

Hanna Lepistö

SPRAYKUIVAIMEN TOIMINNAN OPTIMOINTI

Tekniikka ja merenkulku
Hyvinvointiteknologian koulutusohjelma
2013

SPRAYKUIVAIMEN TOIMINNAN OPTIMOINTI

Lepistö, Hanna

Satakunnan ammattikorkeakoulu

Hyvinvointiteknologian koulutusohjelma, ylempi AMK

Helmikuu 2013

Ohjaajat: Haataja, Rauli TkL & Karjala, Kalle DI

Sivumäärä: 63

Asiasanat: kestävä kehitys, energiatehokkuus, jätelämpö

Työn tarkoituksena oli nikkelihydroksikarbonaatin spraykuivaimen toiminnan optimointi. Tavoitteena oli löytää spraykuivaimen ajon kannalta optimiajopiste, jossa propaania kuluu vähiten suhteessa tuotettuun tuotemäärään (vaste).

Prosessista kerättiin historiadataa kolmen vuoden ajalta (2008–2010). Parametridatalle tehtiin monimuuttuja-analyysi Simca P+-ohjelman avulla, josta nähtiin eri parametrien vaikutukset propaanin kulutukseen suhteessa tuotettuun tuotemäärään. Monimuuttuja-analyysin perusteella löytyi kolme parametria: spraykuivaimen syöttöliuoksen tiheys, spraykuivaimen syöttöpaine ja pussisuodattimen jälkeinen paine (alipaine). MODDE-ohjelman avulla laadittiin koeajosuunnitelma, jonka perusteella tehtiin 12 koeajoa. Kaikista koeajoista kerättiin tuotenäytteitä. Tuotenäytteet analysoitiin laboratoriossa, jotta laatuspesifikaatiot saavutettaisiin. Koeajoista tehtiin myös monimuuttuja-analyysi, joissa valittuja kolmea parametria verrattiin valittuun vasteeseen. Spraykuivaimen syöttöliuoksen tiheydellä ja pussisuodattimen jälkeisellä paineella oli suurin vaikutus vasteeseen. Spraykuivaimen syöttöpaineella ei havaittu olevan oleellista vaikutusta vasteeseen. Koeajojen tulosten perusteella löydettiin optimiajopiste. Spraykuivaimen toiminnan optimoinnin avulla voidaan saavuttaa jopa 22 % säästö propaanin kulutuksessa.

Lisäksi työssä tutkittiin mahdollisuutta käyttää spraykuivaimen jätelämpöä hyödyksi prosessissa, kun kuivan nikkelihydroksikarbonaatin spraykuivain on ajossa. Lämmöntalteenottojärjestelmän avulla voisi lämmittää spraykuivaimen menevää halli-ilmaa, jolloin propaanin kulutus pienenesi teoreettisesti laskettuna noin 16 %. Työssä tutkittiin myös mahdollisuutta käyttää jätelämpöä hyödyksi nikkelisulfaattiliuoksen lämmittämiseen, jolloin se korvaisi höyryn emäliuoksen lämmityksessä lämmönvaihdinta käyttäen. Saatujen tarjousten perusteella laskettiin takaisinmaksuajat lämmönvaihtimille ja lämmöntalteenottojärjestelmälle.

THE OPTIMIZATION OF SPRAY DRYER OPERATION

Lepistö, Hanna

Satakunta University of Applied Sciences

Degree Programme in Welfare technology, Master's degree

February 2013

Supervisors: Haataja, Rauli Lic.Sc. & Karjala, Kalle M.Sc.

Number of pages: 63

Keywords: sustainable development, energy efficiency, waste heat

The purpose of this thesis was to optimize the operation of nickel hydroxycarbonate powder spray dryer. The objective was to find the optimum running point for spray dryer where the propane consumption would be the smallest in relation to the amount of product produced (response).

Process history data were collected during three years (2008–2010). Multivariate data analysis was performed on parameter data by using SIMCA P+-software, in which was seen the effects of various parameters for the propane consumption in relation to the amount of product produced. By the multivariate data analysis three parameters were found: the density of the spray dryer feed solution, the feed pressure of the spray dryer and the pressure (vacuum) after the bag filter. A test plan was prepared with MODDE-software and twelve test runs were made according to it. Product samples were collected from all test runs. The product samples were analyzed in the laboratory in order to meet product quality specifications. Multivariate data analysis was also carried out for the test runs, where the selected three parameters were compared to the selected response. The density of the spray dryer feed solution and the pressure after the bag filter had the greatest impact on response rates. The feed pressure of the spray dryer was found not to have significant effect on the response. As a result of the test runs optimum conditions were determined. With the optimization of spray dryer operation, it is possible to save up to 22 % on propane consumption.

The possibility of using spray dryer waste heat for the benefit of the process, when the nickelhydroxycarbonate (powder) spray dryer is running was also studied. The heat recovery system could be used to heat the air feed to the spray dryer in which case the theoretical propane consumption would reduce about 16 %. Alternatively it was studied if the waste heat could be used to heat the nickelsulphate solution, in which case it would replace steam in the heating of the mother liquid. Repayment periods for investments in the heat exchangers and the heat recovery system were calculated based on received quotations.

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	5
2	TYÖN TARKOITUS JA TAVOITTEET	6
3	TOIMINTAYMPÄRISTÖN KUVAUS.....	7
3.1	Norilsk Nickel Harjavalta Oy	7
3.2	Kemikaalitehdas.....	9
3.3	Nikkelihydroksikarbonaatin valmistus	11
3.4	Spraykuivaimen toiminta	13
4	KESTÄVÄ KEHITYS	16
4.1	Yleistä	16
4.2	Ekologinen kestävyys	18
4.3	Sosiaalinen ja kulttuurinen kestävyys.....	18
4.4	Taloudellinen kestävyys	19
5	NIUKKARESURSSISET PROSESSIT	20
5.1	Ekotehokkuus- "enemmän vähemmästä"	20
5.2	Energiatehokkuus.....	21
5.3	Energiatehokkuussopimukset	23
5.4	Energiatehokkuusjärjestelmä	26
5.5	Energiatehokkuus NNH:lla ja Kemikaalitehtaalla.....	27
6	TUTKIMUSMENETELMÄT	29
6.1	Konstrukttiivinen tutkimus	29
6.2	Tapaustutkimus	30
6.3	Aineistokeruumenetelmät	31
7	PROSESSIDATAN ANALYSOINTI.....	34
7.1	Historiadan monimuuttuja-analyysi.....	34
7.2	Koesuunnitelma	38
7.3	Koeajojen monimuuttuja-analyysi.....	39
7.4	Ajoparametrit käytäntöön	45
7.5	Propanin kulutuksen väheneminen	45
8	JÄTELÄMMÖN HYÖDYNTÄMINEN.....	47
8.1	Propanin teoreettinen kulutus.....	47
8.2	Ilma-ilma lämmönvaihdin tarjous.....	51
8.3	Ilma-neste lämmönvaihdintarjoukset.....	52
9	JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA	58
	LÄHTEET.....	60

1 JOHDANTO

Vastuulliset yritykset ovat alkaneet miettimään toimintaansa kestäväen kehityksen periaatteiden kannalta. Ympäristöasiat huomioon ottamalla parannetaan kilpailukykyä ja luodaan parempaa imagoa. Teollisuuden tuotannosta aiheutuvia päästöjä ympäristöön pyritään koko ajan pienentämään ja samalla kehitetään tuotteita ja palveluita enemmän ympäristöä säästäviksi. Elinkaariajattelun myötä tavoitteena on käyttää luonnonvaroja säästeliäästi ja tehokkaasti. Kustannussäästöjä saadaan tehostamalla materiaalien käyttöä, energian kulutusta ja jätehuollon minimoinnilla. Tuotanto- ja materiaalitehokkuuden huomioon ottaminen tuotannon suunnittelussa pienentää yksikkökustannuksia. (Rissa 2001, 70–73)

Raaka-aineiden, energian ja muiden käyttöhyödykkeiden hinnat jatkavat vain nousuaan. Suomessa teollisuus käyttää yli puolet koko energian käytöstä. Energia- ja ekotehokkuuden parantaminen prosessiteollisuudessa voidaan tehdä kiinnittämällä enemmän huomiota prosessitekniisiin asioihin, kuten prosessin optimointiin. Monissa prosessiteollisuuden kohteissa prosessin optimointia ei ole tehty siinä määrin, että tuotantolinjan ajaminen olisi tehokasta.

Prosessiteollisuudesta löytyy paljon potentiaalia käyttää hyödyksi prosesseissa muodostuvia jätelämpöjä. Jätelämpöjä voidaan ottaa talteen lämmöntalteenottojärjestelmillä ja erilaisilla lämmönvaihtimilla. Prosessiteollisuudessa jätelämpöä voidaan ottaa talteen esimerkiksi erilaisista poistoilmoista. Jätelämmön hyödyntämiskohteina voivat olla muun muassa erilaiset prosessiliuokset sekä vedet. Muutokset vaativat kuitenkin aina investointeja. Monessa tapauksessa lämmöntalteenottojärjestelmien myötä tehtävien prosessimuutosten takaisinmaksuajat ovat melko lyhyitä. (Hellgren, Heikkinen, Suomalainen & Kala 1999, 132–150)

2 TYÖN TARKOITUS JA TAVOITTEET

Työn tarkoituksena oli nikkelihydroksikarbonaatin kuivauksessa käytetyn spraykuivaimen energiatehokkuuden parantamiseen tähtäävät toimenpiteet.

Työlle asetettiin seuraavat tavoitteet:

- energia- ja tuotantotehokkuuden parantaminen
- spraykuivaimen toiminnan optimointi
- propaanin kulutuksen vähentäminen kuivausprosessissa noin 10 %
- tutkia mahdollisuutta käyttää jätelämpöä hyödyksi prosessissa.

Työn tavoitteena oli selvittää nikkelihydroksikarbonaatin kuivauksessa käytetyn spraykuivaimen energiansäästöpotentiaalia. Spraykuivaimessa käytetään käyttöhyödykkeenä propaania. Tarkoituksena oli pienentää propaanin kulutusta noin 10 %.

Työn toinen tärkeä tavoite oli tutkia eri mahdollisuuksia käyttää spraykuivaimesta syntyvää jätelämpöä hyödyksi. Jätelämpöä voitaisiin käyttää hyväksi spraykuivaimen sisään menevän ilman lämmittämiseen. Tarkoituksena oli tutkia myös mahdollisuutta käyttää spraykuivaimen jätelämpöä hyödyksi muissa kemikaalitehtaan kohteissa.

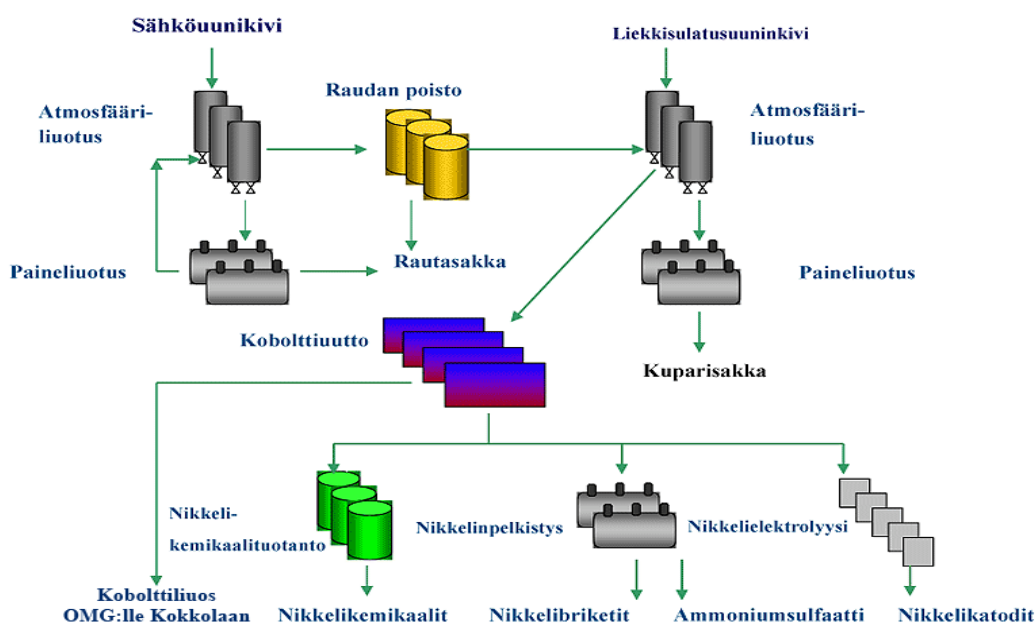
3 TOIMINTAYMPÄRISTÖN KUVAUS

3.1 Norilsk Nickel Harjavalta Oy

Norilsk Nickel Harjavalta Oy (NNH) valmistaa vuodessa noin 50 000 tonnia nikkeliä. Tuotteita ovat:

- nikkelikatodit
- nikkelibriketit
- nikkelikemikaalit.

Tuotannon sivutuotteina syntyy kobolttisulfaattiliuosta ja ammoniumsulfaattikiteitä. Raaka-ainetta käytetään vuodessa noin 300 000 tonnia. Boliden Harjavalta Oy suorittaa nikkelibrikasteiden sulatuksen ja nikkelikiven valmistuksen. Lisäksi raaka-aineena käytetään ostokiveä, nikkeli-pitoisia suoloja ja sakkoja sekä erilaisia sekundäärejä. Pääpiirteissään tehtaan tuotantoprosessit jakautuvat neljän osaston kesken: liuottamo, pelkistämö, elektrolyysi ja kemikaalitehdas. Kuvassa 1 on esitetty Norilsk Nickel Harjavalta Oy:n prosessikaavio. (Hämäläinen & Mikkola 2011, 5)



Kuva 1. Norilsk Nickel Harjavalta Oy:n prosessikaavio. (www.norilsknickelharjavalta.fi)

Liuottamo

Nikkelikivi tulee liuottamolle Boliden Harjavalta Oy:stä. Raaka-aineet liuotetaan ja puhdistetaan liekkisulatusuunikivi (LSU)- ja sähköuunikivi (SU)-liuottamoilla sekä intermediaattiliuotusprosessissa (IRM). Raaka-aineena käytetään erilaisia ostokiviä ja suoloja. Liuottamalla liuotetaan myös tehdasalueella muodostuneita sakkoja.

Liuottamalla nikkelikivestä liuotetaan nikkelisulfaattiliuosta atmosfääri- ja paineliuotuksessa, jossa apuna käytetään happea ja rikkihappoa. Nikkelisulfaattiliuos sisältää vielä kobolttia ja muita epäpuhtauksia. Liuosjäännöksenä muodostunut kuparisakka on yksi tehtaan tuote. Puhdistettu nikkeliraakaliuos johdetaan pelkistämön kobolttiuuttoon.

Intermediaattiliuotukseen syötettävät nikkelisulfidisakat tuodaan junalla Talvivaarasta. Nikkelisulfidisakan liuotus tapahtuu autoklaaviliuotuksena. Tämän jälkeen liuokselle tehdään esineutralointi kalkilla, suodatetaan ja pumpataan pelkistämölle. Pelkistämöllä kalsiumuutossa liuksesta erotetaan kalsium. Intermediaattiliuos neutraloidaan raudan erottamiseksi. Muodostunut kalkkipitoinen rautasakka läjitetään tiivisvesialtaille. (Oja 2010, 4–6)

Uutto ja Pelkistäminen

Kalsiumuuttoon tulee nikkeliliuosta liuottamon intermediaattiliuotuksesta. Kalsiumuuton tarkoitus on uutta nikkeliliuoksesta kalsium. Samalla liuoksesta uutetaan pois muitakin epäpuhtauksia (Fe, Zn, Cu ja Mn). Epäpuhtaudet saostetaan soodalla metallikarbonaattisakaksi.

Liuottamolta tulevassa liuoksessa merkittävin epäpuhtaus on koboltti, joka poistetaan nikkeliraakaliuoksesta kobolttiuutossa. Koboltti uuttautuu orgaaniseen uuttoliuokseen ja saadaan takaisin uuttamalla talteen kobolttisulfaattiliuokseksi. Nikkeliliuos ajetaan aktiivihiihliuodattimien läpi, joissa poistetaan orgaaniset jäämät. Kobolttiuutossa puhdistettu nikkeliliuos pumpataan elektrolyysiin ja pelkistämölle jatkojalostukseen. Kobolttiuutto valmistaa liuokset myös kemikaalitehtaan tarpeisiin.

Pelkistämö valmistaa nikkelpulveria. Suurin osa nikkelpulverista sintrataan briekteiksi. Kobolttivapaa nikkeli-liuos pelkistetään autoklaaveissa vedyllä. Nikkelibrikettiä käytetään yleisesti ruostumattoman ja haponkestävän teräksen valmistukseen.

Pelkistyksen sivutuotteena syntyy ammoniumsulfaattiliuosta. Liuos haihdutetaan ja kiteytetään kiteyttimissä. Ammoniumsulfaatti myydään lannoiteteollisuudelle. (Berg, Kellokumpu, Kokkonen, Laine & Maijala 2011, 5–6)

Elektrolyysi

Elektrolyysissä nikkeli saostetaan puhdistetusta nikkelisulfaattiliuoksesta elektrolyytisesti. Saostus tehdään electrowinning-menetelmällä, jossa apuna käytetään liukenemattomia lyijyanodeja.

Tuotanto aloitetaan siemenlevyjen valmistuksella. Siemenlevyinä käytettävät nikkelilevyt valmistetaan emälevyaltaisissa, jossa katodeina ovat titaani-levyt. Nikkeli pelkistyy liuoksesta titaaniemälevyjen pintaan.

Nikkelin saostus tapahtuu elektrolyysialtaissa, jossa se saostuu katodeina toimivien siemenlevyjen pintaan. Altaissa nikkelikatodit kasvavat halutun kokoisiksi noin seitsemässä vuorokaudessa, jonka jälkeen katodit vaihdetaan jälleen uusiin siemenlevyihin. Katodilevyt pestään ja niputetaan katodikoneella. Leikkaamossa nikkelikatodit leikataan haluttuun kokoon, pakataan ja toimitetaan asiakkaille. Nikkelikatodia käytetään yleisesti ruostumattoman ja haponkestävän teräksen valmistamiseen. (Orava & Unkuri 2011, 4–5)

3.2 Kemikaalitehdas

Kemikaalitehdas valmistaa uutosta tulevasta nikkelisulfaattiliuoksesta epäorgaanisia suoloja, joita ovat nikkelisulfaatit, -karbonaatit ja -hydroksidit. Kemikaalitehtaalla tuotantolinjoja on yhteensä viisi. Nikkelisulfaattilinjoja on kaksi, nikkelihydroksikarbonaattilinjoja kaksi sekä yksi nikkelihydroksidilinja.

