

Petri Leksis

VOC-polttolaitoksen tuotantotaloudellinen käytön ohjaus

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkövoimatekniikka

Insinöörityö

3.12.2012

Tekijä Otsikko Sivumäärä Aika	Petri Leksis VOC-polttolaitoksen tuotantotaloudellinen käytön ohjaus 22 sivua 3.12.2012
Tutkinto	insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	sähkö
Suuntautumisvaihtoehto	sähkövoimatekniikka
Ohjaajat	kehityspäällikkö Kari Aittanen teknologiapäällikkö Arja Ristola
<p>Tässä insinööriyössä on tutkittu katalyyttiseen polttoon perustuvaa VOC-laitteiston toimintaa ja sen ohjattavuutta. Laitteistolle optimaalinen käyttö on jatkuvan tuotantoprosessin päästöjen käsittely. Kohdetehtaassa päästöjä syntyy kuitenkin vain jaksoittain.</p> <p>Laitteisto on kytkettynä tulevaisuudessa kolmeen tuotantoprosessilaitteeseen, joissa prosessiajot ovat panosprosesseja. Osa tuotantoerien sumutusliuoksista on vesiliukoisia ja osa liuotinpohjaisia. Päästölähteenä prosessissa on prosessi-ilmaan haihdutettu etanoli. Nämä kolme prosessilaitetta saavat keskinäisellä käyntiajallaan syntymään ajoittain tilanteen, jossa päästöjä syntyy pidempinä yhtäjaksoisina päästöinä.</p> <p>Työssä on kuvattu tuotantoprosessien osavaiheet sekä päästöt kuvaajin. Lisäksi on esitetty VOC- laitteiston toimintaperiaate sekä sen liittyminen prosessilaitteistoon.</p> <p>Työssä käytetään lähtötietoina noin 19 kk:n ajalta prosessierien päällystysaikoja. Lasketaan päällystysprosessien päästöttömät väliajat, jolloin tutkimuksen kohteena oleva VOC-polttolaitteisto olisi sähköenergiaa kuluttavassa valmiustilassa. Tämän pohjalta lasketaan arvioitu energiakulutusta eri käytön vaihtoehdoille, jolla laitteistoa olisi sähkön kulutuksen kannalta hyödyllistä käyttää.</p>	
Avainsanat	VOC-päästö, katalyyttinen poltto, rakeistus

Author Title Number of Pages Date	Petri Leksis Productionally Economical Operation Control of VOC Combustion Plant 22 pages 3. December 2012
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Electrical Engineering
Specialisation option	Electrical Power Engineering
Instructors	Kari Aittanen, Development Manager Arja Ristola, Technology Manager
<p>This graduate study is a research into the controllability and function of VOC equipment based on catalytic burning. The optimal use for the equipment is the handling of waste from a continuous manufacturing process. Forming of waste is, however, only periodical in the target factory.</p> <p>The equipment will be connected to three production process apparatuses, where process executions are done in batches. Some of the production batches are water-soluble and some solvent based. The source of waste in the process is ethanol that has been evaporated into the process air. With their mutual running time these three apparatuses create a situation, where waste is produced in longer continuous periods.</p> <p>The study illustrates the phases and waste of the manufacturing process with graphs and explains the working principles of the VOC equipment and its connection to the process apparatus.</p> <p>The research was done by examining process batches for period of 19 months by separating the manufacturing batches in which the emissions are formed and by calculating the time of operation required from the VOC equipment. Based on this method, the energy consumption was calculated for different alternatives, by which the equipment would have been more advantageous to use when taking into consideration the electrical consumption.</p>	
Keywords	VOC-equipment, catalytic burning, granulation

Sisällys

Tiivistelmä

Abstract

1	Johdanto	1
2	Lääkkemassan eri valmistusprosesit	3
2.1	Yleiskuvaus rakeistuksesta	3
2.2	Märkärakeistus	5
2.3	Leijukuivaus	5
2.4	Leijurakeistus	7
2.5	Yleiskuvaus päällystysprosessista	9
2.6	Tablettien päällystys	9
2.7	Prosessissa käytettävän etanolin ominaisuudet	11
3	VOC-polttolaitteiston toiminta	12
4	Toiminta-aika ja energialaskelmat	17
5	Yhteenveto	20
	Lähteet	22

1 Johdanto

Orion Oyj on eurooppalainen lääke- ja diagnostiikkayritys, joka painottaa liiketoiminnassaan lääkehoitojen ja diagnostisten testien kehittämistä maailman markkinoille. Orion kehittää, valmistaa ja markkinoi ihmis- ja eläinlääkkeitä, lääkkeiden vaikuttavia aineita sekä diagnostisia testejä.

Insinööriyössä keskitytään tutkimaan Orion Oyj:n tilaaman VOC-kaasujen polttolaitoksen toimintaa ja sen energiataloudellista käytön ohjausta. VOC-yhdisteet, eli haihtuvat orgaaniset yhdisteet ovat kaasuja. Niitä ovat esim. aromaattiset hiilivedyt kuten alkoholit (etanoli, n-butanoli, propanoli). Polttolaitos investoinnin on tarkoitus korvata nykyiset vesipesurilaitteistot. Työssä tutkittiin tulevan uuden laitteiston arvioitua energian kulutusta laitteen eri käyttötiloilla ja mahdollisuutta löytää ratkaisu VOC-laitteiston energiataloudelliseen käyttöön ja ohjaamiseen tuotantoprosessien jaksottaisen päästökuorman polttamiseksi. Orion Oyj tuotannosta vain osa tuottaa VOC-päästöjä ja niitäkin epäsäännöllisesti sekä erimääräisesti eikä näin ollen ole jatkuva prosessi polttolaitteiston kannalta.

Laitteiston käytössä lähtökohtana on VOC-laitteiston jatkuva esilämmitetty valmiustila, joka vastaanottaa VOC-kaasuja lukuun ottamatta selkeitä pidempiä tuotannon seisokkijaksoja, jolloin laitteisto on sammutettu. Työssä tutkitulta ajanjaksolta tablettiosaston päällystysprosessien tuotantomäärästä etanolipäästöjä tuottavien prosessien osuus on noin 77 %.

Polttolaitos koostuu laajasta kaasujen keräysputkistosta ja siihen liittyvistä venttiileistä sekä katalyyttisestä polttoyksiköstä. Päästöjen polttamiseksi käytettävää katalyyttistä polttolaitteistoa ei ole erityisesti suunniteltu jaksottaiseen käyttöön. Laitteiston käytönohjausrajpinta on lämpökeskuksen valvomossa kaukana tuotannon ohjauksesta. Laitteiston toimittajan mukaan katalyyttistä polttoprosessia voidaan ajaa myös eräajona. Jaksottaiseen käyttöön on kaksi tapaa. Ennen tuotantoprosessin päästöerää on suoritettava monivaiheinen ja aikaa vievä toimintavalmiuteen ajo. Toinen vaihtoehto on jatkuva esilämmitys ja energiaa tuhlaava laitteiston ilmahuuhtelu, jolla laitteistoa pidetään valmiustilassa ottamaan päästöerä polttoon lyhyellä käynnistysvaiheella.

Polttoyksikön toimittajaksi projektissa valikoitui Formia Emissions Control Oy. Yritys on kansainvälisesti toimiva teknologiayhtiö, joka kehittää, toimittaa ja markkinoi VOC-päästöjen hallintalaitteita teollisiin prosesseihin.

