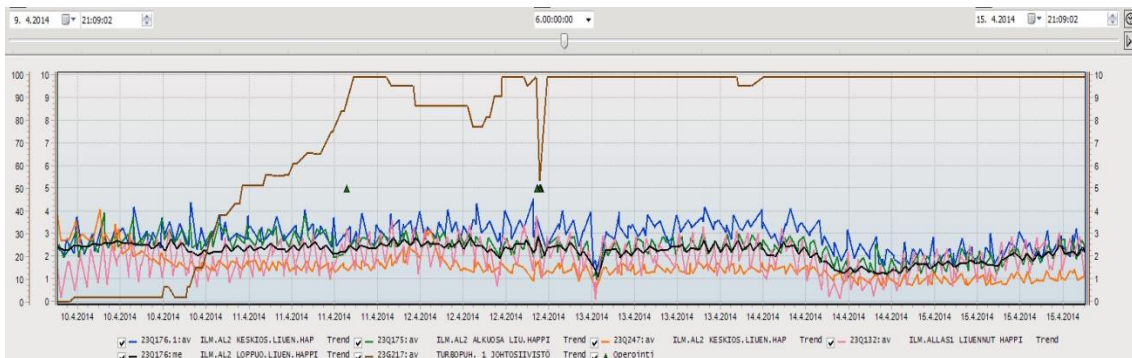
Ilmastusilman keskiarvo (Nm <sup>3</sup> /h)	Ilmastusilman minimiarvo (Nm <sup>3</sup> /h)	Ilmastusilman maksimiarvo (Nm <sup>3</sup> /h)
12070	10419	15120

### Toisen koeajoviikon tulokset

Toisella viikolla käytössä oli luvun 6.3.1 mukainen ensimmäinen versio säätöpörristä. Toisen viikon alussa ilmastusallas 2:n virheellisesti mitannut keskiosan happimittaus laski noin 3 mg/l:n tasosta 1,5 mg/l:n tasolle. Virheellisen mittauksen trendi on kuvassa 23 oranssilla merkittynä. Ilmastusallas 1:n happimittaus oli myös noin 1,5 mg/l, jolloin kaavan 1 mukaisesti toinen näistä mittauksista valikoitui mukaan keskiarvolaskentaan ja tulos vääristyi. Aikaisemmin ilmastusallas 2:n keskiosan mittauksen ollessa noin 3 mg/l se valikoitui pois laskennasta, koska se oli arvoltaan suurin.

Toisen koeajoviikon (kuva 23) loppupuolella happitaso ilmastusaltaassa laski alhaiseksi, vaikka säädössä olevan turbopuhaltimen johtosiivet olivat maksimiasennossa. Tämä johtui siitä, että paikallisohjauksessa olleen turbopuhaltimen siivet oli asetettu noin 50 %:iin, jolloin ilmastusilmaa ei saatu riittävästi.

Toisen koeajoviikon tulosten perusteella säätöpiiriin päätettiin tehdä luvun 6.3.3 mukaiset muutokset.



KUVA 23. Toinen koeajoviikko

### 6.3.3 Toinen säätöpiirin versio

Ensimmäisen version testauksen jälkeen päätettiin tehdä muutoksia säätimelle tulevan mittauksen laskentaan. Ensimmäisen version mediaanivalinta ei toiminut halutulla tavalla, mikä johtui vikaantuneena olleesta ilmastusallas 2:n keski-osan mittauksesta. Mittaus aiheutti vääristymää mediaanilaskentaan, jonka vuoksi johtosiipien asento ajautui maksimiasentoon, vaikka happitaso altaassa oli riittävä.