Nikkelisulfaattia valmistetaan kahta laatua: STD- ja EN-laatua. Niiden tuotantolinjat ovat samanlaiset. Varastosäiliöstä liuos ajetaan emäliuossäiliön kautta kiteyttimeen. Kiteet muodostuvat kiteytymässä paineen ja lämmön avulla. Alipainetta syventämällä veden kiehumispiste laskee, jonka ansiosta osa vedestä haihtuu. Näin syntyy ylikylläistä liuosta, josta kiteet alkavat muodostua. Kiteytimestä väkevöity liete siirretään lingolle ja siitä edelleen leijupetikuivaiimeen, jossa kiteet kuivataan. Kuivauksen aikana syntyvät kaasut puhdistetaan pussisuodattimissa ja kaasupesurissa ennen niiden pääsyä ulos piipusta. Valmistuneet kuivat kiteet seulotaan ja siirretään tuotesii-loihin. Siiloista tuotteet pakataan joko suursäkkeihin tai suutinsäkkeihin.

Nikkelisulfaattia käytetään sähköttömään pinnoitukseen (EN-laatu) ja muiden kemikaalien valmistukseen. Tuotteen nikkelpitoisuus on noin 22,3 %.

Nikkelihydroksidi valmistetaan nikkelisulfaattiliuosta saostamalla kahdessa sarjaan kytketyssä reaktorissa. Saostimena käytetään natriumhydroksidia eli lipeää. Sakka pestään ja ajetaan pulperiin, jossa se lietetään. Sieltä se pumpataan spraykuivaiimeen ja edelleen tuotesii-loon, josta tuote pakataan suur- tai avosäkkeihin.

Nikkelihydroksidin nikkelpitoisuus on noin 60–62 % (yleensä noin 61 %). Suurin nikkelihydroksidia käyttävä teollisuuden ala on paristo- ja akkuteollisuus. Se käyttää nikkelihydroksidia kehittäessään aina vain tehokkaampia ja luontoystävällisempiä paristoja.

Kemikaalitehtaalla valmistetaan demivettä (demineralisoitua vettä) tuotantoa varten. Jokiveteen sekoitetaan ferrisulfaattia ($\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$) ja lipeää ja vesi ajetaan hiekkasuodattimien läpi, joka poistaa kiintoaineet, kuten humuksen ja levän. Esikäsitelty vesi ajetaan ioninvaihtimien läpi.

Kemikaalitehtaalla toimii myös vesienkäsittely, jossa puhdistetaan prosessi- ja sadevedet. Käsiteltävät metalleja sisältävät liuokset saostetaan kolmessa reaktorissa, josta liuos ajetaan sakeuttimeen. Sakeuttimen ylite ajetaan hiekkasuodattimien läpi prosessivesialtaan kautta takaisin jokeen. Sakeuttimen alitteena muodostunut sakka ajetaan nauhasuodattimelle ja muodostunut kakku kuljetetaan liuottamolle. (Ruusunen & Sallinen 2012, 4–5)

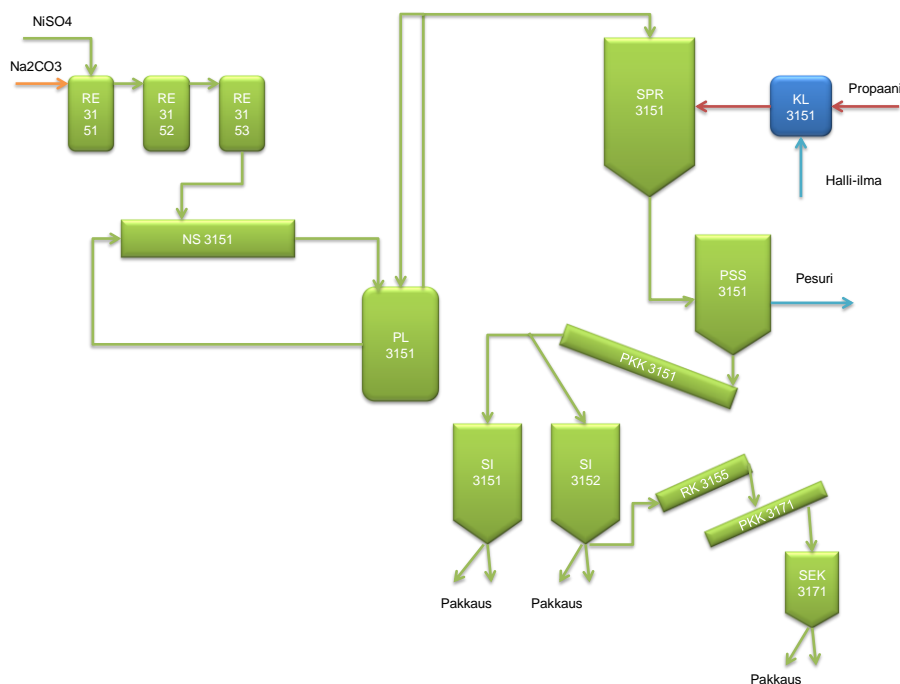
3.3 Nikkelihydroksikarbonaatin valmistus

Nikkelihydroksikarbonaattia valmistetaan kahdella linjalla, toisessa valmistetaan granuloitua ja toisessa kuivaa nikkelihydroksikarbonaattia. Nikkelihydroksikarbonaatti saostetaan kolmessa peräkkäisessä reaktorissa nikkelisulfaattiliuoksesta käyttäen saostimena natriumkarbonaattia eli soodaa. Saostuksesta saatu sakka suodetaan ja pestään nauhasuodattimella, kuivataan spraykuivaimessa ja ajetaan pusuodattimen läpi siiloon pakkausta varten. Suodatettu tuote kuivataan spraykuivaimen avulla. Muodostunut tuote johdetaan tuotesiiloihin, joista niitä pakataan suur- tai avosäkkeihin tai säiliöautoon.

Kuivasta nikkelihydroksikarbonaatista valmistetaan pastaa homogenisaattorissa, jolloin siihen lisätään vettä. Pastaa pakataan suur- ja avosäkkeihin.

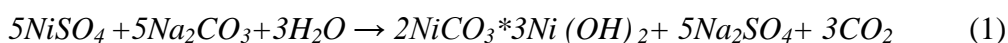
Nikkelihydroksikarbonaattia käytetään laaja-alaisesti erilaisissa elektroniikan- ja kemianteollisuuden kohteissa. Sitä käytetään myös ruostesuojauksessa. Öljyteollisuus käyttää katalyyteissä nikkelioksidia, joka valmistetaan nikkelihydroksikarbonaatista. Tuotteena nikkelihydroksikarbonaatti on puhdasta, mutta se ei liukene veteen. Granuloidun tuotteen nikkeli-pitoisuus on noin 39–42 % (yleensä noin 41 %).

NNH tuottaa kemikaalitehtaalla nikkelihydroksikarbonaattia ($2\text{NiCO}_3 \cdot 3\text{Ni(OH)}_2$). Tuotteen nikkeli-pitoisuus vaihtelee asiakasspesifikaatioiden mukaan 47–51 % (yleensä 48–49,5 %). Kuvassa 2 on esitetty nikkelihydroksikarbonaatin valmistusprosessi pääpiirteissään.



Kuva 2. Nikkelihydroksikarbonaatin valmistusprosessi.

Nikkelihydroksikarbonaatti saostetaan seuraavan reaktioyhtälön mukaan:



Kolmessa reaktorissa saostunut liete ajetaan nauhasuodattimelle. Nauhasuodattimella tuote suodatetaan ja pestään, jotta epäpuhtaudet (mm. natrium) poistuvat tuotteesta. Pesuvedenä käytetään noin 70 asteista demivettä. Muodostunut kakku siirtyy pulppeeriin, jossa kakun joukkoon ajetaan demivettä. Demiveden lisäyksellä säädetään spraykuivaimeen menevän slurryn tiheyttä. Suodattimelta liuos pumpataan spraykuivaimeen. Spraykuivaimessa liuos ajetaan hajotinpyörän läpi, joka levittää liuoksen tasaisesti spraykuivaimeen. Spraykuivaimeen ajetaan halli-ilmaa, joka lämmitetään kaasulämmittimessä. Kaasulämmittimessä oleva poltin toimii propaanilla. Kuivaimesta kuivattu tuote ajetaan vielä pussisuodattimen läpi, jossa poistokaasu puhdistetaan. Pussisuodattimelta tuote siirretään kolakuljettimella tuotesiiloon (2 kpl). Tuote pakataan joko suursäkkeihin (esim. 500 kg tai 800 kg) tai avosäkkeihin (esim. 15 kg). (Luoma 2009, 3–6)

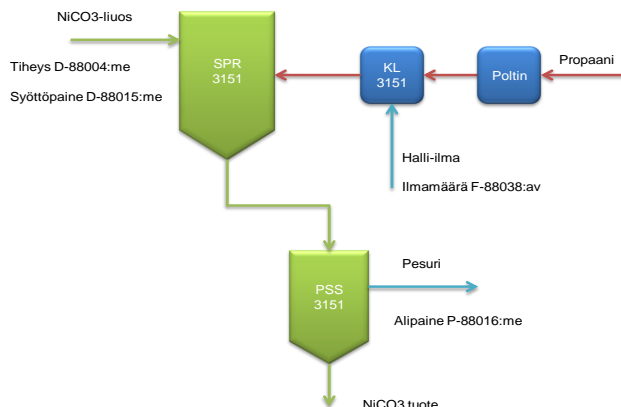
3.4 Spraykuivaimen toiminta

Yleisesti prosessiteollisuudessa kuivauksella tarkoitetaan veden tai muun nesteen poistamista kuivattavasta aineesta kokonaan tai osittain. Ennen tuotteen lopullista kuivausta liika kosteus voidaan poistaa mekaanisin keinoin, kuten puristamalla, imemällä, suodattamalla tai linkoamalla.

Spraykuivaimen syötettävä liuos voidaan syöttää joko sumuna suuttimien avulla tai pisaroina hajotinpyörän avulla kuumaan kaasuvirtaan. Sumutuksen avulla luodaan optimiolosuhteet, jotta kuivattavalle tuotteelle saadaan halutut ominaisuudet. Pisarat muodostuvat sylinterimäisessä kammiossa, jossa kosteus poistuu niistä nopeasti höyrystymällä. Haihdutuksessa saadaan kuivattavasta tuotteesta poistettua yli 95 % vedestä. Haihtumisen kannalta tärkeitä asioita ovat ilman vedenimukyky, kosketuspinta-ala ilman ja spraykuivaimen syöttöliuoksen välillä sekä syöttöliuoksen lämpötila. Jäljelle jää kiintoainehiukkasia, jotka erotetaan kaasuvirrasta esim. syklonin avulla. Spraykuivaimen ajettava kaasu ja kuivattava liuos voivat virrata joko myötä- tai vastavirtaan toisiinsa nähden. Kuivausajat ovat spraykuivaimissa lyhyitä ja lämpötilat korkeita. Spraykuivaimesta poistuva jäähtynyt ja kostea ilma poistetaan kuivaimesta syklonin, pussisuodattimen tai näiden kahden yhdistelmän kautta. (Pihkala 2007, 88–96, www.niro.com)

Spraykuivaus soveltuu jatkuvatoimisiin prosesseihin, joissa voidaan kuivata kuivia aineita kuivaksi pulveriksi sekä kuivata agglomeroituja hiukkasia sisältäviä liuoksia. Spraykuivaimen menevä syöttöliuos voi olla kidevesiä sisältävää ainetta, emulsioita tai pumpattavaa suspensioita. Spraykuivaus soveltuu kohteisiin, joissa kuivatulta tuotteelta vaaditaan tiettyjä laadullisia ominaisuuksia, kuten tiettyä hiukkaskokojaukamaa, jäännöskosteutta, irtotiheyttä tai partikkelimorfologiaa. (www.niro.com)

Kuvassa 3 on esitetty Kemikaalitehtaan nikkelihydroksikarbonaatin spraykuivaukseen liittyvät päälaitteet.



Kuva 3. Nikkelihydroksikarbonaatin spraykuivain.

Nikkelihydroksikarbonaatin spraykuivain on varustettu hajotinyörällä. Spraykuivain saa lämpöenergiansa polttimelta, joka käyttää propaanikaasua polttoaineenaan. Propanin palamista polttimella vahtii liekkivahti. Liekkivahti sulkee propaanivirtauksen automaattisesti tilanteissa, joissa propaania pääsee palamatta polttimelta spraykuivaimen menevään linjaan. Kuivauslaitteiden ulkopuolelle mahdollisesti vapautuvaa propaanikaasua seurataan kaasuhaisteliyoilla. Spraykuivain-poltin kokonaisuuteen alipaine aikaansaadaan kuivaimen jälkeisellä puhaltimella. Kaikki muodostuneet kaasut kulkevat pussisuodattimen ja puhaltimen läpi venturipesurille, jossa kaasut pestään ennen ulkoilmaan menoa. (Luoma 2009; Räjähdsyasiakirja 2003)

Spraykuivaimen parametrit

Spraykuivaimen toiminnan kannalta oleellinen parametri on spraykuivaimen syöttöliuoksen tiheys. Spraykuivaimen tarkoituksena on haihduttaa syöttöliuoksesta vettä pois. Tiheyden ollessa alhainen, haihdutettavan veden määrä on suuri. Näin ollen polttoaineena käytetyn propaanin kulutus kasvaa. Spraykuivaimen tehokkuuden kannalta on oleellista käyttää sopivaa syöttöliuoksen tiheyttä.

Tutkimuksen kohteena olevan spraykuivaimen pussisuodattimen jälkeisellä paineella (alipaineella) säädetään spraykuivaimen menevää ilmamäärää. Alipaineen syventyessä ilmamäärän virtaus kasvaa.

Muita kuivan nikkelihydroksikarbonaatin spraykuivaimen oleellisia parametreja ovat spraykuivaimen loppulämpötila ja sisään menevän ilman lämpötila. Loppulämpötilan avulla säädetään haluttua nikkeliipitoisuutta. Tuotantokapasiteettia taas säädetään spraykuivaimen menevän ilman lämpötilalla. (Luoma 2009)

Propani ja sen käyttö

Propania eli nestekaasua käytetään yleisesti polttoaineena teollisuudessa, kotitalouksissa sekä ponnekaasuna tietyissä aerosolipakkauksissa. Suomessa nestekaasuna käytetään yleensä propania, koska se höyrystyy butaania helpommin. Propanin ja butaanin seoksia käytetään myös ponnekaasuina, kun on tarve säätää nestekaasun ominaisuuksia. (Vanha-aho 2003)

Kemikaalitehtaan alueella nestekaasua eli propania varastoidaan kahdessa nestekaasusäiliössä. Säiliöissä nestekaasu on nestemäisessä muodossa. Säiliön paine riippuu nestemäisen nestekaasun lämpötilasta propanin höyrynpainekäyrän mukaan. Säiliön maksimitäyttöaste on 89 %. Nestekaasusäiliön painetta seurataan säännöllisesti.

Kemikaalitehtaalle nestekaasu toimitetaan säiliöautoilla. Purkauspumpuin varustetut säiliöautot pumpaavat nestekaasut varastosäiliöihin. Varastosäiliöltä nestekaasu pumpataan siirtopumpuilla höyrystinasemalle. Siirtopumppujen avulla voidaan nostaa nestekaasun painetta varastosäiliöltä aina käyttölaitteille (spraykuivaimet), jos paine on laskenut alle asetusarvon. Siirtopumppuasemalla on kolme pumppua, joista kaksi on aina vuorotellen ajossa.

Nestekaasusäiliöltä nestekaasu ohjataan putkistoa pitkin höyrystinkeskukseen nestemäisessä muodossa. Höyrystimessä nestekaasu saa kaasumaisen muotonsa. (Räjähdyksiakirja 2003, 14–15)

4 KESTÄVÄ KEHITYS

4.1 Yleistä

Kestävällä kehityksellä tarkoitetaan maailmanlaajuista muutosliikettä, jolla pyritään turvaamaan kaikille ihmisille hyvän elämisen mahdollisuudet; nyt ja tulevaisuudessa. Päätöksissä ja kaikessa toiminnassa tulisi huomioida tasavertaisesti ympäristö, ihminen ja talous. Kestävä kehitys voidaan jakaa neljään yhtä tärkeään osaan:

- ekologinen kestävyys
- sosiaalinen kestävyys
- kulttuurinen kestävyys
- taloudellinen kestävyys.

Mottona voidaan pitää ajatusta jättää tuleville sukupolville vähintään samat mahdollisuudet kuin meillä on nyt. Vuonna 1987 ns. Brundtlandin komissio käytti kestävän kehityksen käsitettä ensimmäisen kerran kirjoittaessaan Yhdistyneiden kansakuntien globaalin kehityksen suunnitelmaa. Komission mukaan kehitys on kestävä, kun ympäristö, talous ja sosiaalinen ulottuvuus otetaan huomioon. Talouskasvussa on huomioitava, ettei kehitys tuhoa ympäristöä missään päin maailmaa. Köyhien maiden kohdalla talouden kasvu tarkoitti sitä, että heillä olisi myös mahdollisuus tyydyttää perustarpeensa eli hyötyä yhteiskunnallisesta kehityksestä.

Vuonna 1992 Rio de Janeirossa Brasiliassa pidetyssä YK:n ympäristö- ja kehityskonferenssissa kehitysmaat antoivat oman näkemyksensä kestävästä kehityksestä. Konferenssin tuloksena saatiin aikaiseksi kestävän kehityksen periaatteet ja tavoitteet. "Rion hengessä" vahvistettiin yhteys ympäristön ja kehityksen välille ja todettiin yhteiskunnan rakennemuutoksen olevan edessä kaikkialla.

Tällä vuosituhanella köyhyys ja sen vähentäminen on noussut pääteemaksi kestävässä kehityksessä. Köyhyyden vähentäminen on yksi YK:n ns. vuosituhattavoitteista. Hyvä keino ympäristön suojelun kannalta olisi köyhyyden vähentäminen. Esimerkiksi aavikoituminen Afrikassa polttopuiden hakkuiden takia voitaisiin estää, jos ih-

misille keksittäisiin muita tulonlähteitä. Köyhyyden poistaminen kestävän kehityksen avulla mainitaan myös Suomen kehityspoliittisessa ohjelmassa (taloudellinen, yhteiskunnallinen ja luonnontaloudellinen).

Käsitteenä kestävä kehitys on saanut myös kritiikkiä, koska sen sanotaan keskittyvän liikaa kehitysmaihin. Suurimmat saastuttajat ja luonnonvarojen kuluttajat ovat kuitenkin rikkaita teollisuusmaita. Maapallon säilymisen kannalta olisi oleellista, että teollisuusmaat säästäisivät kulutuksessa kestävän talouskasvun sijaan. Kritiikkiä on aiheuttanut aika ennen ympäristönormeja. Rikkaat maat ovatkin saaneet kilpailuedun kehitysmaihin verrattuna, koska ovat hankkineet vaurautta saastuttaen ja ympäristötuhoja aiheuttaen.