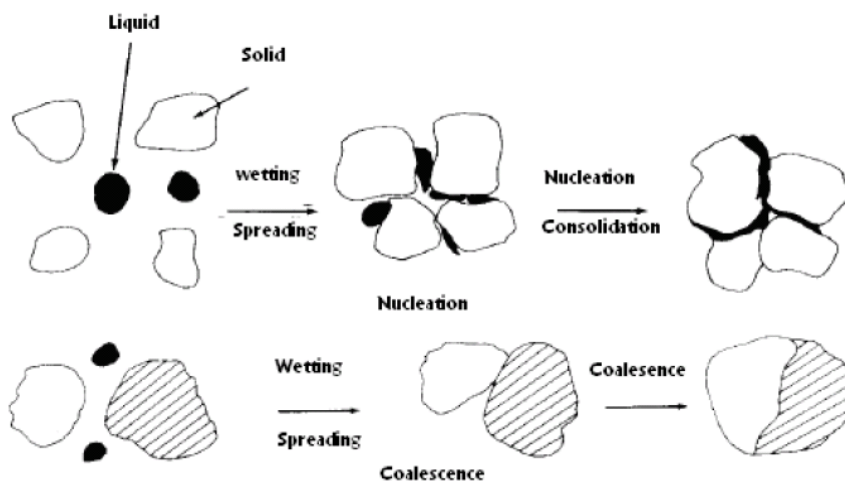
Orion seuraa toimintansa vaikutuksia ympäristöön muun muassa mittaamalla ja laske-
malla kemikaalien, liuottimien ja muiden aineiden käyttömääriä, veden ja energian kulu-
tusta ja päästöjä veteen ja ilmaan sekä tarkkailemalla ja tilastoimalla jätteiden määriä.
[1.]

Orion Oyj Orion Pharman ympäristöluvan (UUS-2004-Y-583-111, No YS 1118) mu-
kaan lääkevalmistetehtaan toiminnassa VOC-päästöjä ilmaan aiheuttavia yksikköpro-
sesseja ovat rakeistus ja tablettien päällystys. Prosessit ovat pääosin suljettuja ja lait-
teistot sekä eri käsittelyvaiheet alipaineistettuja.

2 Lääkemassan eri valmistusprosessit

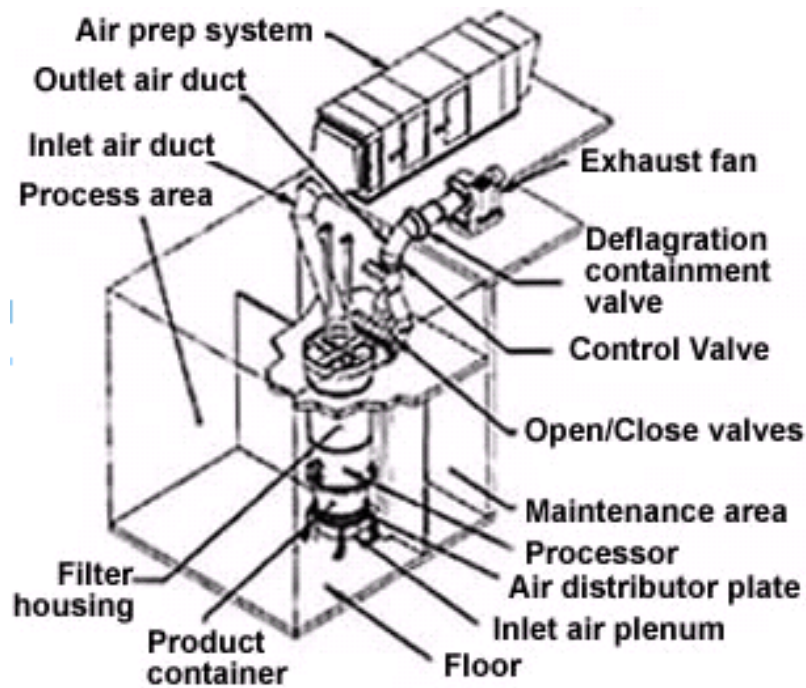
2.1 Yleiskuvaus rakeistuksesta

Lääkemassan valmistuksessa on useita vaiheita, joista tässä on periaatetasolla käsitelty rakeistusvaiheita. Käytettyjä rakeistusprosesseja on kahta eri tyyppiä: märkärakeistus ja leijurakeistus. Leijurakeistimessa lääkemassa leijutetaan ilmavirrassa ja neste lisätään sumuttamalla leijutuksen aikana. Rakeistumisen myötä lääkemassa muuttuu rakenteeltaan niin, että jauheesta on mahdollista tehdä tabletteja puristamalla. (Kuva1.)



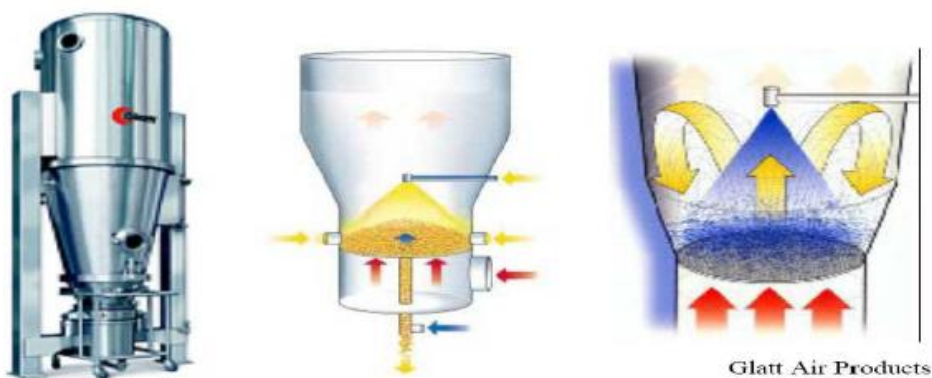
Kuva 1. Lääkemassan rakeistuminen [2]

Orion Oyj:ssä laitteistoja on erikokoisia, ja suurimmat ovat kolmekerroksisia. Prosessin ilmakehityslaitteisto vaatii paljon tilaa, jotta ilman puhtaus, kosteus ja lämpötila täyttävät vaatimukset. Laitteistojen rakenteissa on huomioitu leijutettavan massan pölyämisen aiheuttama räjähdysvaaran riski, rakentamalla laitteet asiaan liittyvien asetusten mukaisesti (kuva 2, ks. seur. s.).



Kuva 2. Periaatekuvaus leijurakeistimesta ilmkäsittelylaitteistoineen [3]

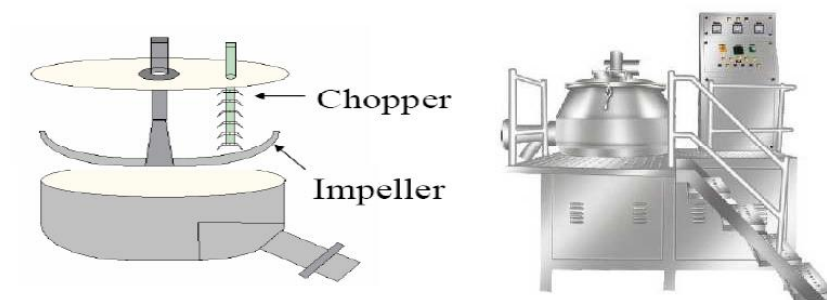
Kuvassa 3 vasemmanpuoleinen laite on leijurakeistin tuotantotilasta nähtynä. Keskimäinen ja oikeanpuoleinen kuva esittää leijutusksessa rakeistusliuoksen sumutusta leijurakeistimessä. Leijutustapahtumaa kontrolloidaan paine-eromittuksella leijupedin ala- ja yläpuolen välillä. Mikäli paine-ero on liian korkea, on se osoitus huonosti leijuvasta lääkemassasta rakeistimessa. Ilmavirtauksen määrää kasvattamalla saadaan massa leijumaan ohjeen mukaisella paine-eron arvolla.



Kuva 3. Periaatekuva leijurakeistimen leijutusprosessista [4]

2.2 Märkärakeistus

Märkärakeistuksessa (kuva 4) lääkemassajauhe käsitellään sekoittimessa. Massaan lisätään sekoituksen aikana neste sumuttamalla. Jauhemassan rakenne muuttuu rakeiseksi ja saadaan aikaan halutun kaltaisia rakeita (koko, tiheys, huokoisuus).