Mediaanilaskennan tilalle päätettiin tehdä mittausvalinta, josta voitiin valita säätimen tuloon halutut happimittaukset. Tämä sen vuoksi, että mittausten vikaantumisia tapahtuisi suurella todennäköisyydellä tulevaisuudessakin, jolloin vikaantunut mittaus voitaisiin ottaa pois keskiarvolaskennasta. Ilmastusallas 1:n happimittaus jätettiin valinnasta pois, sillä se oli ilmastusallas 2:n happimittauksiin verrattuna poikkeava käyttäytymiseltään. Näin ollen valittavissa oli ilmastusallas 2:n alku-, keski- ja loppuosan mittaukset.

Kyseisistä mittauksista voitiin valita käyttöön yksi, kaksi tai kaikki kolme. Jokaisessa tapauksessa mittauksista laskettiin liukuvaa keskiarvoa. Laskennat ja mittauksen valinta löytyvät FbCAD-suunnittelutyökälulla toteutettuna liitteestä 6. Muita muutoksia säätöpiiriin ei tehty, eli muut osiot toimivat luvussa 6.3.1 kuvulla tavalla. Tämä versio jätettiin myös lopullisesti käyttöön.



## 6.4 Muutokset käyttöliittymään

Koska säädin saatiin toimivaksi, oli myös syytä tehdä siitä käytännöllinen operaattoreiden kannalta, jotka säädintä jatkossa käyttävät ja seuraavat. Heidän mielestään säätimen mittauksen valinta käyttöliittymästä ei ollut tarpeeksi selkeästi toteutettu ja kuvattu. Operaattoreiden mielestä valittuna olevan mittauksen tulisi näkyä selkeästi ja mittauksen tulisi olla helposti vaihdettavissa.

Käyttöliittymän jätevesilaitoksen prosessinäyttöissä oli kuitenkin niin vähän tilaa, että oli parempi tehdä kuvaan sopivaan kohtaan linkki, josta voidaan avata kuvaan valintaikkuna. Muutokset käyttöliittymään tehtiin MetsoDNA:n DNAuseEditor-suunnittelutyökalulla. Ensin tehtiin kuvassa 24 näkyvän valintaikkunan, joka avautui haluttuun kohtaan jätevesilaitoksen käyttöliittymän prosessinäyttöön. Avautuvasta valintaikkunasta voitiin valita halutut mittaukset, joita säädin käyttää.



JÄTEVESI O2-pitoisuus		
<input checked="" type="checkbox"/>	Alkuosan happi	0000 unit
<input type="checkbox"/>	Keskiosan happi	0000 unit
<input type="checkbox"/>	Loppuosan happi	0000 unit
	<b>Keskiarvo</b>	0000 unit

KUVA 24. Mittauksen valintaikkuna

Jätevesilaitoksen valvontaan on tehty kaksi eri prosessinäkymää, joihin molempiin tuli lisätä mittauksen valinta. Prosessinäyttöön lisättiin kuvassa 25 sinisellä näkyvä kuvake, jonka avaamalla saadaan näkyviin käyttöliittymän prosessinäyttöön kuvan 24 valintaikkuna. Käyttöliittymälisäysten konfigurointivaiheet löytyvät liitteistä 7 ja 8.

## O2 Mittauksen valinta

*KUVA 25. Linkki valintaikkunaan*

### **6.5 Lisäykset sovellukseen**

Tehtaan seisakkitilanteessa aktiivilietelaitokselle tulevan jäteveden määrä vähenee huomattavasti, jolloin happitaso voi ilmastusaltaassa lähteä nousuun. Tällaisessa tilanteessa turbopuhaltimien johtosiipien asento voi ajautua liian pieneksi säätimen pyrkiessä vähentämään jäteveteen liuenneen hapen määrää. Turbopuhaltimien tuottaman ilmastusilman määrän tulee kuitenkin pysyä riittävän suurena, jotta ilmastusaltaassa pysyy yllä riittävä virtaus ja sekoitus, ettei aktiiviliete pääse laskeutumaan altaan pohjalle.

