

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

Energiatekniikka / automaatio- ja prosessitekniikka

Tatu Koskinen

SUOLAHAPON REGENEROINTILAITOKSEN SAVUKAASUPESURIN AJOAR-
VOJEN OPTIMOINTI

Opinnäytetyö 2014

TIIVISTELMÄ

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

Energiatekniikka

KOSKINEN, TATU

Suolahapon regenerointilaitoksen savukaasupesurin ajoarvojen optimointi

Opinnäytetyö

40 sivua + 7 liitesivua

Työn ohjaaja

Mikko Nykänen, tutkimusinsinööri

Teemu Ryhänen, prosessipalveluinsinööri

Toimeksiantaja

Ruukki Metals Oy

Lokakuu 2014

Avainsanat

savukaasupesuri, päästömittaus, suolahappo, regenerointiprosessi

Opinnäytetyössä käsitellään Ruukki Metals Oy Hämeenlinnaan tehtaan suolahapon regenerointilaitokselle uusitun savukaasupesurin käytön optimointia. Työssä käydään yleisesti läpi suolahapon regenerointiprosessi ja syvennyttään elvyttämö 4:n täytekappalepesurin toimintaan, sekä tekniikkaan. Tarkoituksena on selvittää savukaasupesurin käyttäytyminen eri ajoarvoilla ja samalla minimoida suolahappopäästöt. Työn tuloksista tehdään tuotannonohje pesurin ajoarvoja koskien. Elvyttämö 4:n savukaasupesuri on uusittu kesällä 2013.

Työn teoriaosuudessa käydään läpi suolahapon regenerointiprosessi ja tietoa savukaasuista ja savukaasupesureista yleisellä tasolla. Käytännön osuudessa on raportoitu käytetty mittalaitteisto ja sen toiminta, sekä analysoidaan koeajojen ja savukaasupesurin ajoarvo-muutosten vaikutusta laitoksen suolahappopäästöihin. Työhön liittyvät päästömittaukset suoritetaan Ruukin omilla mittalaitteilla.

Laitoksen päästöihin vaikuttavat kaikki prosessivaiheet. Työssä perehdytään pääosin vain savukaasupesurin ajoarvoihin ja siksi muu prosessi pyrittiin pitämään samanlaisena työn aikana. Savukaasupesurin puhdistusaste suolahapolle on korkea ja savukaasujen suolahappopitoisuus saadaan pidettyä viranomaisten määräämässä raja-arvossa.

ABSTRACT

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

University of Applied Sciences

Energy Engineering

KOSKINEN, TATU

Optimizing the Parameters of the Flue Gas Scrubber at the Hydrogen Chloride Regeneration Plant

Bachelor's Thesis

40 pages + 7 pages of appendices

Supervisor

Mikko Nykänen, Research Engineer

Teemu Ryhänen, Section Manager

Commissioned by

Ruukki Metals Oy

October 2014

Keywords

flue gas scrubber, emission measurements, hydrogen chloride, regeneration plant

This thesis was commissioned by Ruukki Metals Oy, which is located in Hämeenlinna. There was a need to optimize the parameters of the flue gas scrubber at the regeneration plant. The aim of this thesis was to determine the behavior of the flue gas scrubber with different parameters and at the same time minimize the hydrochloric acid emissions. Also, a production guide which includes the right parameters for correct driving the flue gas scrubber was made.

The theoretical part consists of information on the regeneration plant process, flue gases, and flue gas scrubbers at a general level. The practical part includes measurement equipment that was used in measurement and description of its working. Also the thesis presents analyses from flue gas scrubber test runs and effect of changes of parameters on hydrochloric acid emissions. The emissions measurement devices were provided by the commissioner.

Every step and device in this process affects emissions. The thesis focuses mainly on the flue gas scrubber operating parameters and therefore the rest of the process was kept almost unchanged and stabilized during the work. The purification degree of the flue gas scrubber is good and the hydrochloric acid emissions can be kept in the limit value.

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

LYHENTEET JA SYMBOLIT

1	JOHDANTO	7
2	SUOLAHAPON REGENEROINTIPROSESSI	8
	2.1 Elvyttämö	8
	2.2 Suolahapon käyttö peittäusprosessissa	9
3	SAVUKAASUT	10
	3.1 Savukaasujen puhdistusmenetelmät	10
	3.2 Sykloni	11
	3.3 Venturipesuri	11
	3.4 Imeytin	11
	3.5 Savukaasupesurit	12
	3.5.1 Täytekappalepesuri	12
	3.5.2 Täytekappaleet	13
	3.5.3 Vaakasuora ristipesuri	14
	3.5.4 Levypesuri	15
	3.6 Savukaasupuhallin	16
	3.7 Sähkösuodatin	17
4	ELVYTTÄMÖ 4:N SAVUKAASUPESURI	17
	4.1 Tavoitteet	17
	4.2 Tekninen kuvaus	18
	4.3 Automaatio	22
	4.4 Ajoarvot	22
	4.5 Savukaasupesurin pesuneste	22
	4.5.1 NaOH	23
	4.5.2 Na ₂ S ₂ O ₃	23
	4.5.3 pH	24