Kuva 4. Periaatekuva märkärakeistusrakenteesta [2]

Märkärakeistus on panosprosessi, jossa liuos voi olla vesipohjainen tai etanolipohjainen 80 m-% noin 125 kg/erä. Rakeistuksen jälkeen kostea massa siirretään leijukuivaimiin (Ks. 2.3 Leijukuivaus), jossa rakeistettu tuote kuivataan. Sekä rakeistus että päällystysprosessissa koko käytetty nestemäärä haihtuu ilmaan. [5.]

2.3 Leijukuivaus

Märkärakeistimesta siirretty massa on leijukuivauksessa jatkuvassa liikkeessä ja kuivuu tasaisesti haluttuun loppukosteuteen (~2%). Kunkin erän kuivaustapahtuman kesto on noin 15 - 25 minuuttia. Leijukuivausta operoidaan korkeintaan 2 kertaa työvuorossa (8 h). [5.]

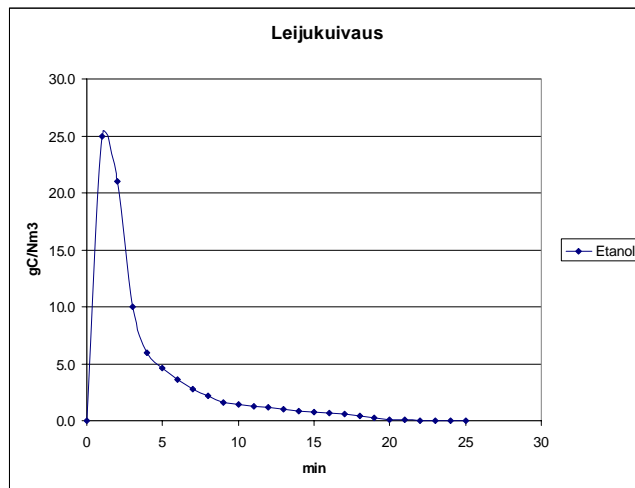
Leijukuivauksessa kostea massaerä syötetään panostyyppisen leijukuivaimen alaosaan säiliöön. Kuivausvaiheessa kostea massa kuivataan leijuttamalla sitä lämpimässä ilma-

virtauksessa. Aikaansaadaksesen massan leijutuksen puhallin työskentelee voittaakseen stationäärisen petiaineksen vastuksen. Vastapaine vähenee merkittävästi, kun petiaines on saatu liikkeeseen. Aineksen leijuessa ilman paine leijusysteemin jälkeisessä kanavistossa on riippuvainen kanaviston virtausvastuksista eli käytännössä kyseessä on normaalipaineinen ilma.

Leijukuivauksessa käytetty kuivatusilman määrä ja lämpötila riippuvat rakeistetun massan partikkelikoosta ja tiheydestä. Ilmamäärä mitataan kanavistossa olevalla virtausmittauksella. Käytetty ilmamäärä ja tavoitearvo ovat keskimäärin 3 500 m³/h ja vaihteluväli noin 2 500 - 4 500 m³/h. Leijutuksen mittaus perustuu paine-eromittaukseen. Ilman lämpötilaa voidaan säätää kuivatuksen aikana. Tyypillisesti (riippuu reseptistä) käytetään n. 75 °C ilmaa. [5.]

Kuivauksen aikana kosteasta massasta haihtuu etanolia, joka kulkeutuu kaasuvirtauksen mukana pois leijutuksesta. Kosteasta massasta haihtuu ensin ns. vapaa etanoli, joka on massassa nesteenä ja pintakosteutena. Haihtuvan etanoli määrän haihtumisnopeus on suurimmillaan leijukuivauksen alussa. Etanolin pitoisuus poistuvassa kaasuvirrassa kasvaa nopeasti huippupitoisuuteen 40 000 - 80 000 ppm eli 48 - 96 g etanolia/Nm³, joka vastaa hiilenä ilmoitettua VOC-pitoisuutta 25 - 50 gC/Nm³. [5.]

Kun haihtuminen alkaa tapahtua tuoterakeiden pinta-osista ja mahdollisesti myös sisäosista, kaasuvirtaukseen höyrystyvän etanolin määrä laskee, ja pitoisuus kaasuvirrassa vähenee loivasti kuivaustapahtuman loppuun asti. Eri tuotteiden rakeistumisominaisuuksien takia tuotteen ominaispinta-ala vaihtelee, ja etanolin höyrystyessä rakeiden kuivuminen ja etanolipitoisuus kaasuvirrassa ajan-funktiona muuttuu. Tämä on jossain määrin tuotekohtaista. Kaasuvirran etanolipitoisuuden oletetaan olevan korkeimmillaan heti kuivauksen käynnistyessä, minkä jälkeen pitoisuus vähenee nopeasti. Kuivauksen lopussa pitoisuus on häviävän pieni (kuva 5, ks. seur. s.).



Kuva 5. Leijukuivauksen VOC-pitoisuus (etanoli) ajan funktiona, poistuva etanolimäärä yhteensä noin 100 kg (80 %-m etanolia 125 kg; Huom: huippupitoisuuden 40 000ppm mukaan) [5.]

Leijutusyksikköön integroidun tuotepölysuodatuksen lisäksi leijutusilma kulkee erillisen suodatinyksikön läpi, jotta leijutusilman mukana lentävät hienommat rakeet, ja pienimmätkin tuotepölypartikkelit saadaan suodatettua kaasuvirtauksesta. Suodatuksen jälkeen kaasuvirtauksen partikkelipitoisuus on hyvin pieni, käytännössä merkityksetön. Suodattimen tukkeutumista arvioidaan mittaamalla paine-ero suodattimen yli. Tukkeutumisen estämiseksi ja tuoteraaka-aineen talteen ottamiseksi, tuotesuodattimelle kertyvä lääkepöly irrotetaan tasaisin väliajoin toistuvassa ravisteluvaiheessa (12 s joka 15 min). Nykyisellään suodatettu ilma johdetaan laitoksen katolle, jossa se vapautuu ympäristöön noin 25 °C:n lämpötilassa. [5.]

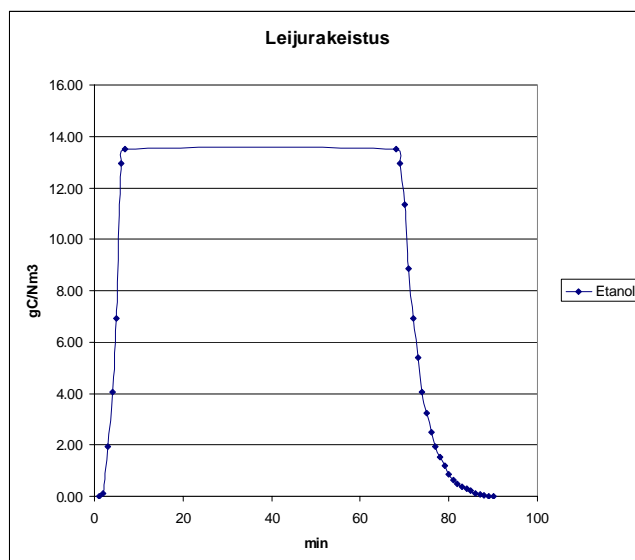
2.4 Leijurakeistus

Leijurakeistus on panosprosessi, jossa etanolia (80 m-%) kuluu n. 170 kg/erä, mikäli liuos ei ole vesipohjainen. Kunkin erän leijurakeistus kestää on noin 1,5 - 2 tuntia. Leijurakeistusta operoidaan korkeintaan 2 kertaa työvuorossa, joka on 8 h. Leijurakeistuksessa lääkeeraaka-aineet sekä mahdolliset lisä- ja täyteaineet annostellaan pannonstyyppisen leijukuivaimen alaosaan säiliöön. [5.]