Jotta riittävä ilmastusilman virtaus pysyy yllä, tulee yhden turbopuhaltimen johtosiipien asennon olla vähintään 60 % toisen turbopuhaltimen ollessa alas ajettuna. Säätimelle tehtiin lukitus, joka estää säädintä antamasta automaattitilassa vähentää-ohjauspulssia, mikäli lukitusehdot täyttyvät. Lukitus jätettiin pois sovelluksesta, koska sen toimivuutta ei voitu testata käytännössä turbopuhaltimien logiikkaongelmien takia. Lukituksen toimivuus on kuitenkin testattu Oulun ammattikorkeakoulun automaatiolaboratoriossa. Lukituksen toteutus löytyy liitteestä 9.

## 7 YHTEENVETO

Työn päätarkoituksena oli rakentaa aktiivilietelaitoksen ilmastusaltaan happitason säätö Oulun Stora Enson sellutehtaan jätevesilaitokselle. Lähtötiedoista poiketen ilmastuksen säätöön oli jo rakennettu valmis säätöpiiri MetsoDNA-ympäristöön, mutta sitä ei ollut käytetty ilmeisesti koskaan sen huonon toimivuuden vuoksi. Opinnäytetyössä päätettiin käyttää valmista säätöpiiriä pohjana ja siihen lisättiin tarvittavat muutokset.

Ennen kuin säätöpiiriä voitiin alkaa muuttamaan ja testaamaan sen toimivuutta, tuli ohjattavat turbopuhaltimet kytkeä ohjattavaan tilaan. Tämä vaihe kuitenkin osoittautui ajateltua suuremmaksi, sillä turbopuhaltimien toiminnassa oli ongelmia ja ne hidastivat hieman itse säätöpiirin kehittämistä. Tämä kuitenkin oli opettavainen vaihe vastaavia tilanteita varten.

Lopputuloksena saatiin toimiva säädin, joka säätää turbopuhaltimien johtosiipien asentoa tunnin välein ilmastusaltaan happimittausten keskiarvolaskennan perusteella. Säätimen avulla ilmastusilman määrää saatiin laskettua lähtötilanteeseen verrattuna, mutta lopulliset hyödyt säätimestä selviävät vasta pidemmän ajan kuluttua.

Jotta säätimestä saataisiin maksimaalinen hyöty irti, tulisi myös toinen turbopuhallin saada toimimaan ajotapakuvauksen mukaisesti, kuten toisen koeajoviikon tuloksetkin osoittavat. Säädin ohjaa siis vain toista turbopuhaltimista, koska molempia ei saatu toimimaan yhtäaikaaisesti kauko-ohjauksella.

Suurista tulevista kuormituksista olisi hyvä saada ennakkotietoa jonkin mittauksen avulla, jotta ilmastusaltaan happitasoa voitaisiin nostaa jo, ennen kuin kuorman aiheuttama muutos näkyy happimittauksissa. Tämän avulla happitaso ei pääsisi laskemaan liian alas ja happitaso pysyisi tasaisempana. Sopivaa ratkaisua tällaiseen tilanteeseen ei löytynyt tämän opinnäytetyön suorituksen aikana.