4.5.4 Redoxpotentiaali	24
4.5.5 Pesunesteen virtausmäärät ja pesunestepumppu	24
4.5.6 Lisävesi	25
5 MITTAUSSUUNNITELMA	25
5.1 Mittalaitteet	26
5.2 Absorptioiden jälkeiset yhtälöt	28
5.3 pH-mittaukset kentällä	29
5.4 Suolahapon titraus	29
6 PÄÄSTÖTULOKSET JA ANALYSOINTI	29
6.1 Ensimmäinen koeajo	29
6.2 Toinen koeajo	31
6.3 Kolmas koeajo	33
6.4 Koeajojen analysointi	36
7 YHTEENVETO	38
LÄHTEET	39
LIITTEET	
Liite 1. Suolahapon päästömittauspöytäkirja	
Liite 2. Suolahappopäästön Excel-taulukko	
Liite 3. Elvyttämö 4:n savukaasupesurin käyttö- ja huolto-ohje	

LYHENTEET JA SYMBOLIT

BAT	Best Available Techniques
BREF	Best Available Techniques Reference Document
Nm ³	Normikuutiometri
Lambda	Ilmakerroin
Rpm	Rounds per minute
HCl	Suolahappo
Cl	Kloridi
C _{HCl}	Suolahapon massakonsentraatio standardi olosuhteissa [mg HCl / m ³]
C _{Cl}	Kloridin massakonsentraatio standardi olosuhteissa [mg Cl / m ³]
m _{Cl}	Kloridin massakonsentraatio absorptiopulloista [mg Cl / m ³]
V _{std}	Imetyn kaasun tilavuus standardi olosuhteissa [m ³]
M _{HCl}	Suolahapon moolimassa [g / mol]
M _{Cl}	Kloridin moolimassa [g / mol]
T	Mitatun kaasun lämpötila [K]
T _{std}	Standardi ilmanlämpötila [273 K]
P	Absoluuttinen paine kaasukellossa [kPa]
P _{std}	Standardi ilmanpaine [101,325 kPa]
V _{T,P}	Imetty kaasumäärä [m ³]

1 JOHDANTO

Opinnäytetyöni aiheena oli suolahapon regenerointilaitoksen savukaasupesurin ajoarvojen optimointi. Työn tilaajana toimi Ruukki Metals Oy:n Hämeenlinnan tehtaan energia- ja prosessipalvelut yksikkö. Työn perusteella laadittiin tuotannon ohje savukaasupesurin käyttöä ja huoltoa koskien. Työ aloitettiin syksyllä 2013 ja saatiin päätökseen tammikuun 2014 aikana.

Työn käytännön osuus suoritettiin Hämeenlinnan tehtaalla suolahapon regenerointilaitoksella, joka on ainoa laatuaan Suomessa. Tehtaalla laitosta kutsutaan elvyttämö 4:ksi, niin myös tässä työssä. Laitoksen savukaasupesuri uusittiin kesällä 2013 ja sitä oli ajettu edellisen pesurin ajoarvoilla. Laitoksen edellinen pesuri oli vioittunut ja jouduttiin uusimaan. Uusimalla savukaasupesuri ja savupiippu, Ruukki turvaa tuotannon käytettävyyden sekä säilyttää elvyttämö 4:n päästöt vastaamaan Ferrous Metals Processing BREF:n BAT:n mukaisia päästötasoja ja tekniikkaa, ja myös nykyisen sekä todennäköisesti tulevan ympäristöluvan mukaisia luparaja-arvoja. Elvyttämön savukaasupäästöt sisältävät ne suolahappopitoisuudet, joita ei saada prosessissa talteen. Elvyttämö tuottaa myös hiukkaspäästöjä, mutta niihin ei perehdytä tässä työssä.

Hämeenlinnan tehtaalla panostetaan aktiivisesti ympäristönäkökohtiin ja päästömittauksia suoritetaan ympäristöluvan edellyttämien lupamääräysten mukaisesti. Lisäksi omilla päästömittauksilla kehitetään ja parannetaan prosessien ja pesureiden toimintaa. Elvyttämö 4:n suolahappopäästöjen pitoisuudet olivat mittausten aikana viranomaisvaatimus raja-arvojen alapuolella. Seuraava ympäristölupahakemus on jätettävä vuoden 2014 loppuun mennessä.

Ruukki on erikoistunut teräkseen ja teräsrakentamiseen. Ruukki toimittaa asiakkailleen energiatehokkaita teräsratkaisuja rakentamiseen, asumiseen ja liikkumiseen. Konsernirakenne jaetaan kolmeen toimintaan: rakentamisen tuotteet, rakentamisen projektit ja teräслиiketoiminta.