Massaerää leijutetaan kaasuvirtauksella, kuten leijukuivauksessa (Ks. 2.3 Leijukuivaus). Leijutuksella saadaan aikaan jatkuva voimallinen sekoitusliike kuivalle raaka-aineelle. Sekoituksella raaka-aineista saadaan homogeeninen lääkemassa.

Kun massan sekoitusleijutus on valmis rakeistus, aloitetaan suihkuttamalla massaan sopivaa sideainetta ja liuotinta (etanoli). Suihkutusta jatketaan tasaisesti koko rakeistusvaiheen, kunnes haluttu rakeistuminen on saavutettu. Haluttu rakeistuminen, koko, tiheys ja huokoisuus saadaan aikaan säätämällä prosessiparametreja kuten rakeistus-aikaa, ilmavirtausta, kaasuvirtauksen lämpötilaa jne. Suihkutuksen loppuessa rakeet kuivataan jatkamalla leijutusta lämpimässä ilmavirrassa. (Ks. kuivausvaiheen toimintakuvaus: 2.2 Märkärakeistus ; 2.3 leijukuivaus). [5.]

Leijurakeistuksen (kuva 6) jälkeisessä leijukuivausvaiheessa kaasuvirtauksen etanolipitoisuuden ajan funktiona oletetaan vastaavan edellä kuvattua kuvan 5 leijukuivauksen etanolipitoisuuden vähenemistä. Näin ollen leijurakeistuksessa kaasuvirtauksen etanolipitoisuus nousee ensin huippuarvoon $3\,500\text{ m}^3/\text{h}$ ja 1,5 tunnin eräajan mukaan keskimäärin $25,9\text{ g Etanolia}/\text{Nm}^3$ tai noin $21\,600\text{ ppm}$, joka vastaa hiilenä ilmoitettua VOC-pitoisuutta $13,5\text{ gC}/\text{Nm}^3$ sumutuksen alkaessa ja vähenee nopeasti kuivausvaiheen alkaessa. [5.]

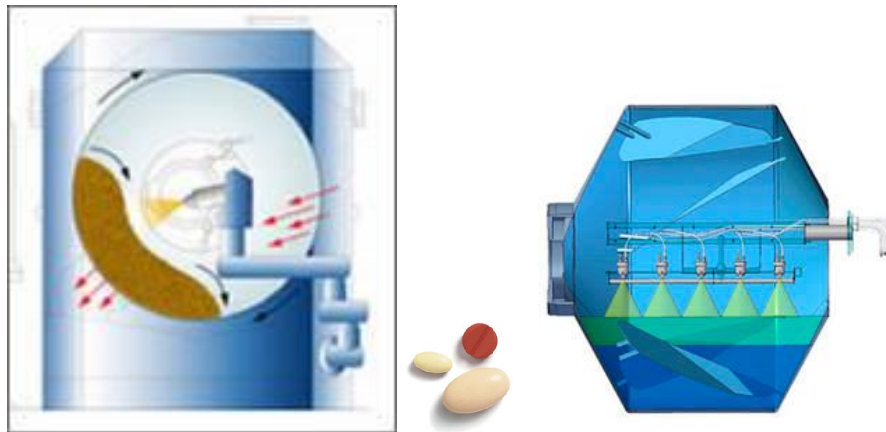


Kuva 6. Leijurakeistuksen VOC-pitoisuus (etanoli) ajan funktiona, poistuva etanolimäärä yhteensä noin 136 kg (80 %-m etanolia 170 kg)

Leijurakeistusprosessin ilmankäsittelyn pölysuodatus on vastaava kuin leijukuivauksen (Ks. 2.3 Leijukuivaus).

2.5 Yleiskuvaus päällystysprosessista

Puristetut tablettitimet päällystetään pyörivässä päällystysrummussa (kuva7) sekoittamalla ja sumuttamalla kalvopäällysteliuos pyörivään tablettipetiin. Päällystysliuoksien sumutuksessa käytetään neulasuuttimia, joiden sumutuksen atomisointipaineella säädetään liuossumun pisarakokoa ja kalvon muodostumista. [6]



Kuva 7. Periaatekuva päällystyksestä

Liuoksia käytetään eniten tablettien päällystyksessä. Tablettituotteesta riippuen päällystyksessä massasta puristetun tabletin pintaan muodostetaan kalvo sumuttamalla vesi- tai etanolipohjainen kalvoliuos tabletin pintaan. Ilmavirtauksen ansiosta päällystysliuoksen neste haihtuu ja kappaleille muodostuu filmimäinen kuori. Päällystettävien tuotteiden vettyminen estetään pitämällä prosessiolosuhteet haluttuina. Päällystettäessä etanolipohjaisilla liuoksilla haihtuvien orgaanisten yhdisteiden päästöjä ilmaan rajoitetaan vesi-pesureilla. [5.]

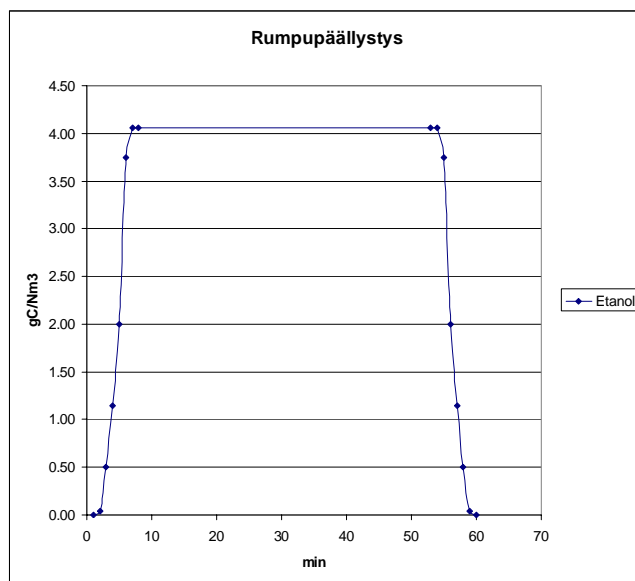
Vesipesurissa päällystysrummun jälkeisestä prosessi-ilmasta saadaan etanoli sitoutumaan takaisin veteen ja käsiteltyä jätevesikäsitteilyiden yhteydessä. Pesureiden puhdistus-/erotusaste on noin 92 %. [5.]

2.6 Tablettien päällystys

Rumpupäällystys on panosprosessi, jossa etanolia (80 m-%) kuluu n. 70 kg/erä. Kunkin päällystysajon kesto on noin 1 tunti. Päällystysajoja on noin 2 / vuoro (8 h). Päällystysrummussa päällystetään kooltaan suurempia tuotteita, jotka eivät sovellu leijupääl-

lystykseseen näitä ovat esimerkiksi tabletit, kapselit, isot pelletit. Perforoidun päällysrumpun pyöriessä päällystettävä materiaali liikkuu ja sekoittuu tasaisesti. Samalla päällystettävälle tuotteelle ruiskutetaan haluttua päällystysliuosta. [5.]

Ilmamäärä mitataan ilmakehässä olevalla mittauksella. Mitattu ilmamäärä voidaan olettaa normaalilavuusvirtaamaksi (Nm^3/h). Päällystysrumpun läpivirtaava ilmamäärä on pääosin noin $7\,000\ \text{Nm}^3/\text{h}$ ja vaihteluväli noin $4\,000 - 7\,000\ \text{m}^3/\text{h}$. Ilman lämpötilaa voidaan säätää kuivatuksen aikana. Tyypillisesti, käytetään reseptistä riippuen, käytetään n. $65\ \text{°C}$ ilmaa. Loppulämpötila on noin $47\ \text{°C}$. [5.]