Tarkasteltaessa esimerkiksi taloudellista kehitystä, tulisi se toteuttaa niin, että myös muut kestävyiden muodot toteutuvat. Kestävällä kehityksellä on myös yhteiskunnallinen merkitys, joka huomioi ihmisten tasavertaisen mahdollisuuden hyvinvointiin, päätöksentekoon ja perusoikeuksien toteutumisen. (Hirvonen 2010; Rissa 1999, 15–17; www.ymparisto.fi)

Kuvassa 4 on esitetty kestävän kehityksen neljä muotoa, jotka nivoutuvat toisiinsa.



Kuva 4. Kestävän kehityksen muodot. (www.portal.mtt.fi)

4.2 Ekologinen kestävyys

Ekologisella kestävyydellä tarkoitetaan biologisen monimuotoisuuden ja ekosysteemien toimivuuden säilyttämistä. Samalla tulisi ihmisen taloudellinen ja aineellinen toiminta sopeuttaa luonnon kestävyyskykyyn pitkällä aikavälillä. Ekologisen kestävyuden yksi tavoitteista on kansainvälinen yhteistyö. Tärkeitä periaatteita ovat uusiutumattomien luonnonvarojen säästö, tuotanto- ja kulutustottumusten siirtyminen vähemmän luontoa kuormittaviksi, päästöjen vähentäminen, ympäristöhaittojen ennaltaehkäisy ja niiden torjuminen paikanpäällä.

Ilmastonmuutoksen uhka ja luonnon biodiversiteetin väheneminen ovat nopeuttaneet kestävä kehityksen toteuttamisen tarpeellisuutta. Maapallolla voidaan havaita jo ilmastonmuutoksen vaikutuksia, jotka ovat osaksi aiheutuneet ilmaston korkeista hiilidioksidipitoisuuksista. Erityisesti fossiilisten polttoaineiden käyttö aiheuttaa ilmaston lämpenemistä. Uusiutuvia luonnonvaroja käytetään yli niiden uusiutumiskyvyn ja useita eliölajeja uhkaa sukupuutto. (Hirvonen 2010; www.ymparisto.fi)

4.3 Sosiaalinen ja kulttuurinen kestävyys

Sosiaalisella kestävyydellä tarkoitetaan maailmanlaajuisista ihmisten yhdenvertaisuutta ja tasa-arvoa kaikkien ihmisten välillä. Tarkoituksena on taata hyvinvoinnin siirtyminen sukupolvelta toiselle. Tällä hetkellä haasteena sosiaalisen kestävyuden kehittymiselle ovat: väestönkasvu, köyhyys, ruoka- ja terveyshuolto, sukupuolten välinen epätasa-arvo sekä koulutuksen järjestäminen. Maailmanlaajuisina ongelmina voidaan pitää lapsityövoimaa, voimakasta väestönkasvua ja riistokauppaa. Suomen sosiaalisen kestävyuden ongelmina taas voidaan mainita työttömyys, syrjäytyneisyys ja sosiaalisten erojen kasvu. Yhteiskunnallisella toiminnalla pyritään tasaamaan hyvinvoinnin eroja eri väestöryhmien ja alueiden välillä. Näillä haasteilla on vaikutusta myös ekologisen ja taloudellisen kestävyuden kehittymiseen.

Kulttuurisen kestävyuden tavoitteena taas on turvata kulttuurien säilyminen ja kehittyminen sukupolvelta toiselle, edellytyksenä on sopusointu yhteisön kulttuurin ja arvojen kanssa. Jotta kullakin kulttuurilla oli mahdollisuudet jatkua ja kehittyä, on kes-

tävässä kehityksessä huomioitava sen kulttuuriperintö ja arvomaailma. Se tarkoittaa erilaisten kulttuurien hyväksymistä ja sopuisaa yhteiseloä. Toisten kunnioitus on avainsana kulttuurisessa kestävyudessa, jossa huomioidaan myös luonto ja eläimet. Se takaa myös ihmisten vapaan henkisen toiminnan sekä eettisen kasvun. (Hirvonen 2010; Valtioneuvoston kanslia 2006; www.ymparisto.fi)

4.4 Taloudellinen kestävyys

Taloudellisen kestävyuden edellytyksenä on kasvu, joka ei perustu velkaantumiseen sekä varantojen hävittämiseen. Yhteiskunnan taloudellisesti kestävä kehitys on edellytys sen keskeisille toiminnoille. Haasteita taloudelle tuovat väestön ikääntyminen ja sitä myötä kasvavat sosiaali- ja terveysmenot. Kestävä talous onkin sosiaalisen ja ekologisen kestävyuden perusta. (Hirvonen 2010; www.ymparisto.fi)

5 NIUKKARESURSSISET PROSESSIT

5.1 Ekotehokkuus- "enemmän vähemmästä"

Ekotehokkuuden tarkoituksena on tuottaa vähemmästä enemmän. Siksi sitä voidaan kutsua myös "vihreäksi tuottavuudeksi". Tuotannossa tämä tarkoittaa tuotteen valmistuksessa käytettyjen raaka-aineiden, materiaalien, energian ja teknologian tehokasta käyttöä. Mitä pienempi tuotteen valmistukseen käytetty hyödykkeiden panos on, sitä ekotehokkaammin luonnonvaroja käytetään. Ekotehokkuus lasketaan kuuluvaksi osaksi kestävästä kehityksestä.

Yritysten ja kaiken elinkeinoelämän menestyksen valttina on niukkaresurssisuus. Tarkoituksena on kaikessa toiminnassa ja tuotannossa käyttää mahdollisimman vähän raaka-aineita ja energiaa kuin mahdollista. Tämä katsotaan kilpailueduksi tuotannossa ja palvelutoiminnassa. Niukkaresurssisuuden innoittamana kehitellään jatkuvasti uusia liiketoimintaideoita ja uusia innovaatioita. Niukkaresurssisuudesta hyötyvät sekä tuotteiden/palvelujen käyttäjät että niiden tuottajat - koko arvoketju - ympäristö mukaan lukien.

Kustannustehokkuus ohjaa paljolti tuotantoa ja kaikkea toimintaa. Ihmisten ympäristötietoisuus on noussut koko ajan. Ympäristönsuojeluun kohdistuvat normit ja vaatimukset kiristyvät jatkuvasti. Samalla ihmisten kiinnostus ja tietoisuus lisääntyvät. Taustalla vaikuttavat taloudelliset tekijät: raaka-aineiden saatavuus ja hintojen nousu. Maailmanlaajuisesti huolenaiheeksi on noussut luonnonvarojen riittävyys sekä rajalliset uusiutumattomat luonnonvarat.

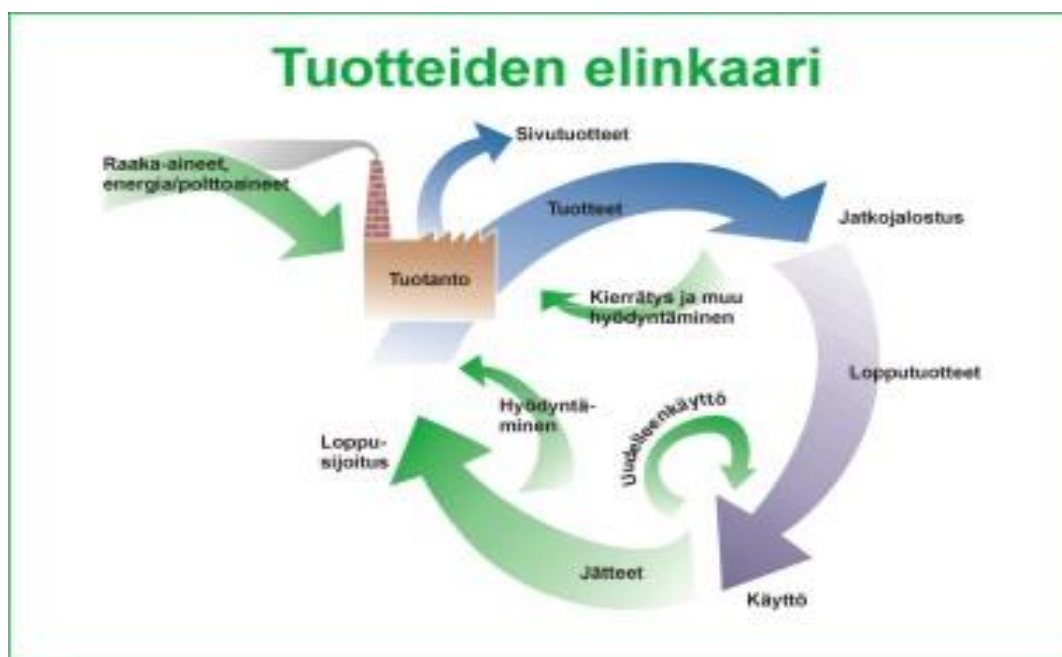
Kehittämiskohteita niukkaresurssisuuden ja ekotehokkuuden kannalta ovat:

- jätteiden hyötykäyttö ja kierrätys
- vedenkäytön ja luonnonvarojen vähentäminen
- materiaalien ja energian käytön tehostaminen
- prosessien tehostaminen ja tuotekehitys
- uudet korvaavat prosessit ja toimintatavat

- tuotteiden elinkaariajattelu. (Rissa 2001, 47)

Materiaalitehokkuus voidaan myös liittää osaksi niukkaresurssista ajattelua ja se onkin osa ekotehokkuutta. Materiaalitehokkuudella pyritään tuotteiden ja palveluiden tuottamiseen mahdollisimman pienillä materiaalikustannuksilla kilpailukyky ja ympäristöasiat huomioiden. Tavoitteena on vähentää haitallisten vaikutusten syntymistä tuotteen koko elinkaaren aikana.

Tuotteen elinkaariajattelun kannalta materiaalitehokkuus on oleellinen asia. Elinkaariajattelussa yritetään selvittää tuotteen koko elinkaaren aikaiset ympäristövaikutukset. Tuotteen elinkaari huomio siihen käytetyt raaka-aineet ja energian aina loppusijoitukseen asti. Elinkaariajattelun avulla pyritään ehkäisemään ympäristön kannalta haitallisia riskejä ja saada aikaan parannuksia. Kuvassa 5 on esitetty yleiskuva tuotteiden elinkaaresta. (Rissa 1999, 160–168)



Kuva 5. Tuotteiden elinkaari. (www.ymparisto.fi).

5.2 Energiatehokkuus

Energian kulutus Suomessa sekä kaikkialla maailmassa kasvaa jatkuvasti, vaikka kulutuksen toivotaankin vähenevän. Energiantuotantoa ja -kulutusta tehostetaan ja sääs-

tötoimia niiden eteen onkin tehty, mutta monella toimialalla olisi vielä paljon mahdollisuuksia parannuksiin. Prosessiteollisuudessa energian kulutusta voidaan pienentää huomioimalla ja kehittämällä seuraavia asioita:

- energian tarkoituksenmukainen käyttö
- prosessimuutokset
- tehostettu energian/lämmön talteenotto
- prosessi-integraatiot. (Hellgren ym. 1999, 131)

Teollisuuden alan yritykset ovat ottaneet tavoitteekseen tuotantolaitostensa energiatehokkuuden parantamiseen tähtäävät toimenpiteet. Laitetasolla energiatehokkuusparannuksia voidaan tehdä jo nyt, ilman kokonaista energiatehokkuushallintajärjestelmää. Energiatehokkuutta parantamalla voidaan pienentää kasvihuonekaasupäästöjä, parantaa laitteiden huoltovarmuutta sekä alentaa kustannuksia. (Heikkilä, Huumo Siitonen, Seitsalo & Hyytiä 2008, 20)

Seuraavissa kohteissa (järjestelmät, prosessit, toiminnot, laitteet) voidaan - parasta tekniikkaa hyväksi käyttäen - parantaa energiatehokkuutta:

- poltto
- höyryjärjestelmät
- lämmön talteenotto
- sähkön-, lämmön-, ja kylmänyhteistuotanto
- sähkönjakelu
- moottorikäyttöiset järjestelmät
- paineilmajärjestelmät
- pumppaus
- lämmitys, ilmanvaihto ja ilmastointijärjestelmät
- valaistus
- **kuivatus-**, sakeutus- ja erotusprosessit. (Heikkilä ym. 2008, 48–75)

Yleisesti prosessiteollisuudessa energian käyttöä voidaan pienentää energian tarkoituksenmukaisella käytöllä, prosessimuutoksilla, tehostetulla talteenotolla ja prosessi-integraatioilla. Pitkällä aikavälillä katsottuna on yrityksen oma etu tarkastella ja ke-

hittää energiaa kuluttavien ja päästöjä aiheuttavien prosessien toimintaa. (Hellgren ym. 1999, 131)

Kiinteiden aineiden erotukseen nesteistä on olemassa useita menetelmiä ja tekniikoita. Erotus voidaan toteuttaa mm. suorilla tai epäsuorilla kuivaimilla, termiseen säteilyyn perustuen, paineella, liike-energialla tai niiden erilaisilla yhdistelmillä. Usein erotusprosesseissa käytetään hyödyksi useampaa erotusmenetelmää, jolloin myös energiatehokkuus paranee. (Heikkilä ym. 2008, 73)

Laitostasolla energiatehokkuutta voidaan parantaa seuraavien menetelmien avulla:

- energiatehokkuuden hallinta
- tavoitteiden ja päämäärien suunnittelu
- energiatehokkuuden ja energiansäästömahdollisuuksien tunnistaminen
- järjestelmä-lähestyminen energianhallintaan
- energiatehokkuuden tavoitteiden ja mittareiden käyttöönotto
- benchmarking
- energiatehokas suunnittelu
- prosessi-integraation lisääminen
- energiatehokkuustyö laitoksella
- osaamisen ylläpito
- tehokas prosessien ohjaus
- kunnossapito
- seuranta ja mittaus. (Heikkilä ym. 2008, 41–48)

5.3 Energiatehokkuussopimukset

Energiatehokkuussopimukset vuosille 2008–2016 valmistuivat vuoden 2007 lopussa. Energiatehokkuussopimukset ovat jatkoa vapaaehtoisille Energiansäästösopimuksille (1997–2007), joita oli solmittu kahdeksalla eri alalla. Energiavaltaisen teollisuuden toimenpideohjelma on osa elinkeinoelämän energiatehokkuussopimusta, johon kuuluvat lisäksi energia-ala ja yksityinen palveluala. Em. toimenpideohjelmaan voivat liittyä teollisuusyritykset, joiden energiankulutus (lämpö, sähkö, polttoaineet) on yli 100GWh vuodessa. Tällä hetkellä energiavaltaisen toimenpideohjelmaan on liittynyt

40 yritystä (145 toimipaikkaa). Teollisuus on jaettu seitsemään toimenpideohjelmaan:

- energiavaltainen teollisuus
- elintarviketeollisuus
- kemianteollisuus
- muoviteollisuus
- teknologiateollisuus
- puutuoteteollisuus
- muu elinkeinoelämän teollisuus. (www.energiatehokkuussopimukset.fi)

Energiatehokkuussopimusten tavoitteena on saavuttaa energiapalveludirektiivin mukaisesti 9 % energiansäästö vuoteen 2016 mennessä. Tavoite on laskettu 2001–2005 keskimääräisestä energiankäytöstä (päästökaupan ulkopuolella olevasta keskimääräisestä energian loppukäytöstä). Sopimus kattaa myös päästökaupan piirissä olevat toiminta-alueet, jotka kuuluvat energiavaltaisen teollisuuden ja energiatuotannon alueisiin. Energiatehokkuussopimukset toteuttavat osaltaan myös EU:n ilmasto- ja energiapakettia. Muita tärkeitä sopimuksia ovat myös muut energia-, ilmasto- ja ympäristösopimukset (mm. Kansainvälinen ilmastopöytäkirja (UNFCCC)) ja Kioton pöytäkirja.

Energiatehokkuussopimuksien tarkoituksena on edistää systemaattisesti energiatehokkuutta sekä ohjata yrityksiä ja yhteisöjä kehityksessä kohti parempaa energian käyttöä. Sen kehittäminen on jatkuva prosessi, joka on osa koko organisaatiota. Tavoitteena on jatkuva kehittyminen ja uusien energiatehokkaiden palvelujen ja teknologioiden edistäminen. Yritykset ja yhteisöt määrittelevät itse energiansäästökohteensa, asettavat niille tavoitteet ja tekevät tarvittavia toimenpiteitä tehostamistavoitteiden saavuttamiseksi. Toimenpiteiden toteutumisesta ja siihen tähtäävästä toiminnasta raportoidaan vuosittain. Yritykset ja yhteisöt saavat valtiolta tukea energiakatselmusten ja -analyysien suorittamiseen sekä investointeihin ja uusiin teknologioihin, joilla tähdätään energiatehokkaisiin ratkaisuihin. Energiatehokkuuden parantaminen täytyy mieltää jatkuvaksi prosessiksi.

Yrityksen energiatehokkuuden jatkuvan parantamisen edellytykset ovat:

- tuntea oma energiankäyttönsä
- energiankäytön seuranta
- määrittää ja toteuttaa kannattavat energiansäästötoimet
- energiatehokkuuden huomioiminen kaikessa toiminnassa, investoinneissa ja hankinnoissa
- tuntea erilaiset energianhankintatavat. (www.energiatehokkuussopimukset.fi)

Sopimustoiminnan avulla pyritään edistämään energiatehokkuuteen liittyvien innovaatioiden näkyvyyttä verkottamalla. Innovaatiot voivat olla laitteita, järjestelmiä ja palveluita. Verkottamisesta hyötyvät niitä tarvitsevat yritykset sekä energiatehokkuuden parantamiseen liittyvien teknologioiden tarjoajat. Tavoitteena on solmia kumppanuussuhteita sopimusyritysten välille. Tutkimus- ja kehittämiskumppanuuksien myötä uudet innovaatiot saavat jalansijaa, josta molemmat osapuolet hyötyvät. Sopimuksen piiriin kuuluvat yritykset voivat vuosittaisessa raportoinnissaan esittää kehittämisideoita, joita palvelujen tarjoajat voivat kehittämissään käyttää apuna. Sopimusyritykset saavat kilpailuetua ollessaan uuden teknologian ensikäyttäjiä. Teknologian tuottajat taas saavat tarvitsemaansa tutkimus- ja koetoimintaympäristöä, jotka saattavat poikia tilauksia.

Sopimukseen liittyneet yritykset ja yhteisöt raportoivat joka vuosi Motivan seurantajärjestelmään. Jokaisella sopimusosalalla on omat seurantajärjestelmänsä. Vuosittaisessa raportissaan yritykset/yhteisöt kertovat energiankäytöstään sekä sen tehostamiseksi tehdyistä toimenpiteistä. Tiedot ovat luottamuksellisia. Raportteja käytetään hyväksi sopimustoiminnan seurannassa sekä seurataan, miten EU:n energiapalveludirektiivin asettamat tavoitteet toteutuvat.

Energiasäästöjen laskentaan on laadittu laskentaohjeet (Työ- ja elinkeinoministeriö, Motiva ja Insinööritoimisto Granlund), joilla raporttiin lasketaan energiansäästötoimenpiteiden vaikutukset. Ohjeesta selviää myös, mitkä toimenpiteet hyväksytään osaksi säästötoimia, miten vaikutuksia arvioidaan ja mitä muita asioita laskennassa tulee ottaa huomioon.