## LÄHTEET

1. Stora Enso lyhyesti. Stora Enso. Saatavissa: <http://www.storaenso.com/lang/finland/stora-enso-lyhyesti>. Hakupäivä 1.3.2014.
2. Lyhyesti Oulun tehtaasta. Stora Enso. Sisäinen dokumentti. Saatavissa: <https://oulu-mill.weshare.storaenso.com/tehdasesittely/lyhyesti-oulu-tehtaasta/Pages/lyhyesti-oulu-tehtaasta.aspx>. Hakupäivä 22.3.2014.
3. Stora Enso Oulu Mill. Sisäinen dokumentti. Saatavissa: <https://about-us.weshare.storaenso.com/Mills/oulu-mill/Pages/oulu-mill-presentation.aspx>. Hakupäivä 21.2.2014.
4. Stora Enso Oyj Oulun tehtaast 2014. Sellutehdas. Yleisesittely. Sisäinen dokumentti.
5. Knowpulp 12.0. 2013. Sellutekniikan ja automaation oppimisympäristö. Sisäinen dokumentti. Saatavissa: [http://intra.corp.storaenso.com/know/KnowPulp/suomi/envir\\_contr/water/comp/position/frame.htm](http://intra.corp.storaenso.com/know/KnowPulp/suomi/envir_contr/water/comp/position/frame.htm). Hakupäivä 25.1.2014.
6. Bakteerit poistavat tyypeä itämerestä. Itämeriportaali. Saatavissa: [http://www.itameriportaali.fi/fi/tietoa/uhat/rehevoityminen/fi\\_FI/bakteerit\\_poistavat\\_tyypea/](http://www.itameriportaali.fi/fi/tietoa/uhat/rehevoityminen/fi_FI/bakteerit_poistavat_tyypea/). Hakupäivä 22.3.2014.
7. RIL 124-2-2004. 2004. Vesihuolto II. Helsinki: Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL.
8. Hammer, Mark J. 2012. Water and wastewater technology. New Jersey: Prentice Hall.
9. Päästöt veteen. Metsäteollisuus. Saatavissa: <http://www2.metsateollisuus.fi/tilastopalvelu2/tilastokuviot/Ymparisto/Forms/Disp-Form.aspx?ID=55&RootFolder=%2ftilastopalvelu2%2ftilastokuviot%2fYmpar>

is-

[to%2fJulkainen%2dFI&Source=http%3A%2F%2Fwww2%2Emetsateollisuus%2Efi%2Ftilastopalvelu2%2Ftilastokuviot%2FYmparisto%2FForms%2FAIIt%2Easp%2Easp%2Easp](http://www.metsateollisuus.fi/julkainen%2dFI&Source=http%3A%2F%2Fwww2%2Emetsateollisuus.fi%2Efi%2Ftilastopalvelu2%2Ftilastokuviot%2FYmparisto%2FForms%2FAIIt%2Easp%2Easp%2Easp). Hakupäivä 22.3.2014.

10. Ojanen, Pekka. 2001. Metsäteollisuuslaitosten jätevedenpuhdistuksen vaihtoehdot sekä niiden toimintaan ja energiankulutukseen vaikuttavat tekijät. Alueelliset ympäristöjulkaisut. Kaakkois-Suomen ympäristökeskus.
11. Jätevedenpuhdistamo. Käyttö- ja huolto-ohjeet. 1992. Sisäinen dokumentti. Stora Enso Oulun sellutehdas.
12. Metsäteollisuuden aktiivilietelaitoksen toiminta ja häiriöt. 2006. Sisäinen dokumentti. Stora Enso Oulun sellutehdas.
13. Stora Enso Oulun tehtaat kuormitusilmoitus. 2014. Sisäinen dokumentti. Stora Enso Oulun tehtaat.
14. HV-turbo manuaali. Sisäinen dokumentti. Stora Enso Oulun sellutehdas.
15. Puhallintekninen käsikirja. 2006. Espoo: Fläkt Woods.
16. RIL 186-1990. 1990. Prosessiautomaatio jäteveden biologisessa käsittelyssä. Helsinki: Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL.
17. Liuenneen hapen mittaust. Kontram. Saatavissa: [http://www.kontram.fi/tuotteet/kayttokohde/analysointilaitteet/liuenneen\\_hapen\\_mittarit](http://www.kontram.fi/tuotteet/kayttokohde/analysointilaitteet/liuenneen_hapen_mittarit). Hakupäivä 22.3.2014.
18. Harju, Timo – Marttinen, Arto 2000. Säätopiirin virityksen perusteet. 1. painos. Espoo: Control CAD Oy.
19. Aktiivilietelaitos. Sisäinen dokumentti. Stora Enso Oulun tehtaat.