Kuva 8. Rumpupäällystys VOC-pitoisuus (etanoli) ajan funktiona, poistuva etanolimäärä yhteensä noin 56 kg (80 %-m etanolia 70 kg)

Päällystysrumpujen jälkeisen kaasuvirran etanolipitoisuus (kuva 8) nousee huippupitoisuuteensa suihkutuksen käynnistyessä (6 500 ppm eli $7,8\ \text{g Etanolia}/\text{Nm}^3$, joka vastaa hiilenä ilmoitettua VOC-pitoisuutta $4,06\ \text{gC}/\text{Nm}^3$), ja se on suihkutuksen aikana noin 6 500 ppm. Päällystysrummuista ilma johdetaan ulos vesipesurin ja kahden suodattimen kautta. [5.]

2.7 Prosessissa käytettävän etanolin ominaisuudet

Etanoli on helposti syttyvä, palava neste. Aine syttyy herkästi lämmön, kipinöiden ja liekkien vaikutuksesta. Myös reaktio voimakkaiden hapettimien kanssa aiheuttaa palo- ja räjähdysvaaran. Etanolihöyry voi muodostaa syttyvän seoksen ilman kanssa yli 13 °C:een lämpötiloissa. Etanolisäiliö voi repeytyä tulipalon kuumentamana.

Standardin SFS 60079-10-1 ja SFS 59-kasikirjan mukaan (2.3.4 Räjähdyksrajat) palavien kaasujen ja höyryjen alempi ja ylempi räjähdysraja on se pitoisuus, joka ala- tai vastaavasti yläpuolella ko. kaasu tai höyry ei enää syty.

Suomessa sallittu korkein palavan nesteen pitoisuus poistoilmakanavassa on perinteisesti ollut 20 %-LEL (Lower Explosion Limit) eli viidennes yhdisteen alemmasta räjähdysrajasta. EU-normien mukaan suurin sallittu taso on kuitenkin LEL-25 %. [5.]

Etanolin ominaisuuksia, jotka liittyvät räjähdysrajoihin ovat

- leimahduspiste 13 °C
- kiehumispiste 78 °C (351 K)
- itsesyttymislämpötila 363 °C
- syttymisrajat 3,3 - 19 % tai 67 - 290 g/m³ (LEL-25% = 16,75 g/m³).

Aineen vuotaminen sisätiloihin ja viemäriin aiheuttaa räjähdysvaaran.

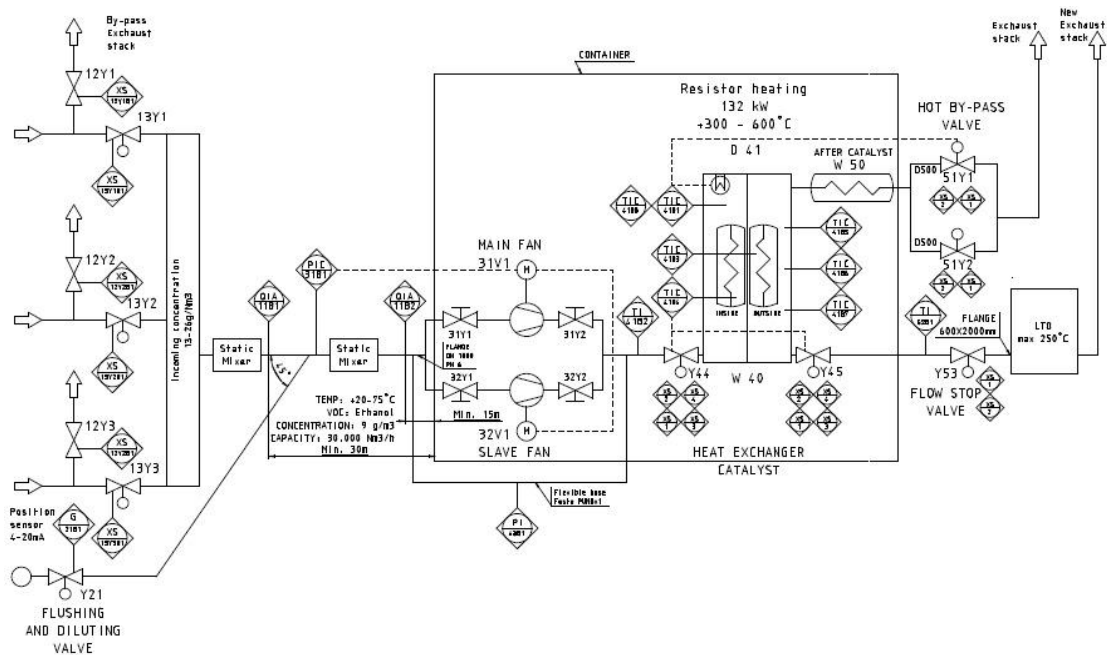
3 VOC-polttolaitteiston toiminta

Orion Oyj investoiman polttolaitoksen toimittaja on Formia Oy. Vastaavia kilpailevia polttolaitoksien tarjoajia on niin kotimaassa kuin ulkomailla. Polttolaitos on rakenteeltaan hyvin kompakti. Laitteisto on sijoitettu kuvan 9:n tyyppiseen 40 jalan merikonttiin. Kontissa on laitteiston kaksi puhallinta, katalysaattori, ohituskanava sekä laitteiston ohjausyksikkö. Polttolaitoksen katalysaattori on Formian patentoima. Laitteisto on useiden vuosien kehittelyn tulos. [7.]



Kuva 9. Polttolaitoksen periaatekuva

VOC-laitteisto toimii itsenäisenä laitteena ilman ohjaavia kytkentöjä tuotannon prosessilaitteisiin. Päättely kanavalinjauksesta tehdään VOC-laitteiston mittausantureiden kaasupitoisuuden mittaustuloksen perusteella. Venttiiliohjukset tekee VOC-laitteiston ohjauslogiikka. Prosessilaitteistolta tulevat kaasupäästöt johdetaan kolmea kanavaa pitkin tehtaan katolle. Katolla kanavat yhdistyvät yhdeksi polttolaitokseen johtavaksi yhdyskanavaksi. Prosessikanavien yhtymäkohdassa on kanavakohtaiset (kuvan 10, ks. seur. s.) venttiilit 12Y1, 13Y1, 12Y2, 13Y2, 12Y3 ja 13Y3. Mittausantureiden havaitessa päästöpitoisuuksia ohjautuu kaasuvirta VOC-laitteelle. Tuotantoprosessin etanolipäästön loppuessa prosessista, mittausanturin lukeman laskiessa alarajalle, suodatettu ilma ohjataan ohituskanavan kautta polttolaitoksen ohi katolla olevaan poistokanavaan suoraan ulkoilmaan. [9.]