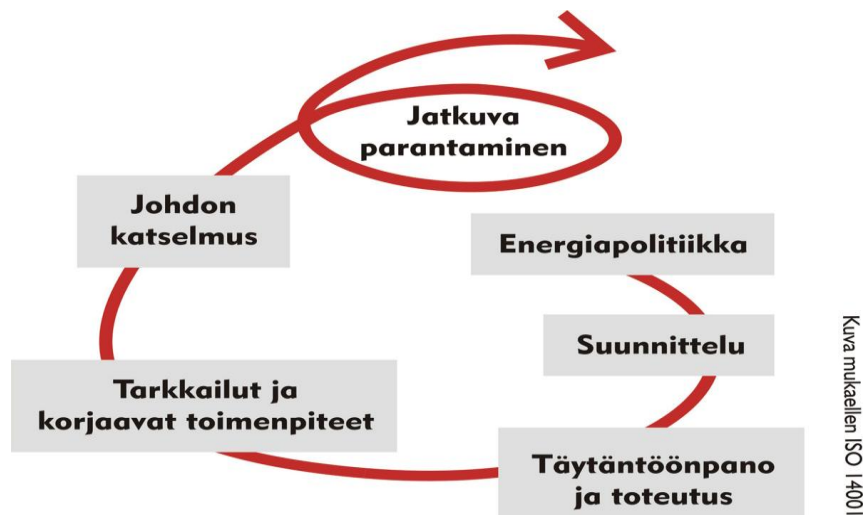
Valtio tukee yrityksiä, yhteisöjä ja kuntia energiatehokkuuteen tähtäävissä investointi- ja selvityshankkeissa. Myönnettävän energiatuen maksimimäärästä vastaa Työ- ja elinkeinoministeriö. Investointitukea voidaan hyödyntää uusiutuvan energian käytössä, energiansäästöissä, energiantuotannon- tai käytön tehostamiseen tai niistä aiheutuvien ympäristöhaittojen vähentämiseen. Tukea voi saada myös Motivan energiakatselmusten tai -analyysien toteuttamiseen. Enimmäismäärä on 40 % työkustannuksista. Energiatehokkuuden parantamiseksi yritys voi palkata myös ulkopuolisen energia-asiantuntijan ESCO-palveluja (Energy Service Company) tarjoavalta yritykseltä. Energia-asiantuntija huolehtii energiansäästöön tähtäävistä toimenpiteistä ja investoinneista. ESCO-palvelusta muodostuneet kustannukset maksetaan suoraan palvelun hankkineen yrityksen alentuneista energiakustannuksista. ESCO-palvelun käytöllä on takuu, jolla taataan energiansäästön syntyminen.

(www.energiatehokkuussopimukset.fi)

5.4 Energiatehokkuusjärjestelmä

Oleellinen osa yritysten jatkuvan parantamisen periaatetta on ETJ eli energiatehokkuusjärjestelmä. Energiatehokkuusjärjestelmän avulla yritys luo pohjan energiatehokkuutensa parantamiseen. Yleensä ETJ liitetään osaksi ympäristöjärjestelmää (ISO 14001-standardi) tai muuhun käytössä olevaan johtamisjärjestelmään. Energiatehokkuusjärjestelmä on pakollinen yritykselle, jotka ovat liittyneet Elinkeinoelämän energiatehokkuussopimukseen ja sitä myötä lupautuneet toteuttamaan energiavaltaisen teollisuuden toimenpideohjelmaa. Mukaan luetaan myös energian tuotannon toimenpideohjelma. (www.energiatehokkuussopimukset.fi)

Kuvassa 6 on esitetty energiatehokkuusjärjestelmän soveltamisen pääkohdat.



Kuva 6. Jatkuvan parantamisen periaatteen soveltaminen energiatehokkuusjärjestelmään. (Motiva 2007, 5)

Yrityksen energiapolitiikalla tarkoitetaan sen tahtotilaa parantaa energiatehokkuuttaan. Suunnittelemalla ja kartoittamalla omat energiansäästökohteensa yritys voi asettaa tavoitteita ja toimenpiteitä, joilla energiapolitiikan tavoitteet voidaan saavuttaa. Johdon katselmuksen tarkoituksena on energiatehokkuusjärjestelmän toimivuutta ja sen asettamien tavoitteiden toteutumista. Samalla päätetään uusista tavoitteista energiatehokkuuden parantamiseksi. Järjestelmän avulla yritys saa taloudellista hyötyä, parantaa kilpailukykyään sekä lisää organisaationsa toimintavarmuutta. (www.energiatehokkuussopimukset.fi; Heikkilä ym. 2008, 34; Motiva 2007)

5.5 Energiatehokkuus NNH:lla ja Kemikaalitehtaalla

Norilsk Nickel Harjavalta Oy (NNH) on muiden teollisuusyritysten tapaan liittynyt (kesäkuu 2008) Elinkeinoelämän keskusliiton ja sen kahdeksan muun toimialajärjestön energiatehokkuussopimukseen kaudelle 2008–2016. NNH kuuluu 38 muun yrityksen tavoin energiavaltaisen teollisuuden toimenpideohjelmaan.

Energiatehokkuusjärjestelmä on integroitu osaksi ISO 14001-standardin mukaiseen ympäristöjärjestelmään. NNH:lla energiatehokkuussopimukseen liittyvistä asioista vastaa ympäristöpäällikkö. Eri osastoilla kulutusasioista vastaavat käyttöpäälliköt.

Norilsk Nickel Harjavalta Oy on asettanut vuotuisiksi energiansäästö tavoitteeksi 3,5 GWh. Nykyinen kulutus vuositasolla on noin 550 GWh/a, johon lasketaan sähkö ja lämpö. Energian tehostamistavoitteista raportoidaan johtoryhmälle. NNH:ssa suoritettiin 2001 ja 2007 energiakatselmukset kaikilla osastoilla Kymtec Oy:n toimesta. Seuraavat katselmukset olisi tarkoitus suorittaa vuoden 2013 aikana.

2013 aloitettiin koko yritystä koskeva säästökampanja, jonka tarkoituksena on saada aikaiseksi kymmenen prosentin säästöt käyttöhyödykkeiden ja energiankulutuksen osalta. Jokaiselle osastolle luodaan omat säästökohteet ja tavoitteet.

Kemikaalitehtaalla käyttöhyödykkeiden säästöt tulevat kohdistumaan seuraaviin osiin:

- höyry
- propaani
- sähkö
- prosessilämpö
- sooda
- lipeä.

Kaikkia edellä mainittujen käyttöhyödykkeiden kulutusta seurataan tuotetonneja kohden. Samalla on tarkoitus tutkia prosessinajoa, josta löytyy ajoprosessien kautta säästökohteita. Tärkeää on tuotelinjojen ajon optimointi ja sitä kautta käyttöhyödykkeiden kulutuksen pieneneminen sekä niissä muodostuvien jätelämpöjen hyödyntäminen. (Alisaari 2012; Hämäläinen 2012)

6 TUTKIMUSMENETELMÄT

6.1 Konstruktiivinen tutkimus

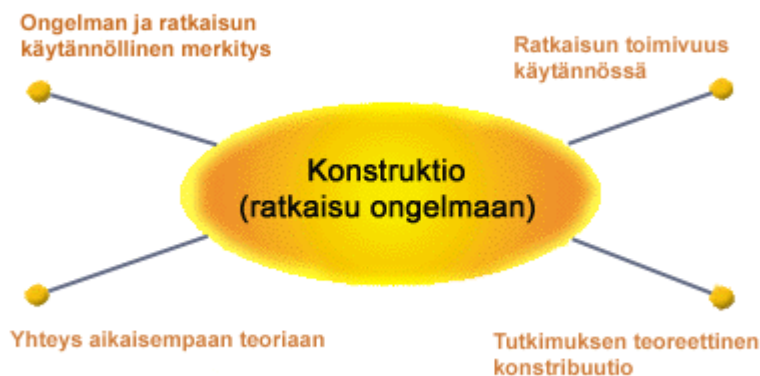
Konstruktiiviselle tutkimukselle tyypillistä on uuden todellisuuden/käytännön rakentaminen hankitun tutkimustiedon pohjalta. Oleellista on nittoa yhteen käytännön työelämästä noussut ongelma ja sen ratkaisu teoreettiseen tietopohjaan nojautuen. Aikaansaatu toimiva ratkaisu olisi hyvä olla myös siirrettävissä kohdeorganisaation ulkopuolelle. Konstruktiivisessa tutkimuksessa suunnitellaan, mallinnetaan, toteutetaan ja testataan.

Konstruktiivinen tutkimus soveltuu lähestymistavaksi, jos tarkoituksena on saada aikaiseksi uusi tuotos (tuote, järjestelmä, malli, suunnitelma, diagrammi jne.) Tuotos on käytännössä/organisaatiossa hyödynnettävä rakenne, joka on paranneltu versio tai kokonaan uusi ratkaisu. Tässä opinnäytetyössä tämä tarkoittaa paremman tehokkaan ajoprosessin luomista spraykuivaimelle. Vanhaa, jo olemassa olevaa laitetta, pyritään ajamaan tehokkaammin, jolloin käyttöhyödykkeenä käytettävää propaania kuluu vähemmän suhteessa tuotetun kuivan nikkelihydroksikarbonaatin määrään.

Konstruktiivisen tutkimuksen prosessi etenee seuraavasti:

1. Mielenkiintoisen ongelman etsiminen.
2. Tiedon etsiminen (teoreettinen/käytännöllinen) tutkittavasta kohteesta.
3. Ratkaisun laatiminen.
4. Ratkaisun toimivuuden testaus ja konstruktion oikeellisuuden osoittaminen.
5. Ratkaisussa käytettyjen teoriakäytäntöjen todentaminen ja ratkaisun uutuusarvon osoittaminen.
6. Ratkaisun mahdollinen soveltaminen muissa kohteissa. (Ojasalo, Moilanen & Ritalahti 2009, 65–68)

Kuvassa 7 on esitetty konstruktiivisen tutkimusotteen keskeisimmät elementit.



Kuva 7. Konstruktivisen tutkimusotteen keskeiset elementit. (www.metodix.com)

6.2 Tapaustutkimus

Opinnäytetyöstä löytyy myös tapaustutkimukselle (case study) ominaisia piirteitä. Tapaustutkimuksessa aiheet ovat yleensä ainutkertaisia ja niitä tutkitaan sen omassa käyttöympäristössään. Tutkimuksen kohde voi olla yritys kokonaisuudessaan tai sen osa, kuten osasto, tuote, palvelu, toiminta tai prosessi. Tapaustutkimuksessa tutkittavana olevia kohteita on vähän, yleensä vain yksi. Tutkimusasetelma pohjautuu aina teoriapohjaan ja historiaan, luoden perustan analyyseille ja johtopäätöksille. Saatujen tulosten avulla pyritään ymmärtämään ja tulkitsemaan yksittäisiä tapauksia, jolloin saadaan tietoa prosessista ja sen dynamiikasta. Tapaustutkimus voi luoda jatkotutkimusideoita ja hypoteeseja.

Tapaustutkimus koostuu seuraavista vaiheista:

1. Alustavan kehittämistehtävän tai -ongelman valinta.
↓
2. Tutkimuskohteeseen perehtyminen käytännössä ja teoriassa. Kehittämistehtävän tarkennus.
↓
3. Empiirisen aineiston keruu ja analysointi käyttäen eri menetelmiä.
↕
4. Lopullisen kehittämissuosituksen tai -mallin luonti.

Ominaista tapaustutkimukselle on käyttää useita eri menetelmiä hyödyksi, jotta saadaan tutkittavana olevasta kohteesta kokonaisvaltainen kuva. Usein käytetään sekä laadullisia että määrällisiä menetelmiä. Myös haastattelut, aivoriihityöskentely, benchmarking ja ennakointi ovat hyviä aineistokeruumenetelmiä tapaustutkimuksessa. (Ojasalo ym. 2009, 52–55)

6.3 Aineistokeruumenetelmät

Kehittämistyön kannalta on hyvä - jopa suotavaa - käyttää erilaisia aineistokeruumenetelmiä. Työssä käytettyä aineistoa/historiadataa kerättiin monesta eri järjestelmästä ja tietolähteestä. Spraykuivaimen manuaaliin perehtymällä löydettiin sen käytölle ajon kannalta soveliaat raja-arvot eli ajoparametrit.

Pääpiirteissään menetelmät voidaan jakaa kahteen osaan:

- kvantitatiivinen menetelmä (määrällinen)
- kvalitatiivinen menetelmä (laadullinen). (Ojasalo ym. 2009, 93–95)

Dataan perehtyminen

Prosessin historiadata eli parametrien ajoarvotiedot kerättiin AspenTech Process Explorerin avulla. Dataa tarkasteltiin aikavälillä 1.1.2008–31.12.2010.

Aspenista haettiin seuraavat kuivan nikkelihiydroksikarbonaatin parametrit seurannasta:

- | | |
|--|----------------------|
| • spraykuivaimen syöttöliuoksen tiheys | D-88004:me |
| • pulpperin pinta | L-88028:av |
| • suodattimien paine-ero | P-88015.ero |
| • spraykuivaimen syöttöpaine | P-88015:me |
| • syöttöliuoksen syöttö spraykuivaimen | F-88039:me; pos; spa |
| • propaani syöttö | F-88037:av |
| • kuivausilman lämpötila | T-88036:me |
| • spraykuivaimen jälkeinen lämpötila | T-88037:me; pos; spa |
| • hajotinpyörä nopeus | H-88078:av |

- spraykuivaimen jälkeinen paine P-88024:av
- pussisuodattimen jälkeinen paine (alipaine) P-88016:me
- sulkusyöttimen nopeus H-88184:av
- ilmamäärä F-88038:av

- tuotanto spraykuivain 3151
- propaanin syöttö/tuotanto spraykuivain 3151 (eli prop./tuot).

Dataa kullekin parametrille otettiin yksi mittaus päivässä keskiarvoilla. Prosessista kerätty historiadata suodatettiin, jotta saatiin poistettua kaikki normaalista poikkeavat arvot. Tuotanto spraykuivain 3151 ja propaanin syöttö/tuotanto spraykuivain-parametrit laskettiin prosessista kerätystä historiadatasta (laskennalliset parametrit). Tuotanto spraykuivain 3151-parametrissa jouduttiin huomioimaan muun muassa siilojen painonmuutokset pakkauksien takia sekä pastan valmistukseen ajettu tuote. Siilojen painotietoihin vaikuttaa granuloidun nikkelihydroksikarbonaatin valmistus. Tämän linjan ollessa ajossa samanaikaisesti kuivan nikkelihydroksikarbonaatin tuotantolinjan kanssa, sen pussisuodattimen alite ajetaan kuivan nikkelihydroksikarbonaatin tuotantolinjanlinjan puolelle. Näin ollen se vaikutti siilon painoon ja se otettiin huomioon laskuissa. Pakkaustiedot kerättiin pakkaamon päiväkirjoista. Propaanin syöttö/tuotanto spraykuivain-parametri kertoo propaanin kulutuksen suhteessa tuotettuun tuotemäärään.

Simca-P+

Simca-P+ on Umetricsin tietokoneohjelma, jonka avulla tehdään monimuuttuja-analysejä. Ohjelman avulla voidaan kerätystä - monia muuttujia sisältävästä datasta - erottaa oleellinen, ilman taustamelusta aiheutuvaa häiriötä. Saadut tulokset voidaan esittää yksinkertaisesti graafisessa muodossa. (Eriksson, Johansson, Kettaneh- Wold, Trygg, Wikström & Wold 2006, 7–9)

Kerätylle historiadatalle tehtiin monimuuttuja-analyysi. Monimuuttuja-analyysin tarkoituksena oli selvittää, mitkä ajoparametrit otetaan muuttujiksi koeajoihin.

Modde

Modde on Umetricsin kehittämä tietokoneohjelma tilastollista koesuunnittelua (Design of experiments, DOE) varten. Prosessiteollisuudessa sitä voidaan hyödyntää seulonnassa, optimoinnissa ja erilaisissa toimivuuden testaussovelluksissa. Tilastollisella koesuunnittelulla luodaan edustavia koesuunnitelmia, joita teollisuudessa voidaan käyttää tutkimuksessa, kehityksessä ja tuotannossa.

Tilastollista koesuunnittelua voidaan hyödyntää prosessiteollisuudessa seuraavasti:

- tuotantoprosessin optimoinnissa
- laitteiden optimoinnissa
- seulonnassa ja tärkeiden tekijöiden tunnistamisessa
- toimintatapojen toimivuuden testauksessa
- tuotteiden toimivuuden testauksessa
- formulaation testauksessa
- tuotantokustannusten ja päästöjen minimoinnissa.

Seulontaa käytetään löytämään kaikkein tärkeimmät tekijät ja määrittämään, missä rajoissa tekijöitä tulee tutkia. Optimoinnin avulla pyritään määrittämään, millä tärkeiden tekijöiden yhdistelmillä saavutetaan optimaaliset toimintaolosuhteet. Toimivuuden testauksen avulla taas saadaan selville, kuinka herkkä tuote tai toimintatapa on pienille tekijöiden muutoksille. (Eriksson ym. 2006, 313–333)

7 PROSESSIDATAN ANALYSOINTI

7.1 Historiadatan monimuuttuja-analyysi

Kerätylle historiadatalle tehtiin monimuuttuja-analyysi. Monimuuttuja-analyysin tarkoituksena oli selvittää, mitkä ajoparametrit otetaan muuttujiksi koeajoihin.