## **LIITTEET**

Liite 1 Ilmastusallas

Liite 2 Piirikohtainen ajotapaselostus (poistettu)

Liite 3 23Q176 Toimilohkokaavio (poistettu)

Liite 4 23Q176.KA Toimilohkokaavio (ensimmäinen versio) (poistettu)

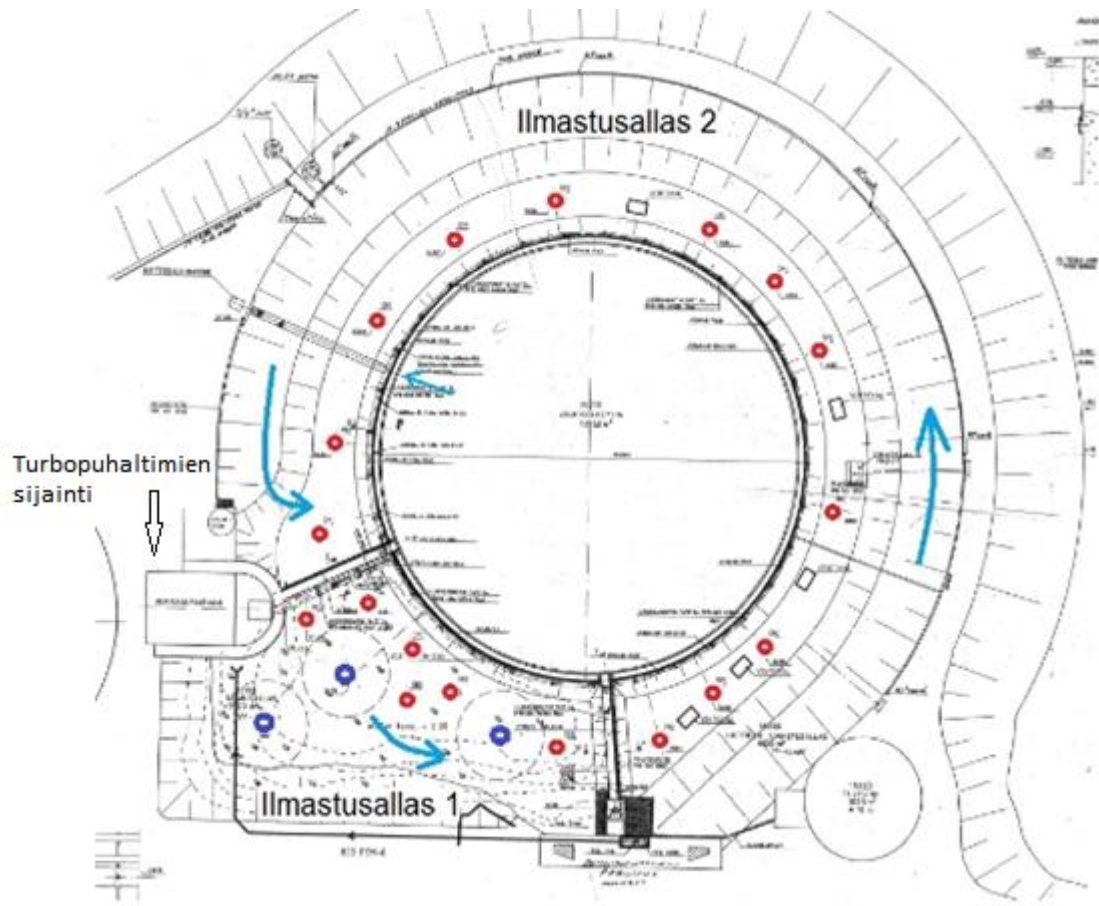
Liite 5 23Q176.L Toimilohkokaavio (poistettu)

Liite 6 23Q176.KA Toimilohkokaavio (toinen versio) (poistettu)

Liite 7 23Q176.L Toimilohkokaavio (lukitus lisäys) (poistettu)

Liite 8 Valintaikkunan konfigurointi (poistettu)

Liite 9 Kuvakkeen konfigurointi (poistettu)



(19.)