Kuva 10. Polttolaitoksen prosessikaavio

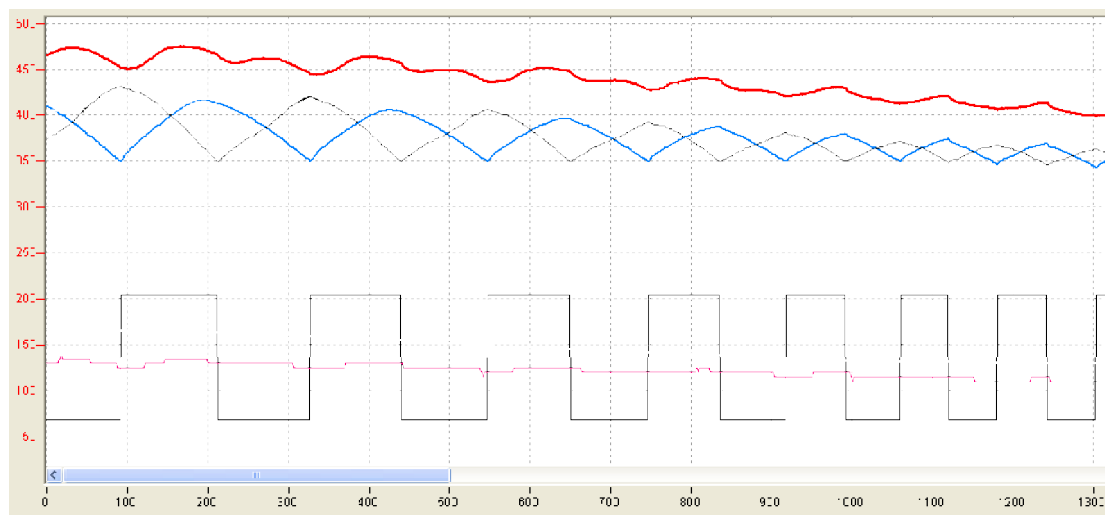
Yhdyskanavasta polttolaitokselle jatkuvaan kanavaan liittyy lyhyt ulkoilmaan yhteydessä oleva laimennuskanava noin 30 m ennen polttolaitosta. Yhdyskanavassa pitoisuusanturein mitattua päästön pitoisuutta laimennetaan tarvittaessa optimaaliseksi etanolipitoisen prosessi-ilman polttamiseksi polttolaitteistossa. Polttolaitoksen katalyysaattorille voidaan ohjata ainoastaan etanolipitoisuudeltaan poltettavaksi kelpaava etanoli-ilma-seos. [9.]

Poltettava kaasu johdetaan laitteistoon partikkelisuodattimen läpi puhaltimille. Laitteen ohjausjärjestelmä seuraa suodattimen toimintakykyä paine-eromittauksella. Polttolaitoksessa kanavaan on liitetty kaksi puhallinta. Puhaltimet ovat laitteiston kuluvia osia ja siksi kahdennettu. Puhaltimet toimivat yhtäaikaisesti taajuusmuuttajien ohjaamana. Puhaltimien yhteenlaskettu kapasiteetti on $30\,000\text{ m}^3/\text{h}$. Tämä vastaa leijurakeistimen ja kahden päällystysrummun sekä tarvittaessa niiden päästön laimennuksen yhteismäärällistä ilmamäärää. [9.]

Markkinointinimeltään Katalyyttinen Twin Bed-katalyysaattori, joka on jaettu kahdeksi lohkoksi katalyysaattorin sisällä. Tämä mahdollistaa tehokkaan VOC-puhdistuksen polttolämpötilaltaan matalassa autotermisessä pisteessä, minimaalisella lisäenergiatarpeella ja käyttökustannuksilla. [8.]

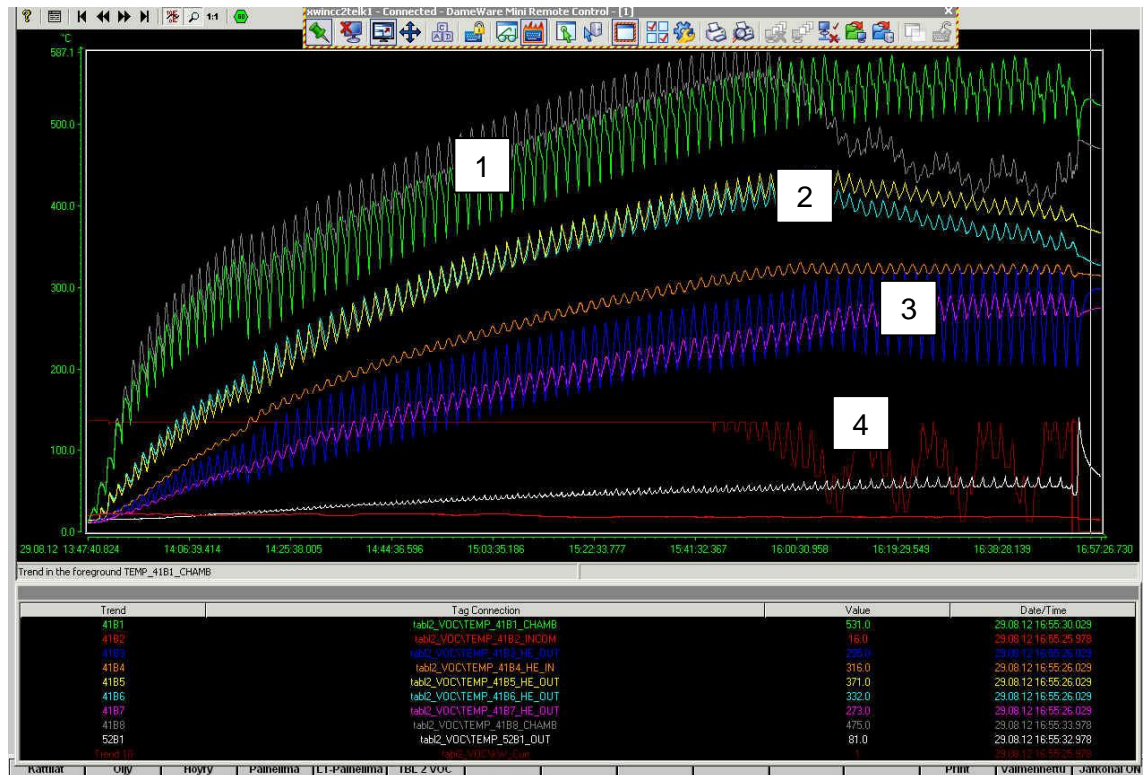
Polton käynnistyksessä kaasuseos johdetaan sähkövastuksin esilämmitetystä katalyysaattorissa sen ensimmäiseen lohkokon, jossa palamisprosessi optimikaasuseoksella palaa 350 - 450 °C:een lämpötilassa. Tällöin prosessin tilasta käytetään nimitystä auto-terminen. Katalyyttisen paloprosessin jatkuessa katalyysaattorin lämpötila nousee noin 450 °C:een. Ensimmäisen lohkon palokaasut johdetaan katalyysaattorin toisen lohkon kautta poistokanavaan. Tämän toisen lohkon lämpötila nousee termisen paloprosessin edellyttämälle tasolle. Poltettavan kaasun virtaus käännetään katalyysaattorin alapuolella toiselle lohkolle, jolloin paloprosessi jatkuu siinä. Palokaasut johtuvat ensimmäisen lohkon kautta poistokanavaan samalla jäähdyttäen sitä, mutta pitäen lämpötilan termisen palamiseen vaadittavalla tasolla. Normaalilla optimaalisesti toimivalla poltolla vaihtoväli katalyysaattorilohkojen välillä on 3 min - 30 s. [8.]

Kuvassa 11 on paloprosessista kuvaaja, jossa musta ja sininen käyrä havainnollistaa katalyyttilohkojen toimintaa VOC-laitoksen käydessä. Punainen esittää palokaasujen lämpötilaa. [7.]



Kuva 11. Palolämpötila katalyysaattorilohkoissa

Kuvassa 12 esitetään kuvaajat lämpötiloista VOC-laitoksen käynnistysvaiheessa.



Kuva 12. VOC-laitoksen lämmitysvaihe

Kuvan 12 lämpötiläkäyrät ovat seuraavat:

1. katalysaattorin yläosan lämpötila
2. katalysaattorin kennojen lämpötila
3. katalysaattorin poistoilmakanavan lämpötila
4. sähkövastuksien tehokäyrä.

Kuvaajasta näkyy laitteiston testilämmityksen käynnistyksestä ajovalmiuteen kestäneen noin 2,5 tuntia.

Laitteiston prosessia ohjaava automaatio on toteutettu Siemensin S7-300-logiikalla ja siihen liitetyllä operointipaneelilla. Operointipaneeli sijaitsee konttiin rakennetussa polttolaitteessa sen ohjauskeskuksen ovelta. Polttolaitteelle pääsy on vain huoltohenkilöstöllä.