2 SUOLAHAPON REGENEROINTIPROSESSI

Regenerointilaitoksessa eli elvyttämössä regeneroidaan suolahappoa, jota käytetään tehtaan peittauslinjalla teräskelojen puhdistamiseen. Raahesta saapuvista kuumavalsatuista teräskeloista puhdistetaan nauhan pinnasta epäpuhtaudet ennen niiden kylmävalssausta.

2.1 Elvyttämö

Peittauslinjalta poistuva käytetty suolahappo pumpataan elvyttämön käytetyn hapon säiliöön ja edelleen väkevöijään. Väkevöity suolahappo sumutetaan tiilivuorattuun pystyuunireaktoriin. Reaktorissa on kolme maakaasupoltinta, jotka muodostavat uuniin ylöspäin nousevan kierteisen savukaasuvirtauksen. Reaktorin lämpötila polttimien läheisyydessä on 650 - 750 °C ja ylhäällä noin 400 °C. Reaktorissa vallitsevan korkean lämpötilan vaikutuksesta käytetyssä suolahapossa oleva rautakloridi (FeCl_2 ja FeCl_3) hajoaa kaasumaiseksi suolahapoksi (HCl) ja kiinteäksi rautaoksidiksi (Fe_2O_3). Rautaoksidi ohjataan sille tarkoitettuihin siloihin ja toimitetaan edelleen kaupallisena sivutuotteena hyödynnettäväksi. (1.)

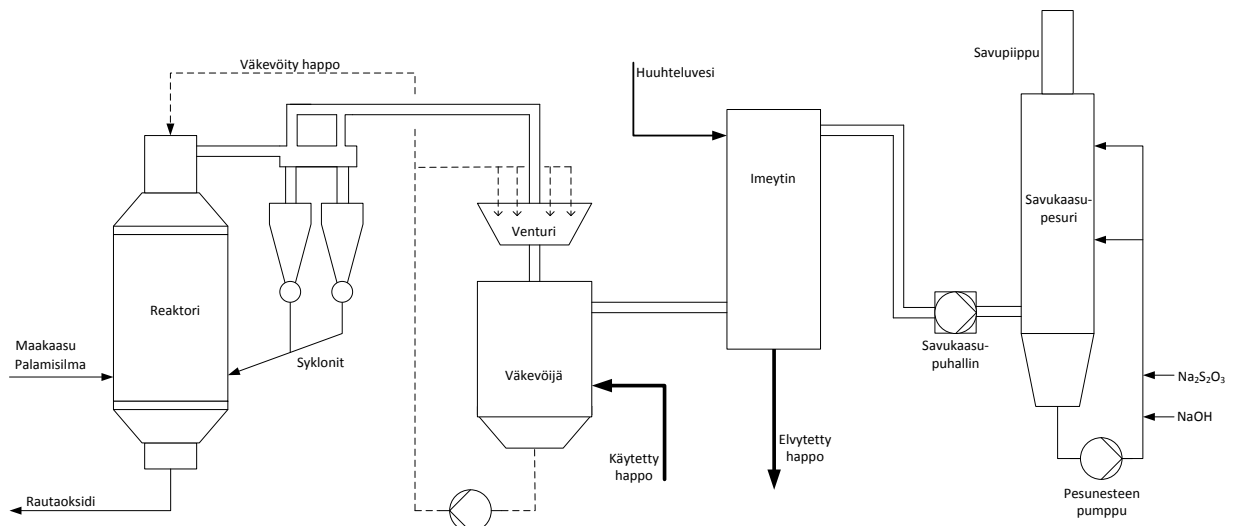
Reaktorissa syntynyt suolahappokaasu ja muut kaasut johdetaan kahteen rinnakkaiseen sykloniin, joiden on tarkoitus poistaa suurimmat pölyhiukkaset ennen väkevöijää, koska suuri pölymäärä vaikeuttaa väkevöijän toimintaa. Väkevöijä koostuu venturi-tyyppisestä erottimesta ja säiliöstä, missä savukaasuista pestään oksidia käytetyllä happolla. Väkevöijän kierrossa oleva happo suihkutetaan myötävirtaa reaktorista poistuneita savukaasuja vasten ja savukaasujen lämpötila laskee alle 100 °C:een. Väkevöijän tarkoituksena on myös väkevöittää käytettyä suolahappoa haihuttamalla siitä vettä, jolloin elvytysprosessin kapasiteetti kasvaa.

Prosessin seuraavassa vaiheessa savukaasut ohjataan väkevöijästä imeyttimeen.

Imeytin on rakenteeltaan jakotasoilla varustettu täytekappalekolonni. Imeyttimessä savukaasut nousevat vastavirtaan ylhäältä ruiskutettavaa huuhteluvettä kohti. Savukaasuissa oleva suolahappo imeytyy huuhteluveteen ja muodostaa nestemäistä suolahappoa. Nestemäinen suolahappo otetaan talteen imeyttimen pohjasta ja sen väkevyys

on noin 19 – 20 %. Elvytetty suolahappo ohjataan siihen tarkoitettuihin tankkeihin ja aina uudelleen käytettäväksi peittauslinjalle.