Monimuuttuja-analyyseissä on esitelty seuraavat kuvaajat:

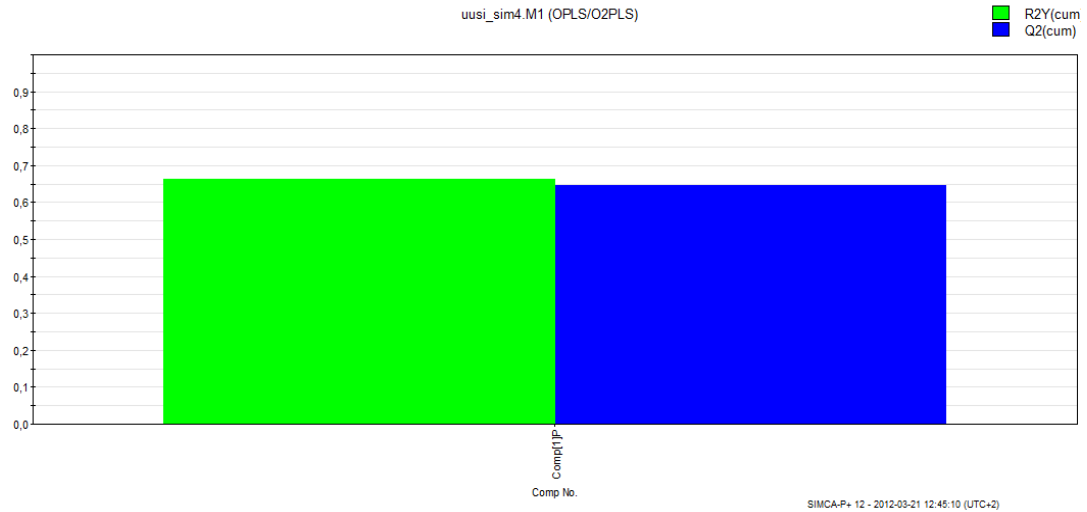
- Model Overview: Ohjelman luoman mallin yleiskuva. Kuvasta käy ilmi, kuinka suurta osaa datasta ohjelma käyttää mallin luomiseen (vihreä palkki) ja kuinka hyvin luotu malli kykenee ennustamaan tulevaa (sininen palkki).
- Loading Plot: Eri parametrien korrelaatiot valittuun vasteeseen, kun kyseessä oleva analysoitava data ei ole tilastollisesti suunnitelluista koeajoista.
- Coefficient Plot: Eri parametrien korrelaatiot valittuun vasteeseen, kun kyseessä oleva analysoitava data on tilastollisesti suunnitelluista koeajoista. (Karjala 2013)

Historiadatasta tehdyn monimuuttuja-analyysin perusteella esiin nousi muutamia tärkeitä parametreja, joilla voisi olla vaikutusta propaanin kulutukseen sekä tuotantoon tutkimuksen kohteena olevassa kuivan nikkelihydroksikarbonaatin spraykuivaimessa. Y-vasteiksi valittiin seuraavat kolme parametria:

1. spraykuivaimen syöttöliuoksen tiheys D-88004:me
2. spraykuivaimen syöttöpaine P-88015:me
3. pussisuodattimen jälkeinen paine (alipaine) P-88016:me.

Ohjelma käytti kaikissa malleissa noin 60–75 % syötetystä datasta mallin luomiseen. Mallien kyky ennustaa tulevaa oli lähes samalla tasolla. Näitä arvoja voidaan pitää melko hyvinä.

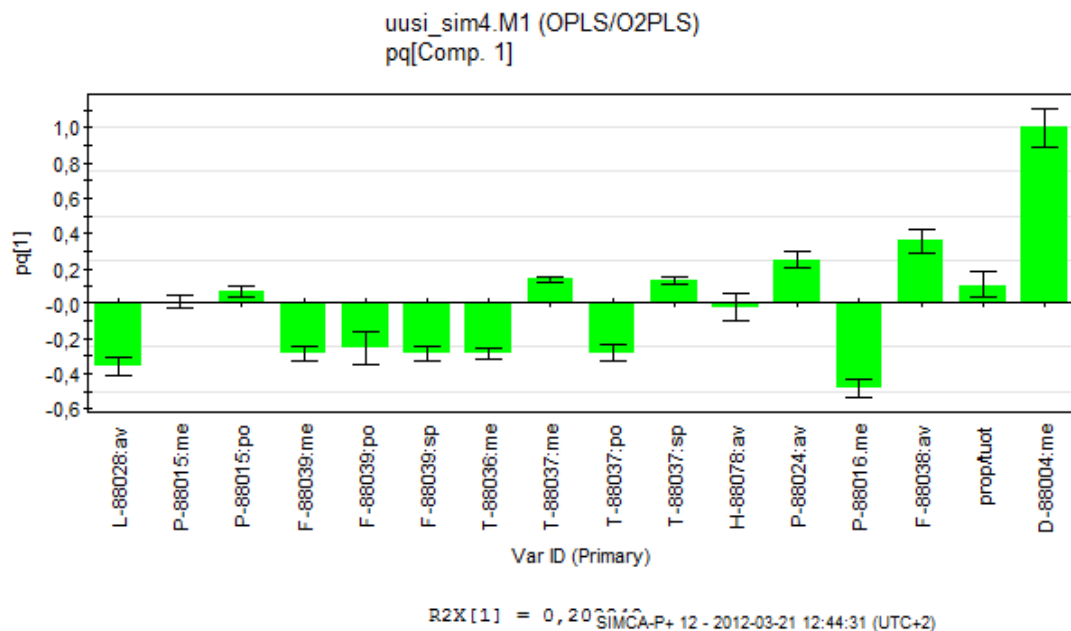
Kuvassa 8 on esitetty Simcan antama yleiskuva ohjelman käyttämän datan osuudesta ja luodun mallin ennustettavuudesta tiheyden ollessa Y-vasteena.



Kuva 8. Spraykuivaimen syöttöliuoksen tiheyden Model Overview.

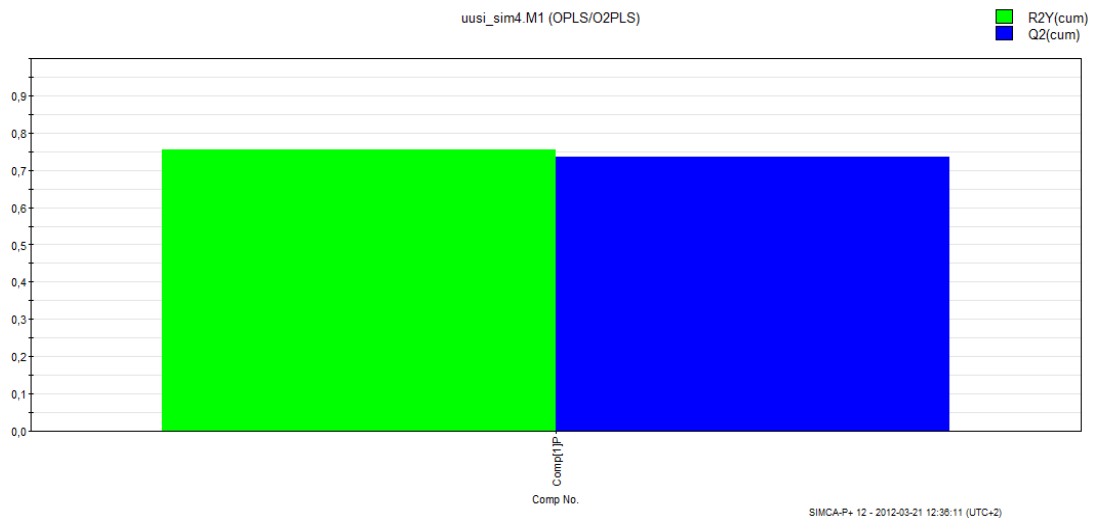
Kuvassa 9 on esitetty eri parametrien korrelaatiot tiheydelle. Alaspäin osoittava palkki indikoi negatiivisesta korrelaatiosta ja ylöspäin osoittava palkki positiivisesta korrelaatiosta.

Kuvassa 9 seurattiin lähinnä propaanin syöttö/tuotanto spraykuivain-parametrin korrelaatiota spraykuivaimen syöttöliuoksen tiheyden kanssa. Kuvasta voidaan havaita, että kyseisellä parametrilla ja vasteella on hyvin heikko positiivinen korrelaatio. Käytännössä korrelaatio on niin pientä, ettei siitä voida vetää johtopäätöksiä.



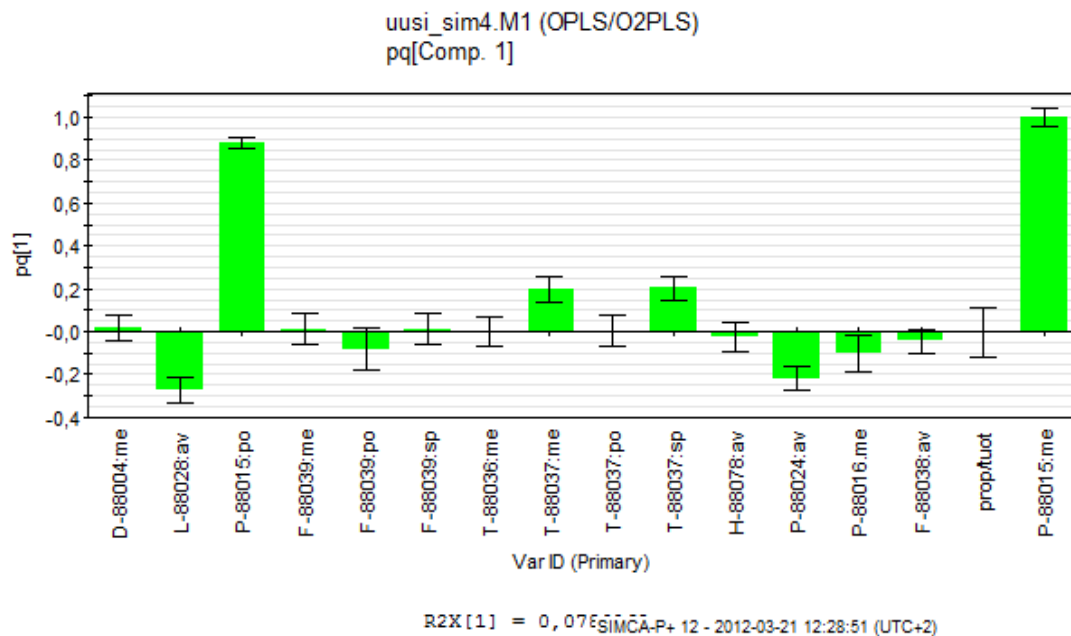
Kuva 9. Spraykuivaimen syöttöliuoksen tiheyden Loading Column Plot.

Kuvassa 10 on esitetty yleiskuva ohjelman käyttämän datan osuudesta ja luodun mallin ennustettavuudesta spraykuivaimen syöttöpaineen ollessa Y-vasteena.



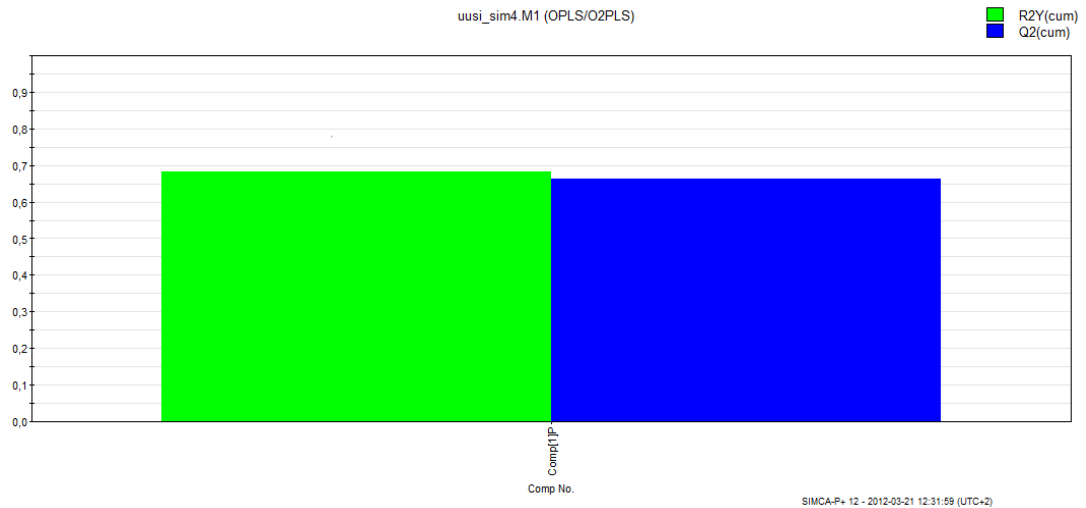
Kuva 10. Spraykuivaimen syöttöpaineen Model Overview.

Kuvassa 11 on esitetty eri parametrien korrelaatiot spraykuivaimen syöttöpaineelle. Kuvasta voidaan havaita, että propanin syöttö/tuotanto spraykuivain-parametrilla ja vasteella ei ole mitään korrelaatiota.



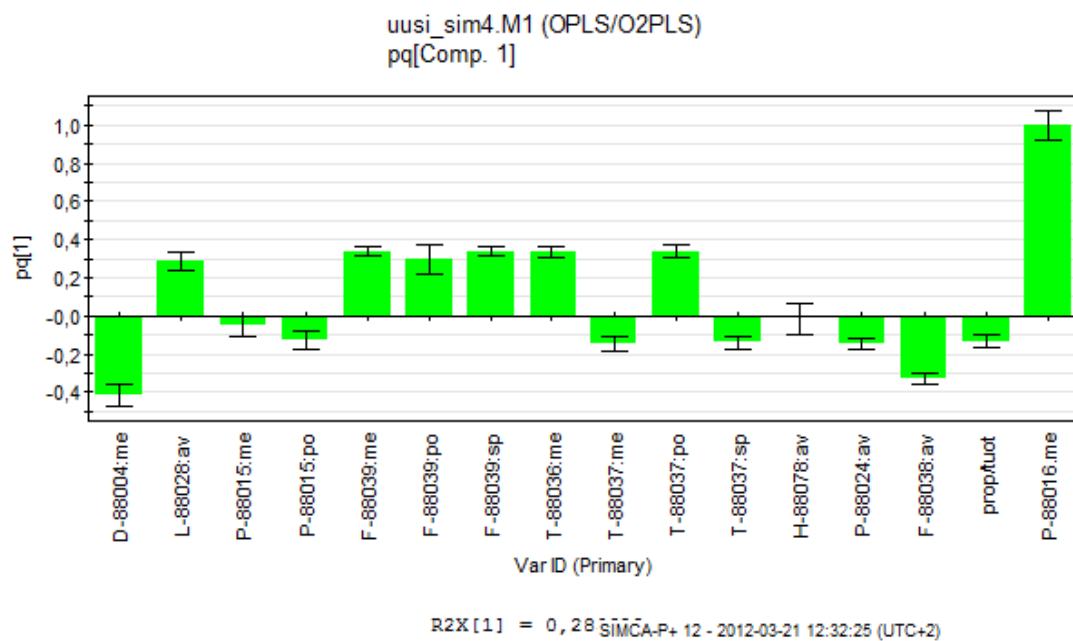
Kuva 11. Spraykuivaimen syöttöpaineen Loading Column Plot.

Kuvassa 12 on esitetty yleiskuva ohjelman käyttämän datan osuudesta ja luodun mallin ennustettavuudesta pussisuodattimen jälkeisen paineen (alipaine) ollessa Y-vasteena.



Kuva 12. Pussisuodattimen jälkeisen paineen (alipaine) Model Overview.

Kuvassa 13 on esitetty eri parametrien korrelaatiot pussisuodattimen jälkeiseen paineeseen (alipaine). Kuvasta voidaan havaita, että kyseinen vaste korreloi negatiivisesti propanin syöttö/tuotanto spraykuivain-parametrin kanssa.



Kuva 13. Pussisuodattimen jälkeisen paineen (alipaine) Loading Column Plot.

7.2 Koesuunnitelma

Prosessista kerätyn historiadatan perusteella tehdyn monimuuttuja- analyysin ansios- ta koeajojen muuttujiksi valittiin spraykuivaimen syöttöliuoksen tiheys (D-88004:me), pussisuodattimen 3151 jälkeinen paine (alipaine) (P-88016:me) sekä spraykuivaimen syöttöpaine (P-88015:me). Edellä mainitut parametrit ovat muutet- tavissa ja ohjattavissa helposti prosessinohjausjärjestelmästä. Parametrien vaihteluvä- lit valittiin historiadatan perusteella. Luvut skaalattiin. Tiheydelle ja alipaineelle pää- tettiin antaa kolme tasoa (100, 150 ja 200; -100, -200 ja -300) ja syöttöpaineelle kak- si tasoa (100 ja 500). Parametrien vaihteluvälit valittiin historiadatan perusteella seu- raaviksi (luvut skaalattuja):

Tiheyden vaihteluväli: 100 – 200 (kolme tasoa)
 Alipaineen vaihteluväli: -100 – -300 (kolme tasoa)
 Syöttöpaine vaihteluväli: 100 – 500 (kaksi tasoa).

Valituilla arvoilla tehtiin tilastollinen koesuunnitelma Modde-ohjelmaa käyttämällä. Modden ehdottamista 17:s koeajoista mukaan valittiin kymmenen ehdotusta. Taulu- kosta 1 löytyy koeajot muuttujaparametreineen. Järjestys koeajoille muokattiin ti- heyden mukaan.

Taulukko1. Koeajot. (Luvut skaalattuja)

Koeajo nro	Tiheys	Alipaine	Syöttöpaine
1	100	-300	500
2	100	-300	300
3	100	-100	300
4	100	-100	500
5	150	-200	500
6	150	-200	500
7	200	-300	500
8	200	-300	100
9	200	-100	100
10	200	-100	500

Hylättyjen koeajojen joukossa oli paljon toistuvia ehdotuksia. Myös aika, joka koeajoihin varattiin, oli rajallinen, vaikuttaen suoritettavien koeajojen määrään.

Koeajot suoritettiin huhti–toukokuun 2012 aikana. Koeajoja tehtiin yhteensä kymmenen kappaletta. Pää tavoitteena oli pitää tuotteen nikkeli-pitoisuus asiakasspesifikaatioiden rajoissa, koska koeajojen aikana tuotettu kuiva nikkeli-hydroksikarbonaatti pakattiin tuotteeksi.

Kunkin koeajon ajoparametrien asettamisen jälkeen prosessinohjausjärjestelmään (Metso DNA), annettiin prosessin tasaantua vuorokauden ajan. Seuraavana päivänä kerättiin normaalinäytteiden lisäksi ylimääräinen keruunäyte kuivatusta tuotteesta, jota kerättiin vuorokauden ajan neljän tunnin välein. Prosessinohjaukseen huolehtivat myös spraykuivaimen syöttöliuoksen tiheydestä ottamalla tuoteluoksesta käsinäytteitä ja analysoimalla ne. Näin varmistettiin koeajojen onnistuminen, koska tiheydessä saattoi esiintyä vaihtelua. Tiheys määritettiin ottamalla litra tuotennäytettä ja punnitsemalla näyte. Koeajot 5 ja 6 jouduttiin suorittamaan vielä uudelleen, koska tiheydet eivät vastanneet haluttuja arvoja. Nämä koeajot merkittiin tuloksissa 5u ja 6u.

7.3 Koeajojen monimuuttuja-analyysi

Parametridataa kerättiin AspenTech Process Explorerin avulla koeajopäiviltä vuorokauden ajalta keskiarvona, jolloin saatiin yksi arvo kullekin parametrille. Datankeräyksen jälkeen koeajoille tehtiin monimuuttuja-analyysi Simca P+-ohjelmalla.