Ohjausjärjestelmän tilatiedot, hälytykset sekä käynnistys ja seis-toiminto on yhdistetty Orion Oyj:n lämpökeskuksen valvomolle Ethernet-yhteyden kautta. Käytännössä laitteen hallinta tapahtuu lämpökeskuksen valvomolta.

4 Toiminta-aika ja energialaskelmat

Valmistusprosessien toiminta-ajat tablettien päällystyksessä prosessilaittekohtaisesti saatiin tehtaan SAP-järjestelmästä. Toimenpide vaati tarvittavan raporttikyselyn luomista järjestelmään. Hakukyselyn kokonaisaikaväli oli 19,5 kk. Haku rajattiin tuotteisiin, jotka oli päällystetty tutkimukseen liittyvillä päällystysrummuilla. Haun tuloksena saatiin ajanjakson päällystysprosessien erätiedot, joissa oli kaikki vesi- tai etanolipohjaiset päällystyserät. Hakutulokseen tuli tuote-erän päällystyksen aloitus- ja päättymisaika sekä liuoksen sumutusaika. Päällystyseriä oli hakutuloksessa 1 573 kpl.

VOC-laitoksen energiakulutuksen laskelmat on tehty SAP-raportin tiedoista taulukkolaskentaohjelmalla hyödyntäen toteutuneita prosessiaikoja. Taulukossa 1 on laskettu aika edellisen etanolipohjaisen liuoserän etanolipäästön päättymisestä seuraavan erän päästön alkamiseen. Tämä väliaika saattaa sisältää myös vesipohjaisen liuoserän tai erien päällystämisen. Tämän ajan perusteella lasketaan energiankulutus eri toimintavaihtoehdoille.

Taulukko 1. Ote päällystysprosessien väliaikalaskelmasta, päällystyseriä yhteensä 1 573 kpl

RU MP U	Päällystys loppui 1/2	Spiri- tus fortis	Paällystyksen alku	VOC pro- sessi- en väliai- ka h:min	VOC pro- sessi- en väliai- ka min	1. kulu- tus kW	2. kulu- tus kW	3. kulu- tus kW	4. kulu- tus kW	5. kulu- tus kW
Glat t 7	4.1.2010 2:57	Kyllä	4.1.2010 1:48							
Glat t 7	4.1.2010 6:20	Kyllä	4.1.2010 5:05	2:07	128	124	124	124	124	124
Glat t 7	7.1.2010 12:27	Kyllä	7.1.2010 10:50	76:30	4590	4452	264	396	396	330
Glat t 7	7.1.2010 17:34	Kyllä	7.1.2010 15:52	3:24	205	198	198	198	198	198
Glat t 7	8.1.2010 9:44	Kyllä	8.1.2010 7:48	14:14	855	829	264	396	829	330
Glat t 7	8.1.2010 14:47	Kyllä	8.1.2010 12:45	3:01	181	176	176	176	176	176

Taulukon prosessierien päällystysliuoksien jakautuminen vesipohjaisiin ja etanolipohjaisiin päällystyseriin jakautui taulukon 2 mukaan:

Taulukko 2. Päällystetyt erät

Päällystetyt erät	kpl	%
Etanolipohjaiset liuokset	1209	76,86 %
Vesipohjaiset liuokset	364	23,14 %
Päällystyserät yhteensä	1573	100,00 %

Laitos oli tutkimusta tehtäessä vielä käyttöönottamatta, joten käytännön mittauksia energian kulutuksesta ei ollut vielä saatavissa. Sähkönkulutuksen, kun laitos on koko ajan toimintavalmiudessa prosessista tulleiden päästöjen väliajalla, on arvioitu olevan noin 40 % nimellistehosta 132 kW eli 58kW/h. Kun lämmitys on kokonaan poiskytketty, on laitoksen esilämmityksen ja ylösajossa tehtävän ilmahuuhteluiden kulutukseksi arvioitu 132 kW/h. Arvio laitteiston ylösajoajaksi on ulkolämpötilasta riippuen noin 2,5 - 4 h. Laskelmissa on sähkön hinnaksi oletettu 80 €/MWh. Työssä on haettu suhteellista eroa käytön eri ohjaustavoille. Näin on ollut perusteltua ottaa edellä mainitut arvot arvioina.

Laskelmassa haettiin polttolaitteiston kannalta eri vaihtoehtoja poiskytkentä-ajan ja valmiusajan suhteen. Laskelmassa on optimaalisen valmiusajan lämmityksen ja lämmitys kokonaan poiskytketyn ajan muuttujilla laskettu energian kulutusvaihtoehdot. Tulokseksi saatiin toisistaan erottuvia energian kulutus ja kustannuksien tuloksia (taulukko 3).

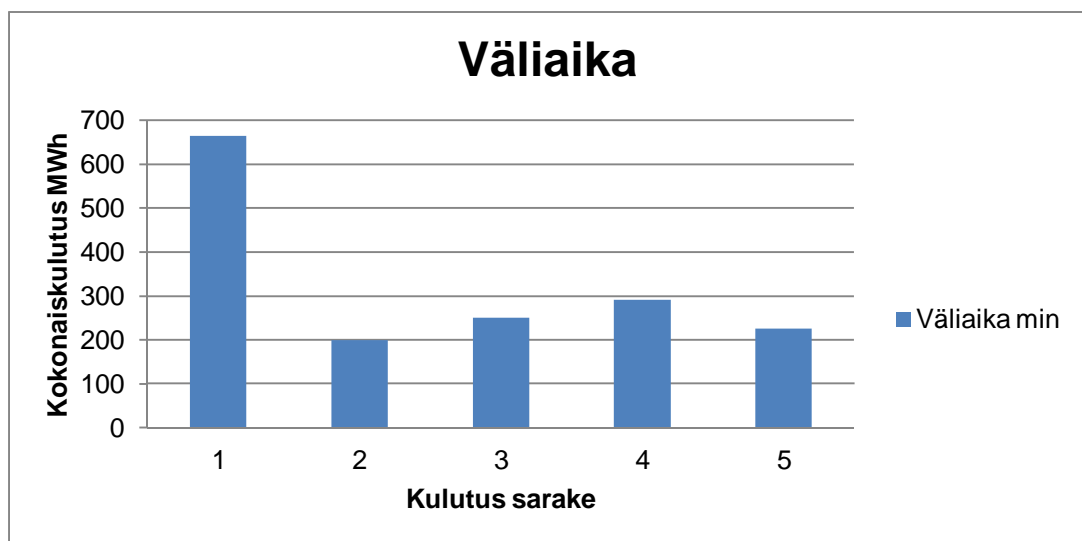
Taulukko 3. Kulutuslaskelma

Sarake	Väliaika	Väliaika min	Kokonais kulutus MWh	Käynnistys- aika	Kokonais- kustannus €	%
1. kulutus	Väliaika>0h	15500	664	4	53 152 €	100,00 %
2. kulutus	Väliaika <5h	300	199	2	15 918 €	29,95 %
3. kulutus	Väliaika <8h	480	250	3	19 992 €	37,61 %
4. kulutus	Väliaika<16h	920	291	3	23 268 €	43,78 %
5. kulutus	väliaika optimaalinen / €	341	225	2,5	18 029 €	33,92 %