Savukaasujen puhdistusta jatketaan suihkuttamalla niihin vettä ennen savukaasupuhallinta ja erottamalla nestepisarat epäpuhtauksineen pisaranerotimella. Savukaasupuhallimien jälkeen savukaasut ohjataan savukaasupesurin läpi, joka on rakenteeltaan imeyttimen kaltainen tätekappalekolonni. Savukaasupesurissa savukaasut nousevat ylös ja niitä vasten ruiskutetaan pesuliuosta. Pesuliuos on vesiseos, joka koostuu natriumhydroksidista (NaOH) ja natriumsulfaatista ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$). Pesuliuksella poistetaan savukaasuista suolahappoa, klooria ja hiukkasia, jotka ohjataan savukaasupesurin pohjasta vesien käsittelyyn neutralointilaitokselle. Lopuksi savukaasut johdetaan savupiipun kautta ilmaan.



Kuva 1. Suolahapon regenerointiprosessi.

2.2 Suolahapon käyttö peittausprosessissa

Teräskelat saapuvat Hämeenlinnan tehtaalle Raahesta junalla. Kelojen ensimmäinen prosessivaihe on niiden peittäminen. Peittauksella tarkoitetaan tässä yhteydessä nauhan pinnalta olevan epäpuhtauden, valssausperäisen hilseen ja kuljetuksen aikana syntyneen ruosteen poistamista. Tämä prosessivaihe on suoritettava ensimmäisenä, jotta ne eivät aiheuttaisi pintavirheitä kylmävalssauksena ja vaikuttaisi negatiivisesti lopputuotteeseen.

Peittausprosessissa teräsnauhaa ajetaan jatkuvatoimisesti suolahappoaltaan läpi, jossa happo puhdistaa teräsnauhan pintaa liuottaen siitä oksidia, jolloin teräksen pinta puhdistuu. Käytetty suolahappo, johon on liuennut rautaoksideja, ohjataan takaisin elvyttämölle, missä se puhdistetaan ja väkevöidään suolahapon regenerointiprosessissa uudelleen käytettäväksi peittaukseen.

3 SAVUKAASUT

Savukaasut ovat polttamisen seurauksena syntyviä kaasuja ja niitä seurataan tarkasti teollisuudessa. Savukaasun koostumus riippuu poltettavasta materiaalista ja polttomenetelmästä. Suurimpia ilmaan johdettavien päästöjen aiheuttajia ovat polttoprosessit, erityisesti fossiilisia polttoaineita käyttävät laitokset. Kaasumaiset polttoaineet tuottavat vähemmän päästöjä verrattuna kiinteisiin polttoaineisiin. Ilmaan johdettavat päästöt koostuvat yleisesti kiinteistä partikkeleista, nestepisaroista ja kaasumaisista aineista. Nämä komponentit määritellään ilman saasteiksi silloin, kun niitä kulkeutuu niin suurina pitoisuuksina, että ne vahingoittavat ihmisiä tai ympäristöä. (2.)

3.1 Savukaasujen puhdistusmenetelmät

Savukaasujen puhdistuksella tarkoitetaan terveydelle tai ympäristölle haitallisten aineiden poistoa kaasusta ennen niiden pääsemistä ilmaan. Savukaasun puhdistusmenetelmiä on useita ja prosesseissa savukaasuja voidaan puhdistaa monessa eri vaiheessa.

Hämeenlinnan tehtaan elvyttämö 4:llä on hyödynnetty erityyppisiä savukaasun puhdistusmenetelmiä. Varsinaisia savukaasupesureita on yksi, mutta otettaessa huomioon kaikki puhdistuslaitesovellukset, prosessissa savukaasut puhdistuvat viidessä eri vaiheessa. Prosessissa on käytössä kaksi rinnakkaista sykklonia, venturipesuri, imeytinkoloni, täytekappalepesuri ja dynaamisen pesurin tapaan toimiva savukaasupuhallin. Jotta suolahappo voitaisiin erottaa kaasusta, se on pakko saattaa kontaktiin nestefaasin kanssa.

Hämeenlinnan tehtaan elvyttämöllä käytetään kangassuodattimia oksidisiiloissa, mutta niitä ei voida hyödyntää savukaasujen puhdistukseen, koska kankaat tukkeutuisivat kosteapitoisesta kaasusta. Reaktorissa muodostuva rautaoksidipöly johdetaan alipaineista kanavaa pitkin siiloon, jossa ilma suodatetaan ulos kangassuodattimien läpi.