Y-parametreiksi valittiin seuraavat parametrit:

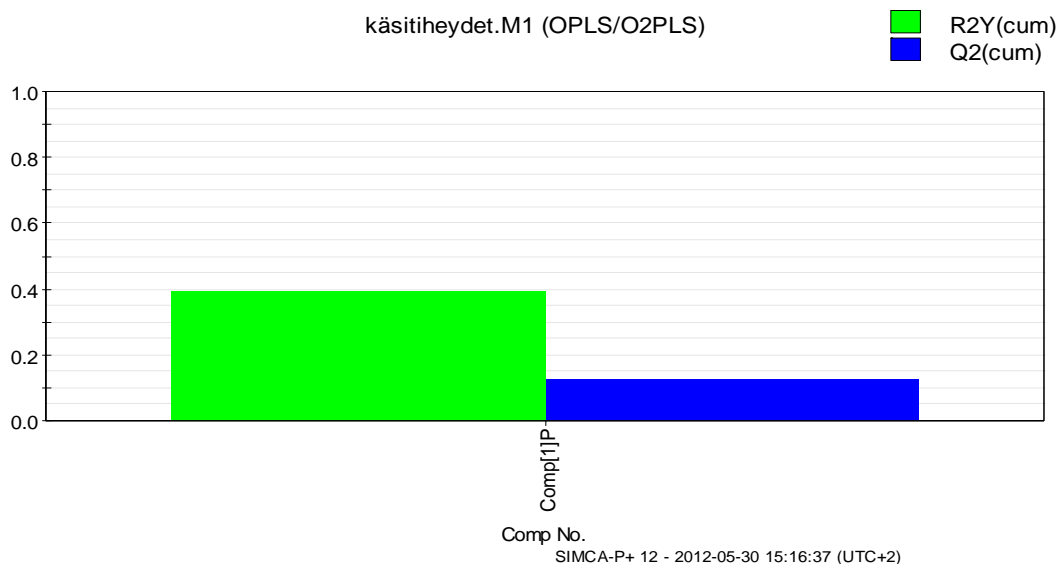
- propaanin syöttö/tuotanto spraykuivain (propaanin kulutus/laskettu tuotanto), kg/kg
- spraykuivaimen syöttöliuoksen tiheys D-88004:me, kg/dm³
- spraykuivaimen 3151 syöttöpaine P-88015:me, kPa
- pussisuodatin 3151 jälkeinen paine (alipaine) P-88016:me, Pa.

Monimuuttuja-analyyseissä käytettiin siis tiheyksistä mitattujen arvojen keskiarvoja. Taulukossa 2 on esitetty tiheyden käsinäytteiden arvot ja koeajojen tavoitearvot.

Taulukko 2. Tiheyksien käsinäytteiden keskiarvot ja tavoitearvot. (Luvut skaalattuina)

Koeajo nro	Käsitiheys keskiarvot	Tiheys tavoite
1	80	100
2	100	100
3	100	100
4	80	100
5	120	150
6	120	150
7	180	200
8	180	200
9	220	200
10	200	200
6u	140	150
5u	140	150

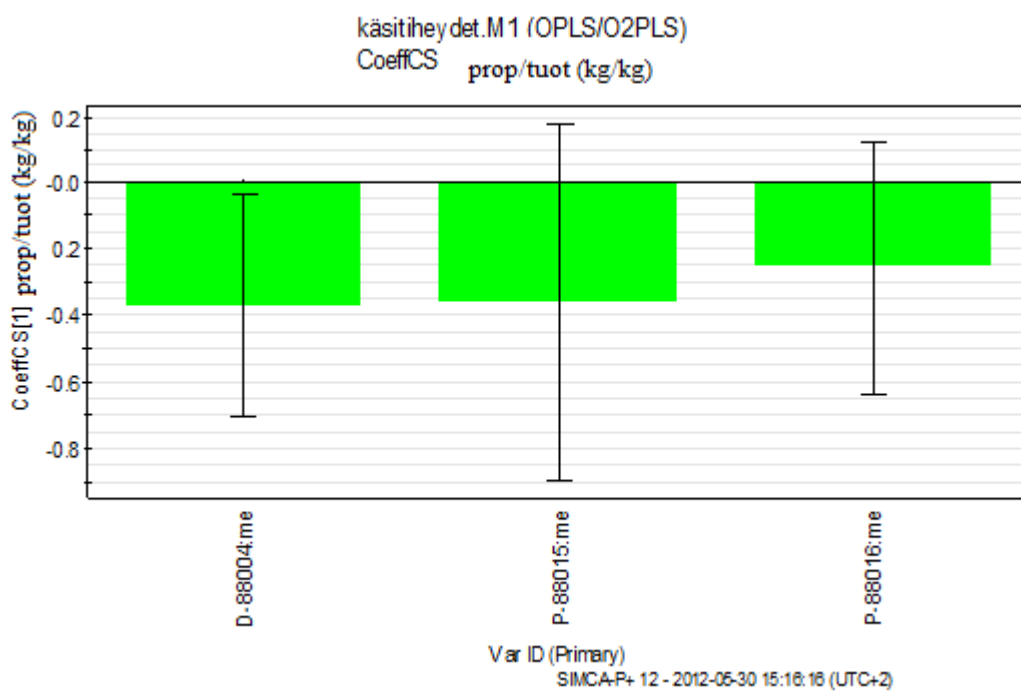
Kuvassa 14 on esitetty yleiskuva ohjelman käyttämän datan osuudesta ja ennustettavuudesta, kun Y-vasteena on propaanin syöttö/tuotanto spraykuivain. Kuvan 14 perusteella malli pystyy siis selittämään 40 % datan vaihteluista ja sen ennustettavuus on noin 10 %.



Kuva 14. Propaanin syöttö/tuotanto spraykuivain Model Overview.

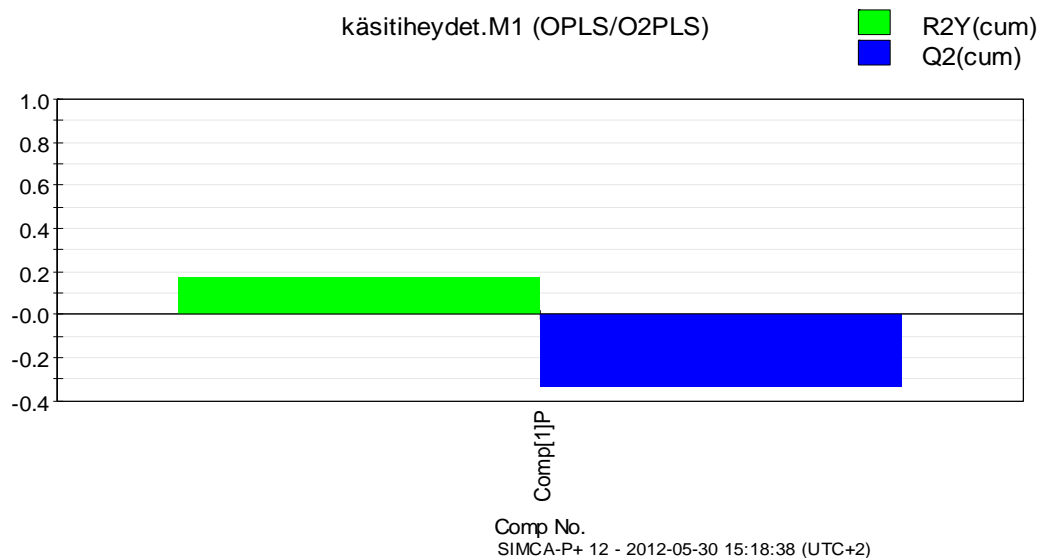
Kuvassa 15 on esitetty eri parametrien korrelaatiot propaanin syöttö/tuotanto spraykuivain-vasteen kanssa. Kuvasta voidaan havaita seuraavaa:

- parametreilla suuret virheet (mustat janat)
- propaania säästetään, kun tiheys nousee 100 → 200 ja pussisuodattimen jälkeinen paine nousee (eli alipaine pienenee) -300 → -100
- mallin mukaan myös spraykuivaimen syöttöpaineen noustessa propaanin kulutus laskee, mutta tämän parametrin virhe on hyvin suuri.



Kuva 15. Propaanin syöttö/tuotanto spraykuivain Coefficient Plot.

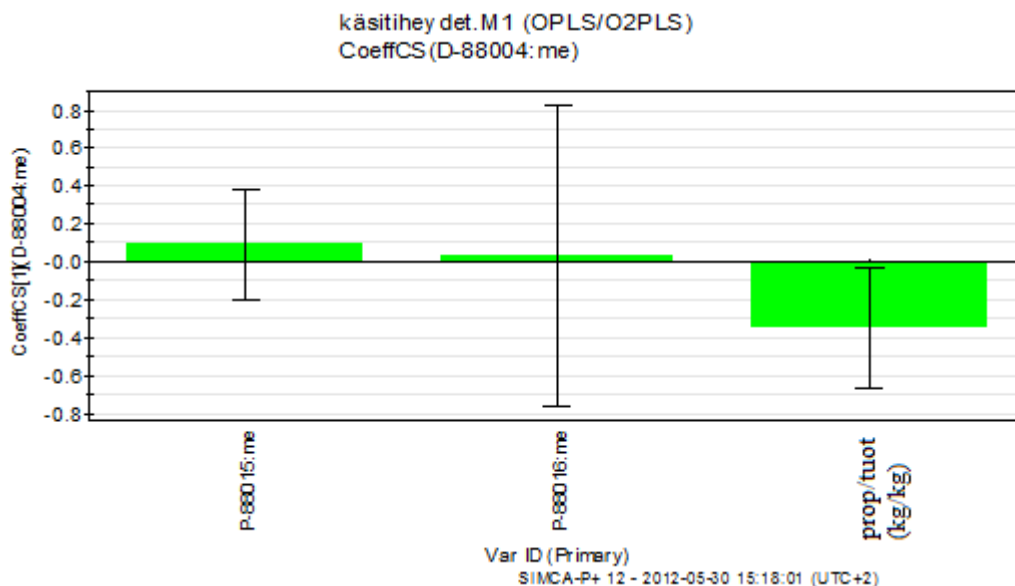
Kuvassa 16 on esitetty yleiskuva ohjelman käyttämän datan osuudesta ja ennustettavuudesta, kun Y-vasteena on spraykuivaimen syöttöliuoksen tiheys. Kuvan perusteella malli pystyy siis selittämään noin 20 % datan vaihteluista ja sen ennustettavuus on negatiivinen.



Kuva 16. Spraykuivaimen syöttöliuoksen tiheyden Model Overview.

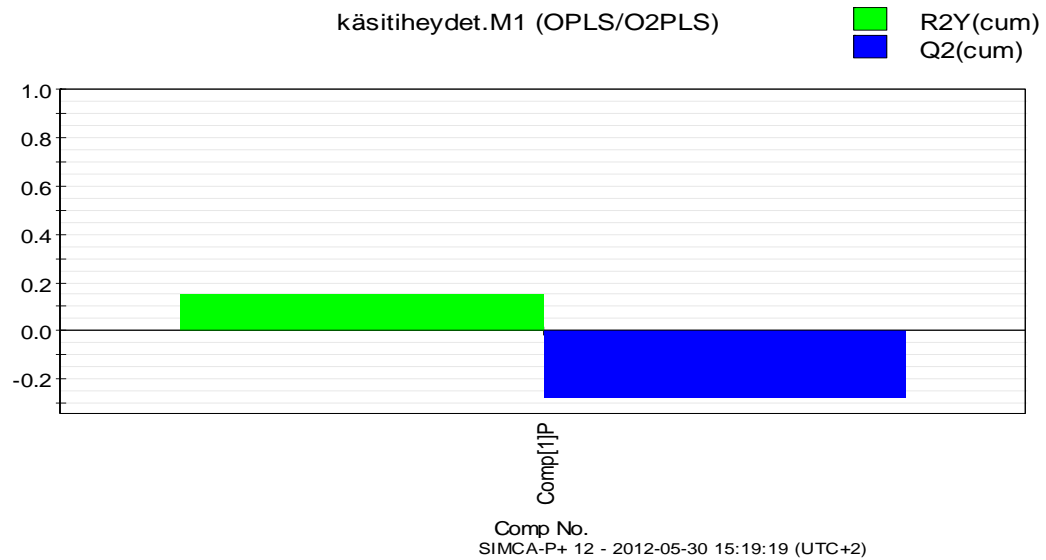
Kuvassa 17 on esitetty eri parametrien korrelaatiot spraykuivaimen syöttöliuoksen tiheys-vasteen kanssa. Kuvasta voidaan havaita seuraavaa:

- tiheyden noustessa propanin syöttö/tuotanto spraykuivain (kg/kg) laskee.



Kuva 17. Spraykuivaimen syöttöliuoksen tiheyden Coefficient Plot.

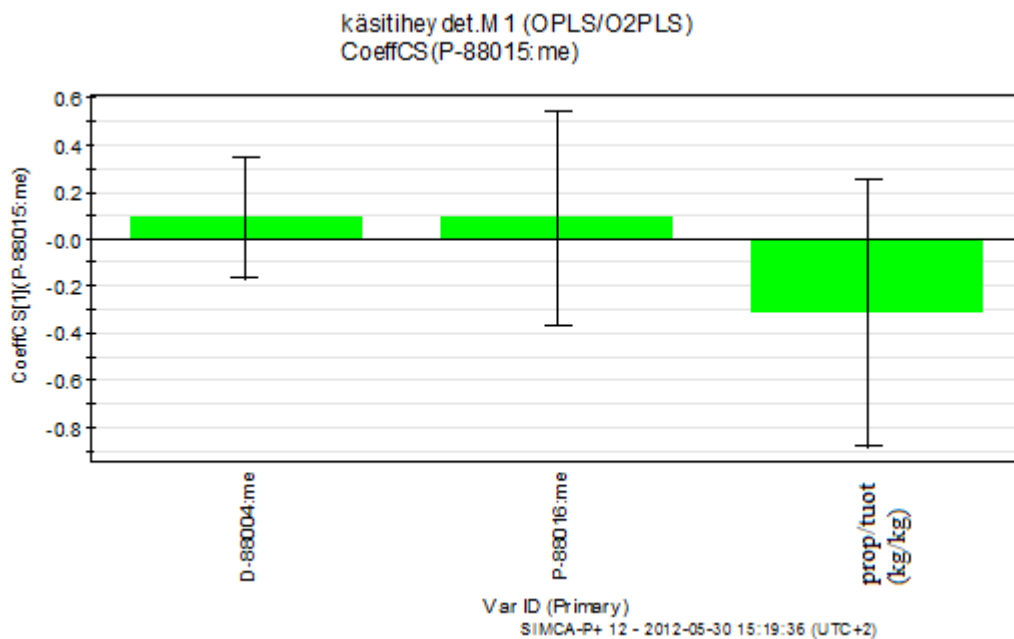
Kuvassa 18 on esitetty yleiskuva ohjelman käyttämän datan osuudesta ja ennustettavuudesta, kun Y-vasteena on spraykuivaimen syöttöpaine. Kuvan perusteella malli pystyy siis selittämään 15 % datan vaihteluista ja ennustettavuus menee negatiiviselle puolelle.



Kuva 18. Spraykuivaimen syöttöpaineen Model Overview.

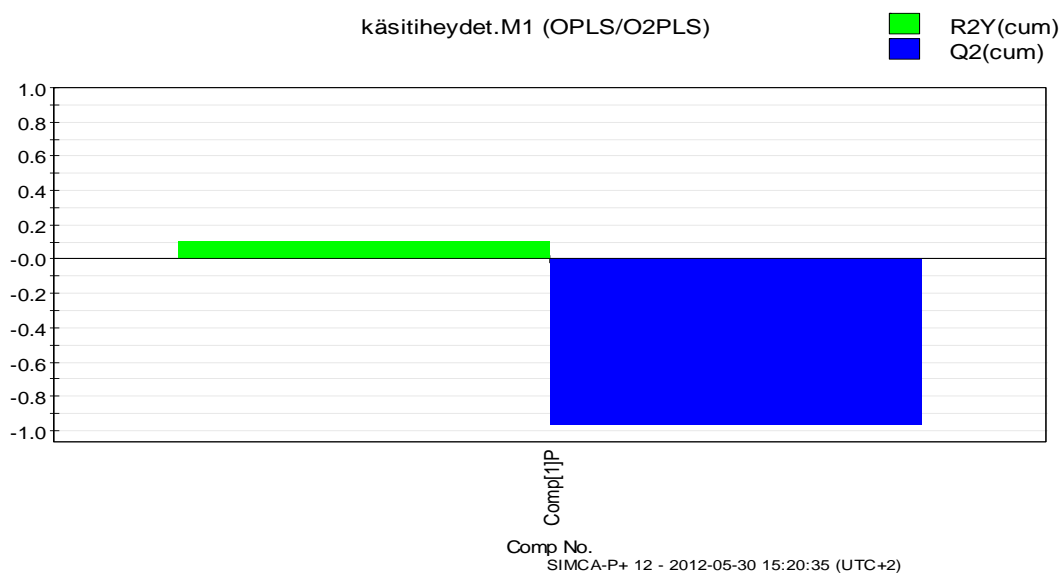
Kuvassa 19 on esitetty eri parametrien korrelaatiot spraykuivaimen syöttöpaine-
vasteen kanssa. Kuvasta voidaan havaita seuraavaa:

- virheet taas suuria
- syöttöpaineen kasvaessa propaanin syöttö/tuotanto spraykuivain pienenee eli propaania kuluu vähemmän.



Kuva 19. Spraykuivaimen syöttöpaineen Coefficient Plot.

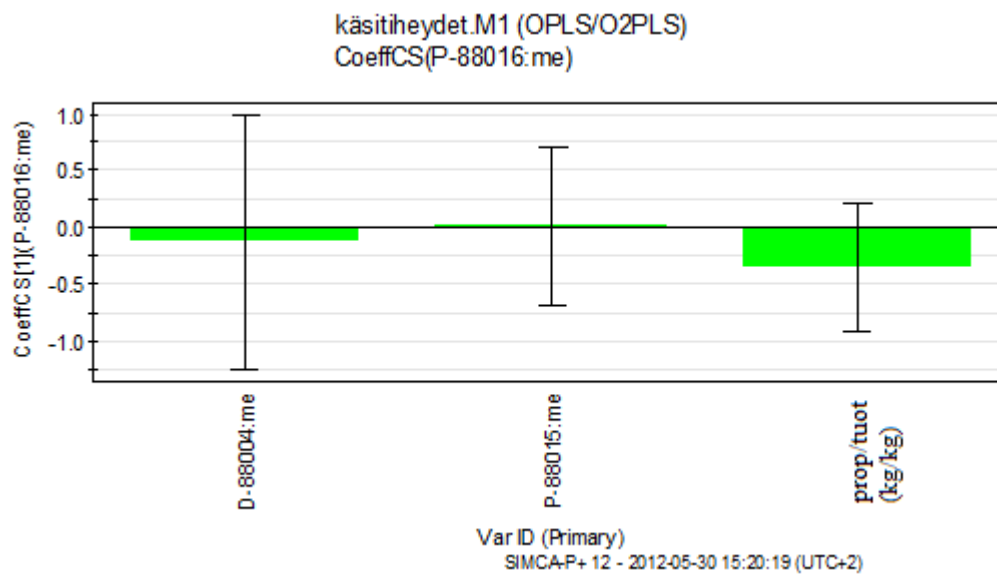
Kuvassa 20 on esitetty yleiskuva ohjelman käyttämän datan osuudesta ja ennustettavuudesta, kun Y-vasteena on pussisuodattimen jälkeinen paine (alipaine). Kuvan perusteella malli pystyy siis selittämään noin 10 % datan vaihteluista ja ennustettavuus menee negatiiviselle puolelle.