Taulukon 3 rivillä 1 on kulutus ja kustannusarvio tilanteessa, kun VOC-laitos on jatkuvasti valmiustilassa ottamaan prosessista tulevat päästöt poltettavaksi. 2. kulutus, jossa alle 5 tuntia kestävä väliaika, pidetään polttolaitoksen ylläpitolämmitys päällä. Mikäli

väliajan tiedetään olevan pidempi kuin viisi tuntia, esimerkiksi noin kahdeksan tuntia, kytketään polttolaitoksen lämmitys pois päältä. Käynnistyslämmitys on arviolta osittain lämpöiselle laitokselle noin kaksi tuntia. Mikäli lämmityskatkos olisi pidempi, on käynnistyslämmitys vastaavasti pidempi. Tämä on huomioitava, kun suunnitellaan seuraavan päästöjä aiheuttavan prosessin käynnistysajankohtaa. Vastaavasti taulukossa 3 3. kulutus on kahdeksan tunnin prosessiväliajalla, ja 4. kulutus on 16 tunnin prosessiväliajalla (ks edel. s.). Kulutukset on havainnollistettu taulukon 4 kulutuslaskelma kaaviossa

Taulukko 4. Kulutuslaskelma kaavio



Käytännössä työnjohto pystyy hyvin arvioimaan 8 -16 tunnin tai sitä pidemmät väliajat ja ohjeistamaan lämpökeskuksen valvomon henkilökuntaa polttolaitoksen käyntitilan tarpeen suhteen. Haasteellisen asiasta tekee se, miten valvoa polttolaitoksen uudelleen lämmityksen ohjausta. Myöhästynyt polttolaitoksen lämmityspyyntö lämpökeskukselle viivästyttäisi prosessin aloitusta. Varajärjestelmänä on ennen polttolaitosta käytössä olleet vesipesurit, jotka saadaan heti käyntiin tarvittaessa käynnistämällä vesipumput.

Rivin viisi laskentatulosta oli haettu iteroimalla historiatiedoista optimaalinen väliaika, joka kannattaa ylläpitolämmityksellä lämmittää tai pidemmällä aikavälillä katkaista lämmitys ja aloittaa lämmitys 2,5 tuntia ennen arvioitua prosessin aloitusajankohtaa.

5 Yhteenveto

Ennen tutkimustyön aloitusta oletettiin, että etanolipohjaisten prosessierien väliajat olisivat pidempiä. Näin ollen energiaa tuhlaava laitoksen ylläpitolämmityksen osuus olisi ollut suurempi, kuin mitä laskelmat osoittivat.

Energian kulutuslaskelmien pohjalta syntyi ehdotus ohjauksen toteuttamiseksi siten, että se mahdollistaisi laskelmien mukaisen tuotannon tarpeista ohjautuvan VOC-laitoksen ohjauksen. Kustannuksia olisi mahdollista pitää laskelmien mukaisella alimmalla tasolla myös käytännössä suunnittelemalla informatiivinen käyttöliittymä myös tuotannon puolelle. Liittymä voisi olla esimerkiksi työnjohtajien huoneessa. Liittymässä voisi olla näkyvissä VOC-laitoksen senhetkinen tila. Käyttöliittymän avulla lämmityksen ohjaukselle päivitetäisiin tuotantosuunnittelun ja työnjohdon arvion mukainen prosessin aloitusajankohta. Mikäli polttolaitos olisi alas ajettuna, olisi nähtävissä arvioitu aika laitoksen valmiustilaan saattamiseksi. Nämä tiedot saataisiin laskennallisesti aikaiseksi polttolaitoksen olemassa olevista mittauksista ja energiakäytön historiasta. Laitteistolle on jo päätetty asentaa Siemens Automaation ohjausjärjestelmään integroitava energiannittaus ja historiankeräysohjelmisto mittalaitteineen.

Kuvan 10 (s.13) prosessikaaviossa näkyvä polttolaitteiston jälkeinen lämmön talteenotto yksikkö (LTO) ei ole laitteistossa mukana. LTO oli suunnitelmissa, jotta lämpöä voitaisiin ottaa talteen polttolaitoksen hukkalämmöstä ja hyödyntää kiinteistön tarpeisiin. Tästä luovuttiin liian epäsäännöllisten lämpökuormien hyödyntämisen vaikeutena. Polttolaitoksen kannalta lämmön talteenottoa pitää kehittää. Lämmön talteenotolla saataisiin tuntuvia säästöjä laitteiston ylläpitolämmityksen kuluihin. Nykyisin laitteisto puhalttaa ylläpitoon lämmitetyn ilman suoraan ulos. Laitteistossa on oltava tietty ilmankierto katalyysaattorien tasaisen lämpenemisen aikaansaamiseksi koko lämmityksen ajan.

VOC-laitteistolle on tehty laaja riskiarvio. Lähtökohtana on ollut VOC-laiteiston toiminta itsenäisenä, ilman suoraa yhteyttä tuotantoprosessiin ja niiden toimintotiloihin. Tämä on perustunut kanavistossa oleviin kahdennettuihin kaasupitoisuusmittauksiin. VOC-laitoksen ensimmäisten koekäyttötestien yhteydessä tuli esille tarve kartoittaa uudestaan mahdolliset häiriötilanteet prosessilaitteiden ja VOC-laitteen välillä. Ratkaisuksi oli hyväksyttävä tilanne, jossa olisi prosessilaitteiden ja VOC-laitteen välillä tilatietokättelyitä. Laitteiston riskiarviota päivitetään kahdella riskikohdalla, jossa ensimmäisessä todetaan VOC-laitteiston tarvitsevan käynnissä-tilatiedon käynnissä olevalta tuotantolait-

teelta. Toisessa kohdassa todetaan tuotantolaitteiden tarvitsevan tilatiedon VOC-laitteen käynnissä-tilasta. Tällä varmistetaan oikea tieto linjausventtiileitä ohjaavalle VOC-laitteistolle käynnissä olevasta tuotantoprosessista. Mahdollisesti ilmakehässä tapahtuvien paine-erojen vuoksi voisi hyvin pienien päästöpitoisuuksien vuoksi tulla venttiilien turhia linjauksia VOC-laitteistolle, esimerkiksi suodattimiin sitoutuneena pitoisuuksina, jotka herkkien pitoisuusantureiden havaitsemina näyttäisi VOC-laitteistolle käynnissä olevana tuotantoprosessina. Signaalitietojen siirto toteutetaan tehdasverkon kautta Ethernet-kommunikointina.

Lähteet

- 1 Ympäristövastuun johtamisen periaatteet, 26.11.2011
<http://www.orion.fi/fi/Vastuullisuus/Yv-raportti-2010/Ymparistovastuu/Ymparistovastuun-johtaminen>
- 2 Artikkele rakeistusprosesseista märkärakeistin laitteesta
Verkkodokumentti 30.10.2012, © 2011 International Journal of Pharmaceutical Frontier Research. <http://www.ijpfr.com/Documents/2011/7.pdf>
- 3 9 Verkkodokumentti 30.10.2012 GEA Process Engineering
http://www.niroinc.com/pharma_systems/fluid_bed_drying.asp
- 4 3, 8 Prosessilaittevalmistaja Glatt. Periaatekuva leijurakeistin prosessilaitteistosta.
20.10.2012
<http://www.glatt.com/cm/en/process-technologies/coating/fluid-bed-coating.html>
- 5 4,2 Airix Teollisuus FMC group, Tekninen selvitys 9045453-PR-2T2-00-001-00
Orjon Oyj, laitteiston hankintaprojektin suunnitteluaineisto
- 6 5, 15 Prosessilaittevalmistaja Glatt. Päälystyslaitteet. 20.10.2012
<http://www.glatt.com/cm/en/process-technologies/coating/pan-coating.html>
- 7 6, 6 Formia Emissions Control Oy. Yrityksen kotisivut 16.10.2011
<http://www.formiasmartvoc.com/fi/kest%C3%A4v%C3%A4%C3%A4-cleantech-kehityst%C3%A4>
- 8 2, Formia Emissions Control Oy. User and maintenance book and data sheet,
versio 3
- 9 7, 10 Formia Emissions Control Oy. Prosessikaavio VOC-prosessista. Versio 2.1,
2010