3.2 Sykloni

Syklonit ovat teollisuudessa yleisimpiä mekaanisia hiukkaserottimia. Sykloneita käytetään erottamaan suurta pölyä kuivasta kaasusta, sekä myös pisaroita kosteasta kaasusta. Ne ovat sijoitettu usein prosessin alkupäähän ennen varsinaisia suodattimia tai pesureita, niin myös elvyttämöllä. Sykloni muodostuu sylinterin muotoisesta yläosasta, kartiomaisesta alaosasta ja lokerosyöttimestä. Syklonien toiminta perustuu keskipakovoimaan, jossa kaasu ohjataan tangentiaalisesti syklonin yläosaan pyörivään liikkeeseen ja epäpuhtaudet päätyvät syklonin seinämälle ja valuvat aina pohjalle. Puhdistunut kaasu imetään syklonin keskeltä ja se jatkaa matkaa prosessissa. Kaasusta irronnut materiaali ohjataan joko uudelleen kierrätettäväksi reaktoriin tai kerätään talteen. Syklonien erotuskyky on parhaimmillaan, kun savukaasuista erotaan suhteellisen suuria hiukkasia. (3.)

Sykloneita on mahdollista asentaa rinnakkain. Tätä kutsutaan multisykloniksi ja sillä saavutetaan parempi erotuskyky suuremman ilmavirran ansiosta.

3.3 Venturipesuri

Venturipesuri on tehokas menetelmä partikkeleiden poistamiseksi. Kaasuvirta ohjataan venturin kurkun läpi suurella virtausnopeudella ja kurkkuun suihkutetaan vettä suurina pisaroina. Pisarat hajoavat pienemmiksi kaasuvirran suuressa nopeudessa ja törmäävät kaasun sisältämiin partikkeleihin. Venturin kurkun jälkeen kaasu virtaa tilavuudeltaan suureen kammioon (väkevoijään), jolloin kaasun virtausnopeus sekä lämpötila pienenevät ja pisarat ja niiden sisältämä kiintoaine laskeutuu kammion pohjalle. Tehokkaimmillaan venturin avulla voidaan poistaa kaasuvirrasta myös kaasumaisia epäpuhtauksia, mutta kaasun suuresta virtausnopeudesta johtuen siitä aiheutuu suuri energiankulutus. (3.)

3.4 Imeytin

Imeytin on vastavirtaperiaatteella toimiva jakotasoin varustettu täytekappalekolonni. Imeytin koostuu neljästä reiällisestä välipohjilla toisistaan erotetuista vaipoista, jotka on täytetty täytekappaleilla. Vastavirtaperiaatteella toimivan imeyttimen pesunesteenä käytetään peittauksesta tulevaa huuhteluvettä, joka syötetään imeyttimen yläosasta täyskartiosuuttimen läpi täytekappalepatjan päälle mahdollisimman tasaisena kalvona.

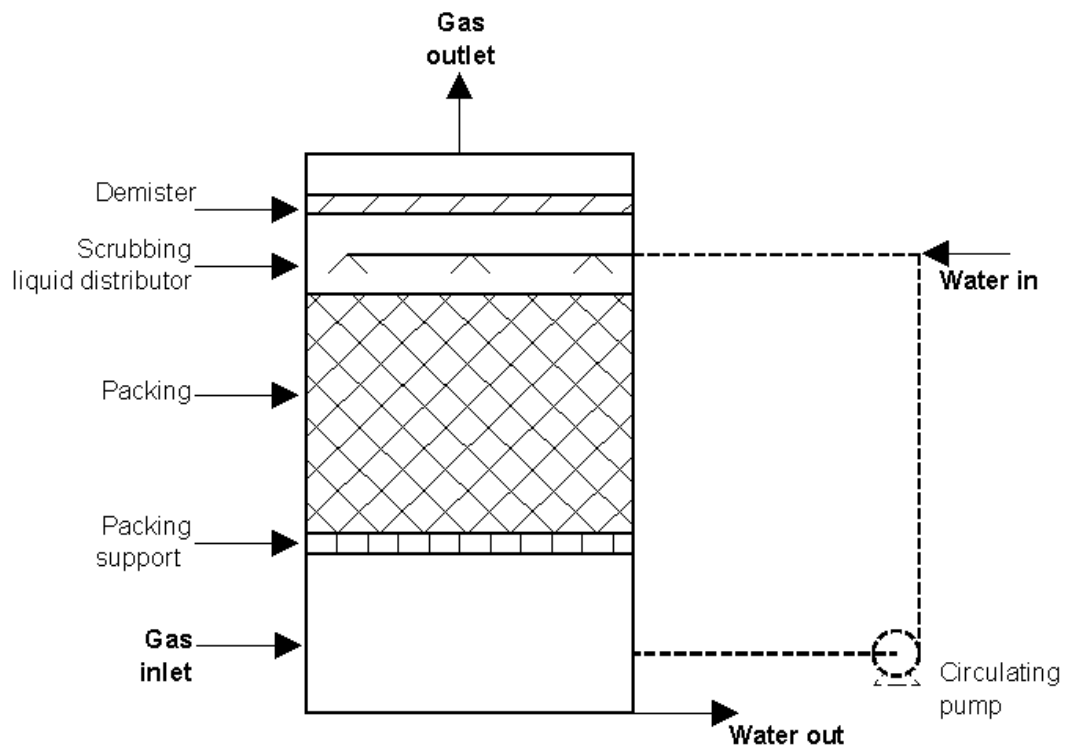
Imeyttimen toiminnan tehostamiseksi ja nestevirran kanavoitumisen estämisen parantamiseksi imeyttimeen on lisätty veden lisäsyöttö, mikä tasoittaa virtausta. Neste valuu täytekappaleiden pintoja pitkin alaspäin joutuen kosketukseen alhaalta ylöspäin virtaavaan kaasuun. (3.)