Kuva 20. Pussisuodattimen jälkeisen paineen (alipaine) Model Overview.

Kuvassa 21 on esitetty eri parametrien korrelaatiot pussisuodattimen jälkeinen painevasteen kanssa. Kuvasta voidaan havaita seuraavaa:

- virheet suuria
- pussisuodattimen jälkeisen paineen kasvaessa eli alipaineen pienentyessä -300 → -100, propaanin syöttö/tuotanto spraykuivain pienenee eli propaanin kulutus pienenee.



Kuva 21. Pussisuodatin 3151 jälkeinen paine Coefficient Plot.

7.4 Ajoparametrit käytäntöön

Koeajojen tulosten tarkastelun perusteella voidaan havaita, että suurin vaikutus propaanin kulutuksen pienemiseen ja sitä kautta kokonaistehokkuuteen eniten vaikuttavat spraykuivaimen syöttöliuoksen tiheys sekä pussisuodatin 3151 jälkeinen paine (alipaine). Tiheyden kasvaessa propaanin kulutus pienenee. Koeajoissa syöttöliuoksen tiheys vaihteli välillä 100–200. Liian korkea syöttöliuoksen tiheys vaikeutti granuloidun nikkelihydroksikarbonaatin valmistusta aiheuttaen linjoissa ja granuloidun tuotteen spraykuivaimen suuttimissa tukoksia. Toisaalta korkean syöttöliuoksen tiheyden ansiosta granuloidun nikkelihydroksikarbonaatin spraykuivaimen alitteessa ei havaittu lainkaan kokkareita.

Vastaavasti pussisuodattimen jälkeisen paineen (alipaine) pienentyessä $-300 \rightarrow -100$ propaanin kulutus pienenee. Koeajoissa pussisuodattimen jälkeinen paine vaihteli välillä $-300 - -100$.

7.5 Propaanin kulutuksen väheneminen

Tuotantoprosessin optimoinnin tarkoituksena oli vähentää propaanin kulutusta suhteessa tuotettuun tuotemäärään. Vuosina 2008–2010 kerätyn historiadatan suhdelu-

kuja (propaanin syöttö/tuotanto spraykuivain) verrattiin koeajojen 9 ja 10 suhdeluvun keskiarvoon. Näitä koeajoja käytettiin monimuuttuja-analyysin tulosten perusteella, koska niissä syöttöliuoksen tiheys oli korkein ja pussisuodattimen jälkeinen alipaine pienin. Näin ollen propaanin kulutus pieneni syöttöliuoksen tiheyden ja pussisuodattimen jälkeisen paineen (alipaine) kontrolloinnin seurauksena seuraavasti:

$$P = \frac{\textit{koajojen suhdelukujen ka}}{\textit{historiadatan suhdelukujen ka}} \quad (2)$$

$$P = 0,781955$$

$$1 - P = 0,218045 = 21,8045 \approx \mathbf{22 \%}$$

jossa P = Propaanin kulutuksen väheneminen, %.

Optimoinnin avulla voidaan saavuttaa noin 22 %:n väheneminen propaanin kulutuksessa, joka kuluu kuivan nikkelihydroksikarbonaatin kuivausprosessissa.

8 JÄTELÄMMÖN HYÖDYNTÄMINEN

8.1 Propanin teoreettinen kulutus

Kuivan nikkelihiydroksikarbonaatin spraykuivaimen sisään menevän halli-ilman lämmittämiseen käytetään propaania. Tällä hetkellä spraykuivaimesta ulos tuleva, noin 90 °C ilma ajetaan pesureiden kautta taivaalle. Työn tarkoituksena oli tutkia erilaisia mahdollisuuksia hyödyntää jätelämpöä. Jätelämmön hyödyntämisen tiimoilta oltiin yhteydessä erilaisten lämmönvaihtimien valmistajiin, joista saatiin tarjouksia erilaisista menetelmistä poistoilmassa olevan jätelämmön hyödyntämiseksi kemikaalitehtaan prosesseissa.

Tarkoituksena oli laskea propanin teoreettinen määrä, joka kuluu tuotteen kuivaukseen. Teoreettisen määrän selvittämiseksi laskettiin ensin seuraavia arvoja spraykuivaimen syöttöliuoksesta:

Syöttöliuoksen massavirtaus:

$$\dot{m}_{\text{syöttöliuos}} = \rho * \dot{V} \quad (3)$$

$$\dot{m}_{\text{syöttöliuos}} = \mathbf{589,6 \text{ kg/h}}$$

jossa $\dot{m}_{\text{syöttöliuos}}$ = Syöttöliuoksen massavirtaus, kg/h

ρ = Syöttöliuoksen tiheys, kg/m³

\dot{V} = Tilavuusvirtaus, m³/h, koeajojen keskiarvo.

Syöttöliuos on sekoitus nestettä ja kiintoainetta. Syöttöliuoksen kiintoainepitoisuus lasketaan seuraavasti:

$$\rho_m = \frac{100}{\left(\frac{C_w}{\rho_s} + \frac{100 + C_w}{\rho_l} \right)}, \text{ ratkaistaan } C_w \quad (4)$$

$$C_w = \frac{100 * (\rho_m - \rho_l) * \rho_s}{\rho_m * (\rho_s - \rho_l)} \quad (5)$$

jossa $C_w =$ Kiintoaineen paino-osuus syöttöliuoksessa, %

$\rho_m =$ Syöttöliuoksen tiheys, kg/m^3

$\rho_s =$ Kiintoaineen tiheys, kg/m^3

$\rho_l =$ Liuoksen tiheys ilman kiintoainetta, kg/m^3 .

(www.engineeringtoolbox.com)

Nikkelihydroksikarbonaatti sisältää kidevesimolekyylejä. Kidevesimolekyylien osuus määritetään seuraavasti:

$$w\%_{NiCO_3} = \frac{M_{NiCO_3}}{M_{CO_3}} * w\%_{CO_3} \quad (6)$$

$$w\%_{Ni(OH)_2} = \frac{M_{Ni(OH)_2}}{M_{Ni}} * w\%_{Ni} - \frac{M_{Ni(OH)_2}}{M_{NiCO_3}} * w\%_{NiCO_3} \quad (7)$$

$$w\%_{H_2O} = 100\% - w\%_{NiCO_3} - w\%_{Ni(OH)_2} \quad (8)$$

Kokonaiskosteus syöttöliuoksessa on:

$$w\%_{tot} = (1 - C_w) + w\%_{H_2O} * C_w \quad (9)$$

Josta kidevedettömän tuotteen massavirtaus:

$$\dot{m}_{kidevedet\ddot{t}en\ tuote} = (1 - w\%_{tot}) * \dot{m}_{sy\ddot{t}t\ddot{o}liu\ddot{o}s} \quad (10)$$

$$\dot{m}_{kidevedet\ddot{t}en\ tuote} = 191,207 \text{ kg/h} \approx \mathbf{191,21 \text{ kg/h}}$$

jossa $\dot{m}_{kidevedet\ddot{t}en\ tuote} =$ Kidevedettömän tuotteen massavirtaus, kg/h

$w\%_{tot} =$ Kokonaiskosteus syöttöliuoksessa, %

$\dot{m}_{sy\ddot{t}t\ddot{o}liu\ddot{o}s} =$ Syöttöliuoksen massavirtaus, kg/h

Kosteus syöttöliuoksessa on:

$$w_{sy\ddot{t}t\ddot{o}liu\ddot{o}s} = \dot{m}_{sy\ddot{t}t\ddot{o}liu\ddot{o}s} - \dot{m}_{kidevedet\ddot{t}en\ tuote} \quad (11)$$

$$w_{sy\ddot{t}t\ddot{o}liu\ddot{o}s} = 398,393 \text{ kg/h} \approx \mathbf{398,39 \text{ kg/h}}$$

jossa $w_{sy\ddot{t}t\ddot{o}liu\ddot{o}s} =$ Kosteus syöttöliuoksessa, kg/h .

Kuiva tuote sisältää 3 osaa Ni(OH)₂ ja 2 osaa NiCO₃ mooliosuuksina. Mooliosuuksien ja moolimassojen avulla voidaan laskea niiden painosuhde:

$$W_{suhde} = \frac{3 \text{ mol Ni(OH)}_2 * 92,715 \text{ g/mol}}{2 \text{ mol NiCO}_3 * 118,709 \text{ g/mol}} = 1,17154 \approx \mathbf{1,17} \quad (12)$$

Nikkelihydroksidin ja nikkelihiydroksikarbonaatin paino-osuudet voitiin laskea seuraavasti:

$$X_{NiCO_3} + Y_{Ni(OH)_2} = \dot{m}_{kidevedetön\ tuote} \quad (13)$$

$$Y_{Ni(OH)_2} = W_{suhde} * X_{NiCO_3}, \text{ sijoitetaan kaavaan 13} \quad (14)$$

$$X_{NiCO_3} + W_{suhde} * X_{NiCO_3} = \dot{m}_{kidevedetön\ tuote}, \text{ ratkaistaan } X_{NiCO_3} \quad (15)$$

$$X_{NiCO_3} = \frac{\dot{m}_{kidevedetön\ tuote}}{W_{suhde} + 1} \quad (16)$$

$$X_{NiCO_3} = 88,0513 \text{ kg/h} \approx \mathbf{88,1 \text{ kg/h}}$$

jossa X_{NiCO_3} = Nikkelihiydroksikarbonaatin massavirtaus, kg/h

$Y_{Ni(OH)_2}$ = Nikkelihiydroksidin massavirtaus, kg/h

\dot{m}_{tuote} = Syöttöliuoksen massavirtaus, kg/h

W_{suhde} = NiCO₃ ja Ni(OH)₂ painosuhde.

Nikkelihydroksidin paino-osuus voidaan laskea seuraavasti:

$$Y_{Ni(OH)_2} = \dot{m}_{kidevedetön\ tuote} - X_{NiCO_3} \quad (17)$$

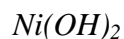
$$Y_{Ni(OH)_2} = 103,156 \text{ kg/h} \approx \mathbf{103,16 \text{ kg/h}}$$

Spraykuivaimen laskentaa

Spraykuivaimen ja kaasulämmittimeen sisään menevät syöttöliuos, ilma ja propaani:

Syöttöliuos sisältää (~ 30 °C):

H_2O
$NiCO_3$



Ilma (~ 25 °C):

$$O_2 (g)$$

$$N_2 (g)$$

Ulos spraykuivaimesta tulevat karbonaatti, hydroksidi ja kuivauskaasu, joka sisältää ilman lisäksi syöttöliuoksesta haihtuneen kosteuden ja propaanin palamistuotteet. Hapen määrä ilmassa vähenee hieman palamisreaktion myötä. Laskuissa on oletettu, että kaikki kosteus haihtuu spraykuivaimessa ja tuotteeseen jää jäljelle hydroksidit, karbonaatit ja kidevedet. Tuotteen $NiCO_3$ ja $Ni(OH)_2$ massojen on oletettu pysyvän samoina spraykuivaimen sisään menevässä syöttöliuosvirtauksessa sekä spraykuivaimesta ulos pussisuodattimelle tulevassa kuivatussa nikkelihydroksikarbonaatti pulverissa.

Propaanin palamisreaktio:



Palamisreaktion ja kuivumisen myötä spraykuivaimesta ulos tulevan kuivauskaasun koostumus ainemäärissä laskettuna on seuraavanlainen:

$$N_2: \quad n_{sisään} = n_{ulos}$$

$$O_2: \quad n_{sisään} = n_{ulos} - 5 * n_{C_3H_8}$$

$$CO_2: \quad n_{sisään} = 3 * n_{C_3H_8}$$

$$H_2O: \quad n_{sisään} = 4 * n_{C_3H_8} + n_{H_2O, syöttöliuos} - n_{H_2O, tuote}$$

Propaanin teoreettinen kulutus saadaan laskettua yllä olevien yhtälöiden avulla. Propaanin ideaalimäärä, joka tarvitaan palamisreaktiossa:

$$\dot{m}_{propaani} = n * M \quad (19)$$

$$\dot{m}_{propaani} = 36,162 \text{ kg/h} \approx \mathbf{36,16 \text{ kg/h}}$$

jossa $\dot{m}_{propaani}$ = Propaanin massavirtaus, kg/h

= Propaanin ideaalimäärä, joka tarvitaan palamisreaktiossa.

n = Propaanin ainemäärä, kmol

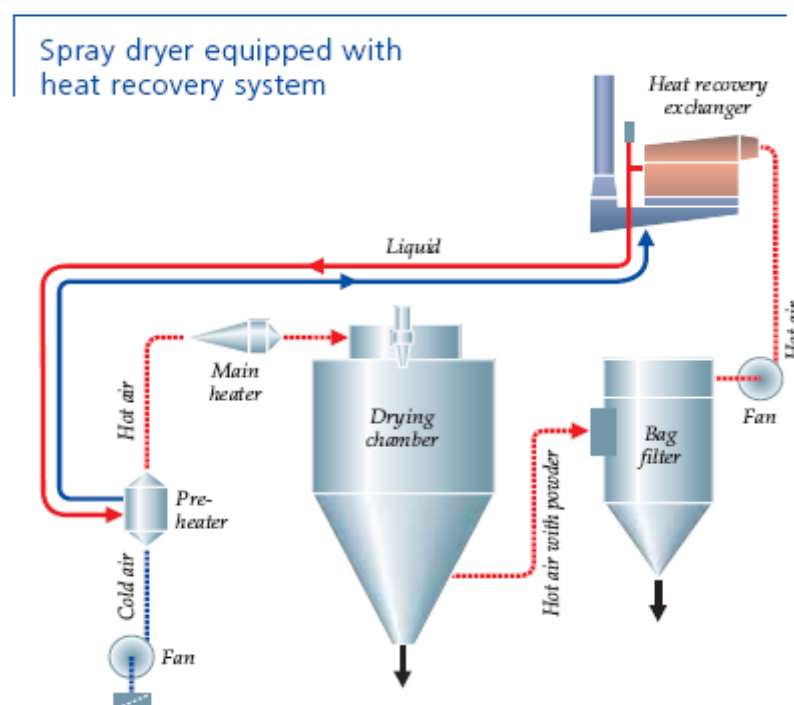
M = Propaanin moolimassa, kg/kmol.

Yllä lasketuilla virtauksilla ja pitoisuuksilla propaanin teoreettinen kulutus tuotettua nikkelitonna kohti on noin 332 kg.

8.2 Ilma-ilma lämmönvaihdin tarjous

Yksi työn oleellisimmista seikoista oli tutkia spraykuivaimesta syntyvän jätelämmön hyödyntämistä prosessissa. Aluksi pohdittiin menetelmää, jossa spraykuivaimesta poistuvaa kuivausilmaa käytettäisiin hyödyksi spraykuivaimen sisään menevän halli-ilman lämmityksessä. Tarjouspyyntöjä lähetettiin muutamalle toimittajalle kohteeseen sopivan lämmönvaihtimen löytämiseksi. Tutkittava kohde osoittautui haastavaksi, koska kyseessä oli ilma-ilma lämmönvaihdin.

Varteenotettava tarjous saatiin lämmöntalteenottojärjestelmästä, jossa spraykuivaimesta poistuvalla lämpimällä ilmalla lämmitettäisiin ensin nestettä, joka tämän jälkeen lämmittäisi spraykuivaimen menevää halli-ilmaa. Järjestelmän avulla halli-ilma lämmitettäisiin noin 25 asteesta noin 50 asteeseen. Kuvassa 22 on esitetty lämmöntalteenottojärjestelmä, jossa lämmönsiirrossa käytetään apuna lämmönsiirtonestettä.



Kuva 22. Lämmöntalteenottojärjestelmä. (www.niro.com)

Yllä esitettyjen kaavojen pohjalta propaanin säästö voidaan laskea seuraavasti:

$$X = \frac{n(\text{propaani } 50\text{ }^{\circ}\text{C})}{n(\text{propaani } 25\text{ }^{\circ}\text{C})} = \frac{0,686\text{ kmol}}{0,820\text{ kmol}} = 0,836585 \quad (20)$$

$$1 - X = 0,163415 = 16,3415\% \approx \mathbf{16\%}$$

jossa X = propaanin säästö, %

$n(\text{propaani } 50\text{ }^{\circ}\text{C})$ = Propaanin ainemäärä, kmol

$n(\text{propaani } 25\text{ }^{\circ}\text{C})$ = Propaanin ainemäärä, kmol.

Seuraavaksi laskettiin propaanin rahallinen säästö. Laskentaperusteena käytettiin vuoden 2013 tuotantoennustetietoja sekä propaanin ostohintaa vuodelle 2013. Laskennan pohjaksi otettiin ennuste, jonka mukaan kuivaa nikkelihydroksikarbonaattia valmistettaisiin noin puolet nikkelihydroksikarbonaatin kokonaistuotannosta. Tuotantomäärässä huomioitiin pastaan osuus sekä granuloidun tuotteen pussisuodattimen alitteen osuus.

Järjestelmälle laskettiin takaisinmaksuaika, jossa huomioitiin propaanin hinta:

$$\begin{aligned} \text{Takaisinmaksuaika} &= \frac{\text{Investoinnin hankintameno}}{\text{Vuotuiset nettotuoto } t} \quad (21) \\ &= 12,8339 \text{ vuotta} \approx \mathbf{12 \text{ vuotta } 10 \text{ kk.}} \end{aligned}$$

Vuotuiset nettotuotot laskettiin vuoden 2013 tuotantoennusteen mukaan. Laskennassa huomioitiin propaanin kulutuksen väheneminen spraykuivaimeen menevän ilman lämmittämisen myötä sekä propaanin hintatietoa. Investoinnin kannalta takaisinmaksuajaksi tuli liian pitkä aika, joten sitä ei tehdä.

8.3 Ilma-neste lämmönvaihdintarjoukset

Samalla tutkittiin myös muita prosessitekniisiä mahdollisuuksia, jossa spraykuivaimeen jätelämpöä voitaisiin hyödyntää. Tarkastelukohteeksi otettiin nikkelisulfaattiliuoksen lämmitys. Lämmönvaihdinvalmistajilta tiedusteltiin tarjouksia kohteeseen sopivasta ilma-neste lämmönvaihtimesta.

1. Ilma-neste lämmönvaihdin tarjous

Tarjouspyyntö lämmönvaihtimelle perustui prosessista saatuun liuosvirtaukseen sekä ilmamäärään. Lopulliseen hinta-arvioon laskettiin mukaan kaikki työt, putkilinjat, instrumentointi ja muut oheislaitteet. (Aksola 2013)

Tällä hetkellä nikkelisulfaatin valmistusprosessissa EN-nikkelisulfaattiliuosta lämmitetään emäliuossäiliössä höyryn avulla. Tässä ehdotuksessa emäliuossäiliöön varasäiliöstä tuleva EN-nikkelisulfaattiliuos lämmitettäisiin ilma-neste lämmönvaihtimessa. Myös tälle lämmönvaihtimelle laskettiin takaisinmaksuaika, jossa käytettiin vertailuna höyryn hintaa.