3.5 Savukaasupesurit

Savukaasupesureita on olemassa useita eri tyyppisiä ja niiden toiminta perustuu savukaasun pesemiseen joko vedellä tai pesunesteellä. Savukaasupesurissa savukaasun lämpötila laskee ja aine siirtyy kaasufaasista nestefaasiin. Pesureihin on mahdollista asentaa lämmöntalteenottojärjestelmiä, jotka parantavat prosessin hyötysuhdetta. Seuraavissa kappaleissa esitellään yleisimpiä teollisuudessa käytettäviä savukaasupesureita ja niiden tekniikoita.

3.5.1 Täytekappalepesuri

Täytekappalepesuri on eräänlainen savukaasupesuri, jossa savukaasua pestään runsaalla nestemäärällä. Pesurin sisällä on täytekappaleita tarvittava määrä yhdessä tai useammassa kerroksessa. Pesurissa pesuneste jaetaan tasaiseksi kalvoksi täytekappaleiden päälle, millä saavutetaan hyvä kontakti savukaasun ja pesunesteen välille. Vastavirtapesurissa savukaasut johdetaan kolonniin alhaalta ja pesuneste ylhäältä. Myötävirtapesurissa pesuneste ja savukaasu kulkevat samansuuntaisesti.



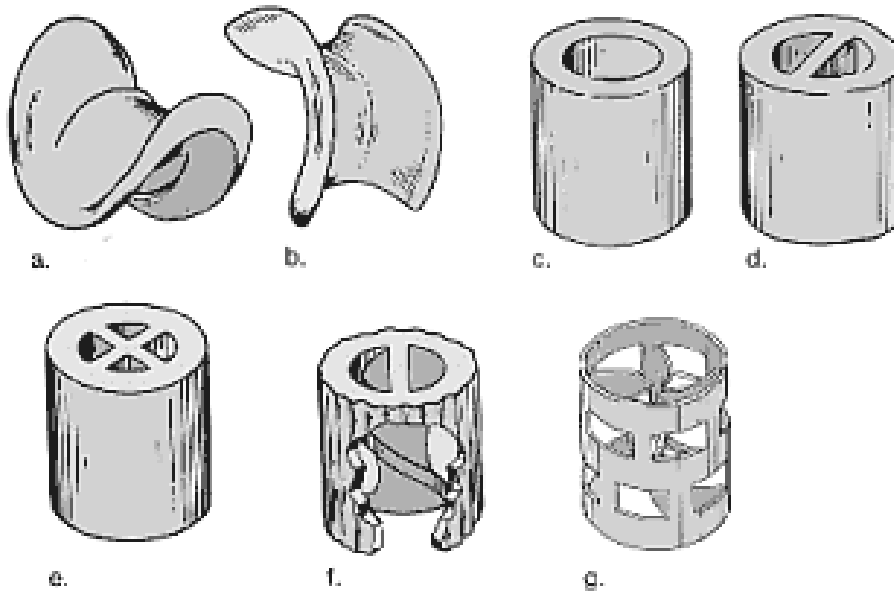
Kuva 2. Täytekappalepesuri (4).

3.5.2 Täytekappaleet

Täytekappaleiden tarkoitus on luoda savukaasupesurin sisälle samalla suuri pinta-ala ja säilyttää tilavuus suurena, jotta saadaan mahdollisimman tehokas aineensiirto savukaasujen ja pesunesteen välille. Täytekappaleet on mahdollista asentaa savukaasupesuriin kahdella tavalla: säännöllisesti tai epäsäännöllisesti.

Säännöllisesti pakatuissa pesureissa täytekappaleet on aseteltu tiettyyn muotoon. Säännöllisesti pakatut täytekappaleet luovat pesuriin kanavia, joten kapasiteetti on suurempi. Epäsäännöllisesti pakatuissa pesureissa täytekappaleet ovat vain kaadettu sisään ilman johdonmukaisuutta. Epäsäännöllisissä pesureissa on parempi hyötysuhde aineensiirron suhteen, koska kanavoituminen ei ole niin voimakasta kuin säännöllisesti pakatuissa pesureissa.

Täytekappaleita on olemassa useita erimuotoisia ja kokoisia. Yleisimmät käytössä olevat ovat renkaiden tai satuloiden muotoisia. Kuvassa 3. on erimuotoisia täytekappaleita.



Kuva 3. Savukaasupesurin täytekappaleita (5).

Täytekappaleiden materiaalin on oltava lämmönkestävää. Yleisin materiaali savukaasupesurien täytekappaleissa on muovi, mutta myös keraamisia ja metallisia on käytössä. Taulukossa 1 on listattu yleisimpien täytekappaleiden ominaisuuksia.

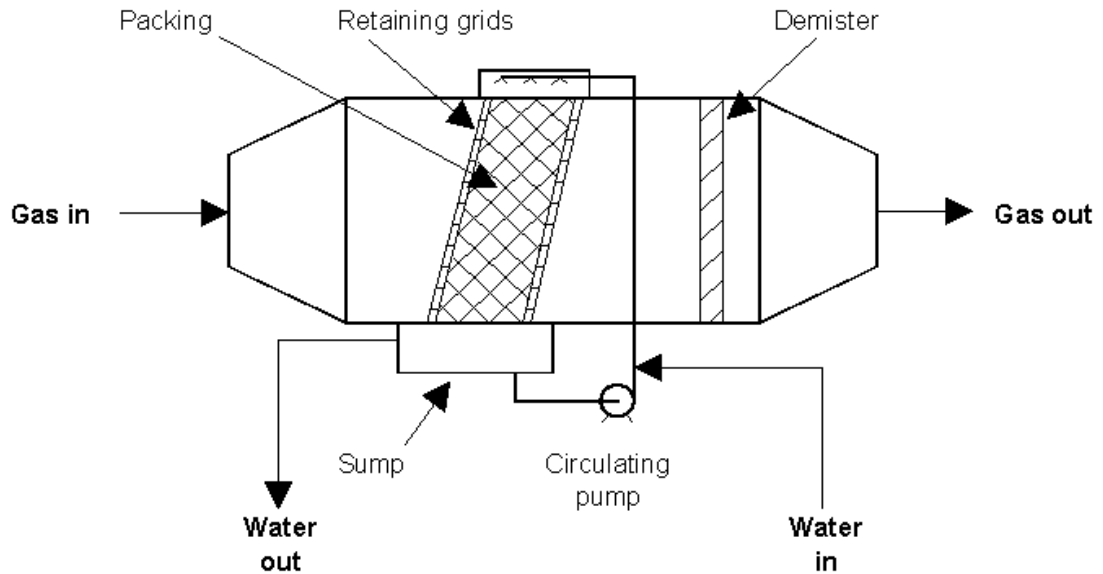
Taulukko 1. Täytekappaleiden ominaisuuksia (6).

Täytekappale	Raschin-rengas keraaminen	Pall-rengas muovinen	K-rengas metallinen
Halkaisija mm	25 * 25 * 3	25 * 25 * 1	25 * 0,5
	50 * 50 * 6	50 * 50 * 1	50 * 0,8
Pinta-ala m ² /m ³	190	206	210
	92	103	100
Puhdistusaste	0,73	0,9	0,95
	0,74	0,92	0,96

3.5.3 Vaakasuora savukaasupesuri

Vaakasuoraan aseteltu savukaasupesuri on tekniikaltaan kuin täytekappalepesuri, mutta kaasu virtaa vaakatasossa pystysuoran sijaan. Vesi virtaa alaspäin painovoiman avulla ja sitä kierrätetään takaisin ylös pumpun avulla.

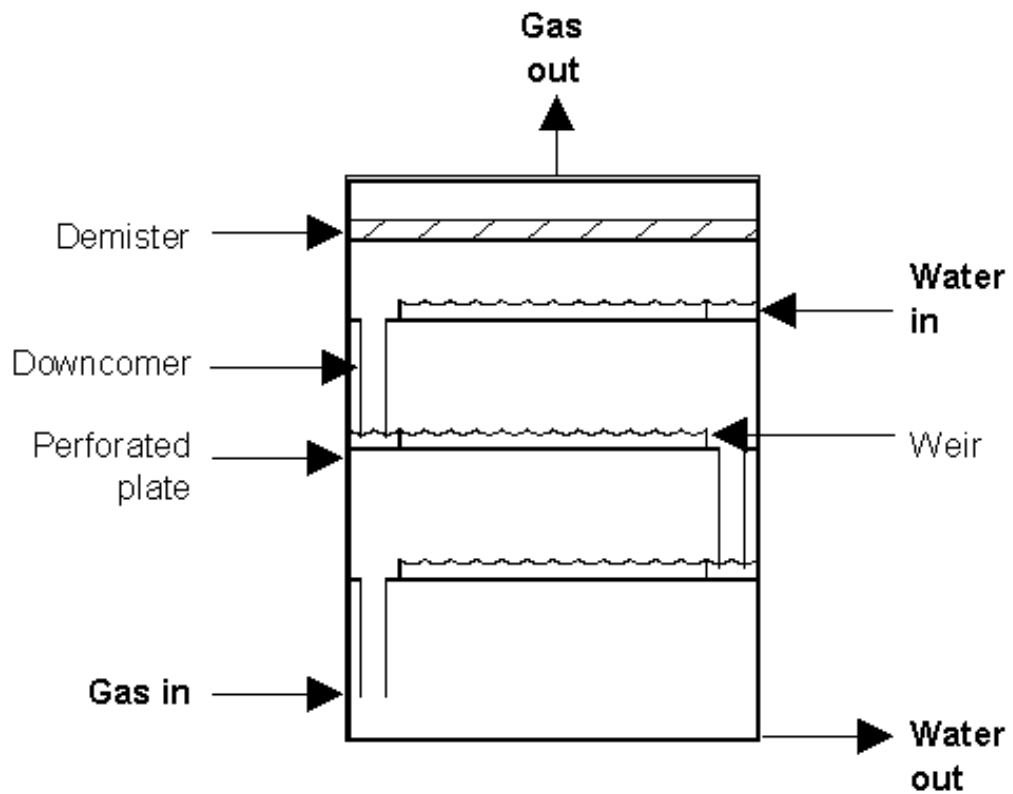
Näissä pesureissa on samat edut ja haitat kuin pystyyn asennetuissa tätekappalepesureissa, mutta ne eivät ole tehoiltaan yhtä hyviä ja siksi ei niin yleisiä. Suurin hyöty on matala korkeus ja niin edelleen hyvä sijoitettavuus ahtaisiin paikkoihin. (4.)