Tarkoituksena oli laskea höyrymäärä, joka tarvitaan lämmittämään emäliuos 23 astetta ($30 \rightarrow 53 \text{ }^\circ\text{C}$) höyryn ($\sim 4,5 \text{ bar}$) antaman energian avulla. Koska emäliuossäiliön nikkelisulfaatin lämmitykseen kuluvan höyryn määrästä ei ole mahdollista saada historiatietoa, laskettiin se teoreettisesti.

Aluksi selvitettiin höyryn-veden lauhtumisesta vapautuva energia $\Delta_{h\ddot{o}yry}$ taulukosta, joka oli 2113,2 kJ/kg (paine 476 kPa, lämpötilassa 150 astetta).

Nikkelisulfaattiliuoksen NiSO_4 -pitoisuus:

$$C_{\text{NiSO}_4} = \frac{C_{\text{Ni}}}{M_{\text{Ni}}} * M_{\text{NiSO}_4} \quad (22)$$

$$C_{\text{NiSO}_4} = 316,459 \text{ g/l} \approx \mathbf{316,46 \text{ g/l}}$$

jossa C_{NiSO_4} = NiSO_4 :n konsentraatio, g/l

C_{Ni} = Ni:n konsentraatio, mol/l

M_{Ni} = Ni:n moolimassa, g/mol

M_{NiSO_4} = NiSO_4 :n moolimassa, g/mol.

Taulukosta etsittiin NiSO₄ ominaislämpökapasiteetti C_p , joka oli 3,2901 J/gK, joka riippuu nikkeli-pitoisuudesta. Laskussa käytettiin nikkelisulfaattiliuoksen Ni-pitoisuutena 120 g/l.

Energia, joka vaaditaan lämmittämään yksi kilogramma nikkelisulfaattiliuosta:

$$E_{\text{lämpö}} = C_p * \Delta t \quad (23)$$

$$E_{\text{lämpö}} = 75,6723 \text{ kJ/kg}_{\text{NiSO}_4} \approx \mathbf{75,67 \text{ kJ/kg}_{\text{NiSO}_4}}$$

jossa $E_{\text{lämpö}}$ = Energia, kJ/kg_{NiSO₄}

C_p = NiSO₄ ominaislämpökapasiteetti, J /gK

Δt = Lämpötilaero, K.

Höyryn määrä, joka tarvitaan nikkelisulfaattiliuoksen lämmittämiseen:

$$m_{\text{suhde}} = \frac{E_{\text{lämpö}}}{\Delta h_{\text{höyry}}} = 0,0358 \text{ kg höyry/kg NiSO}_4 \approx \mathbf{0,04 \text{ kg höyry/kg NiSO}_4} \quad (24)$$

Tunnissa kulkee NiSO₄-liuosta emäliuossäiliöön:

$$\dot{m}_{\text{NiSO}_4} = \dot{V} * \rho \quad (25)$$

$$\dot{m}_{\text{NiSO}_4} = \mathbf{4550,0 \text{ kg/h}}$$

jossa \dot{m}_{NiSO_4} = Massavirtaus, kg/h

\dot{V} = Tilavuusvirtaus, l/h

ρ = Tiheys, kg/l.

NiSO₄-liuoksen lämmittämiseen vaadittava höyrymäärä:

$$\dot{m}_{\text{höyry}} = \dot{m}_{\text{NiSO}_4} * m_{\text{suhde}} \quad (26)$$

$$\dot{m}_{\text{höyry}} = \mathbf{162,89 \text{ kg/h}}$$

jossa $\dot{m}_{\text{höyry}}$ = Höyryn massavirtaus, kg/h

\dot{m}_{NiSO_4} = NiSO₄:n massavirtaus, kg/h

m_{suhde} = Höyryn ja NiSO₄:n massojen suhde.

Tarkoituksena oli laskea rahallinen hyöty sille, jos emäliuossäiliön lämmitys korvataisiin spraykuivaimesta syntyvällä jätelämmöllä (ilmalla). Liuoksen lämmitykseen vaadittavaa energiaa laskettaessa lauhteen viilentymisestä vapautunutta energiaa ei

ole otettu huomioon, koska sen ei uskota kokonaisuudessaan siirtyvät nikkelisulfaattiliuokselle. Höyrystä vapautuva energia laskettiin seuraavalla tavalla:

Höyryn lauhtumisessa vapautuva energia, joka on sama kuin nikkelisulfaattiliuoksen lämmittämiseen kuluva energia:

$$E_{HL} = E_{\text{lämpö}} * \dot{m}_{NiSO_4} \quad (27)$$

$$E_{HL} = \mathbf{344309,0 \text{ kJ/h}}$$

jossa E_{HL} = Höyryn lauhtumisessa vapautuva energia, kJ/h

$E_{\text{lämpö}}$ = NiSO₄:n lämmittämiseen kuluva energia, kJ

\dot{m}_{NiSO_4} = NiSO₄:n massavirtaus, kg/h.

Kuluneen energian muuntaminen tehoksi:

$$P_{HL} = \frac{E_{HL}}{t} \quad (28)$$

$$P_{HL} = 95,6414 \text{ kJ/s} = 95,6414 \text{ kWh} = 0,0956414 \text{ MWh} \approx \mathbf{0,10 \text{ MW}}$$

jossa P_{HL} = Teho, MW

t = Aika, 1h/3600s.

Laskut on laskettu vuoden 2013 nikkelihydroksikarbonaatin tuotantoennusteen mukaan. Tuotantoennusteessa on otettu huomioon pastan valmistus ja granulin pussisuodattimen alitteen osuus. Laskuissa oletettiin, että spraykuivaimen jätelämpö korvaa ajossa ollessaan emäliuossäiliön lämmityksessä käytetyn höyryn.

Lämmönvaihtimella saatu höyryn säästö:

$$\text{Höyryn säästö} = \text{Emäliuossäiliön lämmitys} * \text{spraykuivain ajossa} \quad (29)$$

Lämmönvaihtimen takaisinmaksuajaksi saatiin:

$$\text{Takaisinmaksuaika} = \frac{\text{Investoinnin hankintameno}}{\text{Höyryn säästö}} \quad (30)$$

$$= 6,63767 \text{ vuotta} \approx \mathbf{6 \text{ vuotta } 8 \text{ kk}}$$

2. Ilma-neste lämmönvaihdin tarjous

Seuraava lämmönvaihdintarjous laskettiin samalla periaatteella kuin ensimmäinen tarjous. Lämmönvaihtimella olisi tarkoitus lämmittää STD-nikkelisulfaattiliuosta, joka tulee varastosäiliöstä STD-nikkelisulfaattilinjan emäliuossäiliöön. Liuosvirtaus ovat suurempi kuin ensimmäisessä tarjouksessa. Lopulliseen hinta-arvioon laskettiin mukaan kaikki työt, putkilinjat, instrumentointi ja muut oheislaitteet. (Aksola 2013)

Laskuissa käytettiin samoja nikkelisulfaatille ominaisia arvoja kuin ensimmäisessä tarjouksessa:

$$E_{\text{lämpö}} = 75,6723 \text{ kJ/kg}_{\text{NiSO}_4} \approx \mathbf{75,67 \text{ kJ/kg}_{\text{NiSO}_4}}$$

$$m_{\text{suhde}} = 0,0358 \text{ kg}_{\text{höyry}}/\text{kg}_{\text{NiSO}_4} \approx \mathbf{0,04 \text{ kg}_{\text{höyry}}/\text{kg}_{\text{NiSO}_4}}$$

Höyryn massavirtaukseksi saatiin tällöin:

$$\dot{m}_{\text{höyry}} = \mathbf{214,8 \text{ kg/h}}$$

Myös tässä tarjouksessa oli tarkoitus laskea rahallinen hyöty, jossa emäliuossäiliön lämmitykseen käytetty höyry korvattaisiin kokonaan spraykuivaimista syntyvällä jätelämmöllä.

Höyryn lauhtumisessa vapautuva energia:

$$E_{HL} = \mathbf{454020,0 \text{ kJ/h}}$$

Yhteensä kuluneen energian muuntaminen tehoksi:

$$P_{HL} = 126,117 \text{ kJ/s} = 126,117 \text{ kWh} = 0,126117 \text{ MWh} \approx \mathbf{0,13 \text{ MW}}$$

Laskuissa oletettiin, että spraykuivaimen jätelämpö korvaa ajossa ollessaan emäliuossäiliön lämmityksessä käytetyn höyryn.

Lämmönvaihtimella saatu höyryn säästö:

$$\text{Höyryn säästö} = \text{Emäliuossäiliön lämmitys} * \text{spraykuivaimin ajossa}$$

Lämmönvaihtimen takaisinmaksuajaksi saatiin:

$$\textit{Takaisinmaksuaika} = \frac{\textit{Investoinnin hankintameno}}{\textit{Höyryn säästö}}$$

= 6,10326 vuotta \approx **6 vuotta 1 kk**

Jälkimmäiselle eli isommalle ilma-nestelämmönvaihtimelle saatiin hieman lyhyempi takaisinmaksuaika kuin ensimmäiselle ilma-nestelämmönvaihtimelle.

9 JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA

Lähtökohdiltaan työlle asetettiin realistiset tavoitteet. Koeajoista oli suuri hyöty kuivan nikkelihydroksikarbonaatin prosessiajon kannalta. Optimiajopisteen ajoparametrit otettiin käyttöön tuotannossa. Prosessin optimoinnilla voidaan päästä jopa 22 %:n säästöön propaanin kulutuksessa. Koeajot suoritettiin kuitenkin melko lyhyessä ajassa, joten otanta on pieni. Todellinen propaanin säästö selviää pidempiaikaisella seurannalla. Tavoitteeksi asetettu 10 %:n säästötavoite on siis saavutettavissa. Vuonna 2013 kuivan nikkelihydroksikarbonaatin tuotantoprosessin optimoinnin avulla voidaan tuotantoennusteen mukaan saada huomattavia säästöjä propaanin ostoja ajatellen. Tarkoituksena on luoda seurantataulukko, josta nähdään propaanin kulutus suhteessa tuotettuun tuotemäärään. Yleisesti ottaen propaanin kulutuksen vähenemisen myötä, myös ympäristöön vapautuvat päästöt pienenevät.

Toinen tärkeä osuus työssä oli tutkia jätelämmön hyödyntämistä tuotantoprosessissa. Ensiksi tutkittiin mahdollisuutta lämmittää spraykuivaimen menevää halli-ilmaa spraykuivaimesta poistuvalla jätelämmöllä. Menetelmää on hyödynnetty muissakin vastaavissa kohteissa ja asiaa on paljon tutkittu. Lämmöntalteenottojärjestelmän kalliin hankintahinnan takia takaisinmaksuajaksi tuli liian pitkä aika. Näin ollen järjestelmää ei hankita kemikaalitehtaalle. Toiseksi jätelämmön hyödyntämisen kohteeksi otettiin nikkelisulfaattiliuoksen lämmitys. Ilma-neste lämmönvaihtimien hankintahinnat olivat pienempiä kuin lämmöntalteenottojärjestelmän. Takaisinmaksuajoiksi kahdelle eri kokoiselle lämmönvaihtimille tuli kohtalaisen lyhyet.

Työn tulosten pohjalta yrityksessä avattiin tehtävä toimintajärjestelmään, jonka tarkoituksena on alkaa tarkemmin selvittää ilma-nestelämmönvaihtimen hankkimista kemikaalitehtaalle. Investointisuunnitelman myötä, yrityksen tehdaspalvelu on tarkemmin yhteydessä laitetoimittajiin ja suorittaa tarkennuslaskut opinnäytetyöhön pohjautuen.

Jatkotutkimuskohteena voisi tutkia granuloidun nikkelihydroksikarbonaatin kuivauksen propaanisäästöä, koska sen valmistuksessa käytetään samaa tiheysoptimoitua syöttöliuosta kuin kuivan nikkelihydroksikarbonaatin valmistuksessa. Oletuksena

voidaan pitää, että myös granuloidun tuotteen kuivauksessa kuluu vähemmän propaania suhteessa tuotettuun tuotemäärään, koska haihdutettavan veden määrä spraykuivaimen syöttöliuoksessa on pienempi. Samalla voidaan tutkia granuloidun tuotteen spraykuivaimen pussisuodattimen jälkeisen paineen (alipaineen) vaikutusta propaanin kulutukseen suhteessa tuotettuun tuotemäärään, kuten tässä opinnäytetyössä tehtiin.

Toinen jatkotutkimuksen kohde voisi olla tutkia vielä suuremman kapasiteetin omaavaa lämmönvaihdinta. Lämmönvaihdin voisi ottaa talteen kaikkien kolmen kemikaalitehtaan spraykuivaimien jätelämmöt. Jätelämpöä voisi käyttää esimerkiksi STD-nikkelisulfaattiliuoksen lämmittämiseen, joka tulee varastosäiliöstä kemikaalitehtaalte sisään. Näin ollen hyöty voitaisiin laskea kahden tuotantolinjan (kuivan nikkeli-hydroksikarbonaatti- ja nikkelihydroksidilinjan) höyryn kulutuksen säästöistä.

LÄHTEET

Aksola, K. 2013. Tehdaspalvelun suullinen tiedonanto: Lämmönvaihtimen kokonaishinta- arvion anto. Muistiinpanot työn laatijan hallussa.

Alisaari, P. 2012. Kemikaalitehtaan säästökampanja- esitys.

Berg, P., Kellokumpu, M., Kokkonen, J., Laine, O & Maijala, M. 2011. Toimintaohjeet: Pelkistämö. Norilsk Nickel Harjavalta Oy.

Energiatehokkuussopimukset www-sivut. Viitattu 1.9.2012. Saatavissa: www.energiatehokkuussopimukset.fi.

Eriksson, L., Johansson, E., Kettaneh- Wold, N., Trygg, J., Wikström, C & Wold, S. 2006. Multi- and Megavariate Data Analysis, Part I: Basic Principles and Applications. Second revised and enlarged edition. Umetrics AB.

GEA Niro www- sivut. Spray Drying. Viitattu 22.11.2012. www.niro.com.

GEA Niro www- sivut. Energy Saving. Viitattu 22.11.2012. Saatavissa: [http://www.niro.com/niro/cmsresources.nsf/filenames/reuse-heat.pdf/\\$file/reuse-heat.pdf](http://www.niro.com/niro/cmsresources.nsf/filenames/reuse-heat.pdf/$file/reuse-heat.pdf).

Heikkilä, I., Huumo, M., Siitonen, S., Seitsalo, P & Hyytiä, H. 2008. Teollisuuden energiatehokkuus- Paras käytettävissä oleva tekniikka (BAT). Suomen ympäristökeskus. Suomen ympäristö 51 / 2008. Viitattu 25.6.2012. <http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=96740&lan=fi>.

Hellgren, M., Heikkinen, L., Suomalainen, L & Kala, J. 1999. Energia ja ympäristö. 3. painos. Opetushallitus. Helsinki: Hakapaino Oy.

Hirvonen, E. 2010. Yhteiskunta- ja ympäristövastuu, luentomateriaali.

Hämäläinen, J. Henkilökohtainen tiedonanto sähköpostilla energiatehokkuudesta NNH:lla. 2012. Kysymysten laatijana Hanna Lepistö. Muistiinpanot kysymysten laatijan hallussa.

Hämäläinen, J & Mikkola, M. 2011. Toimintaohje: Tuotteiden valmistus ja toimitus. Norilsk Nickel Harjavalta Oy.

Karjala, K. 2013. Henkilökohtainen suullinen tiedonanto: Simca P+-ohjelman antamien kuvaajien selitykset.

Luoma, R. 2009. Käyttöohje: Nikkelikarbonaatin valmistus. Norilsk Nickel Harjavalta Oy.

Metodixin www-sivut. Viitattu 25.9.2012. www.metodix.com

Motivan www-sivut. Viitattu 10.11.2012. www.motiva.fi

Motiva. 2007. Energiatehokkuusjärjestelmä (ETJ). Elinkeinoelämän energiatehokkuussopimuksen energiavaltaisen teollisuuden ja energiantuotannon toimenpideohjelmien liite. 4.12.2007/versio 1. Viitattu 1.9.2012.

<http://www.energiatehokkuussopimukset.fi/midcom-serveattachmentguid-1dffdf329a864d8fdf311dfa87b512108e6f425f425/energiatehokkuusjarjestelma>.

Norilsk Nickel Harjavalta Oy:n www- sivut. Viitattu 23.9.2012.
<http://www.norilsknickelharjavalta.fi/>.

Norilsk Nickel Harjavalta Oy:n www- sivut. Viitattu 23.9.2012. Saatavissa:
<http://www.norilsknickelharjavalta.fi/www/printable.php?id=24&noprint=1>.

Norilsk Nickel Harjavalta Oy:n www- sivut. Viitattu 23.9.2012. Saatavissa:
www.nornik.fi/www/page.php?cat=21.

Oja, T. 2010. Työohjeet: Liuottamo. Norilsk Nickel Harjavalta Oy.

Ojasalo, K., Moilanen, T & Ritalahti, J. 2009. Kehittämistyön menetelmät - Uutta osaamista liiketoimintaan. Helsinki: WSOYPro.

Orava, A-P., Tontti, K & Unkuri, J. 2011. Toimintaohjeet: Elektrolyysi. Norilsk Nickel Harjavalta Oy.

Pihkala, J. 2007. Prosessitekniikan yksikköprosessit. 3.-2 tarkistettu painos. Opetushallitus. Helsinki: Hakapaino Oy.

Rissa, K. 2001. Ekotehokkuus- enemmän vähemmästä. Ympäristöministeriö. Helsinki: Edita Oyj.

Rissa, K. 1999. Riskit hallintaan. Työturvallisuuskeskus. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy.

Ruusunen, K & Sallinen, A. 2012. Toimintaohjeet: Kemikaali. Norilsk Nickel Harjavalta Oy.

Räjähdyssuojausasiakirja VNA 576/ 2003 mukaisesti. OMG Harjavalta Nickel Oy.

The Engineering Toolbox www-sivut. Viitattu 21.10.2012.
http://www.engineeringtoolbox.com/slurry-density-d_1188.html.

Valtioneuvoston kanslia. 2006. Kohti kestäviä valintoja. Kansallisesti ja globaalisti kestävä Suomi. Kansallinen kestävä kehityksen strategia. Valtioneuvoston kanslian julkaisusarja 5/2006.

Vanha-aho, T. 2003. Orgaaninen kemia, luentomateriaali.

Ympäristö www-sivut. Viitattu 13.9.2012. Saatavissa: www.ymparisto.fi.

Ympäristö www-sivut. Viitattu 10.5.2012. Saatavissa:
<http://www.ymparisto.fi/default.asp?node=180&lan=fi>.

www.portal.mtt.fi- sivustot: Maalle oppimaan.
<https://portal.mtt.fi/portal/Maalleoppimaan/Miksi?20maalle%20oppimaan/Kest%E4v%E4%20kehitys%20ja%20kasvatus>. Viitattu 24.9.2010.