Kuva 4. Vaakasuoran savukaasupesurin toiminta (4).

3.5.4 Levypesuri

Levypesuri on profiililtaan ja tarkoitukseltaan sama kuin tätekappalepesuri. Neste – kaasu kontakti saavutetaan rei'itettyjen levyjen kautta. Levyt ovat muovia, jotka ovat täynnä pieniä reikiä. Kun ilma kulkee näiden reikien läpi suurella virtausnopeudella, se estää veden putoamasta reikien läpi ja muodostaa turbulenttisen vesi-ilma-seoksen levyille. Veden syvyyttä levyillä ohjataan padoilla. Vettä lisättäessä se tulvii padon yli alemmille tasoille ja aina pesurin pohjalle uudelleen kierrätettäväksi. Levypesureita käytetään prosesseissa, jotka eivät ole jatkuvatoimisia ja joissa virtaukset ovat pieniä ja tasaisia. (4.)



Kuva 5. Levyvesuri (4).

3.6 Savukaasupuhallin

Savukaasupuhallin toimii dynaamisen erottimen tapaan, mikä perustuu pyörivien siipien aiheuttamaan keskipakovoimaan. Partikkeleihin vaikuttava voima on dynaamisessa erottimessa noin seitsemän kertaa suurempi kuin samankokoisessa syklonissa. Dynaamista erotinta voidaan käyttää samaan aikaan kiintoaineen erottajana ja savukaasupuhaltimena. (3.)

Elvyttämöllä savukaasupuhallinta ennen savukaasuun sumutetaan peittauksesta tulevaa huuhteluvettä, jota säädetään venttiilillä. Savukaasupuhaltimella ei voi käsitellä suuria määriä kosteita tai kuitumaisia partikkeleita sisältäviä kaasuvirtoja, sillä ne voisivat tarttua puhaltimen siipiin. Savukaasupuhaltimen päätarkoitus elvyttämöllä onkin pitää reaktori ja prosessi alipaineistettuna.

3.7 Sähkösuodatin

Sähkösuodattimet ovat yleinen tapa erottaa hiukkasia savukaasuista ja niitä käytetään erityisesti energia- ja prosessiteollisuudessa. Hämeenlinnan tehtaan elvytyslaitoksella ei ole käytössä sähkösuodatinta suuren happopitoisuuden vuoksi.

Sähkösuodattimilla on kohtalainen erotuskyky pienille hiukkasille (alle 1 µm) ja ne soveltuvat korkeisiin hiukkaspitoisuuksiin. Sähkösuodatin sopii myös kostealle kaasulle, jolloin sitä kutsutaan nimellä märkä sähkösuodatin. Sähkösuodattimien hiukkaserotuskyky voi olla yli 99 %:n luokkaa. Suurkapasiteettisten sähkösuodattimien heikkous on investointikustannukset, jotka voivat nousta miljooniin. (7.)

Sähkösuodattimien toiminta perustuu hiukkasten sähkövaraukseen. Suodattimeen tuleva kaasu varataan koronapurkauksella, joka syntyy korkeajännitteisen elektrodilangan ja maadoitetun levyn tai putken välille. Elektrodien välissä kulkeva kaasu ionisoi- tuu ja kaasun sisältämät hiukkaset varautuvat kaasuionien törmätessä niihin. Varautuneet hiukkaset kerätään koronapurkaus kentässä tai niille tehdyssä erillisessä keräysosassa. Keräyslevyihin tarttuneet hiukkaset irrotetaan joko ravistamalla tai pesemällä levyt. (8.)

Koronapurkauksen luomiseen käytetään joko positiivista tai negatiivista jännitettä. Negatiivinen koronajännite sallii suuret jännitteet ja koronavirrat ja onkin käytössä teollisissa sovelluksissa. Positiivinen koronajännite sopii sisäkäyttöön tarkoitetuille ja pienemmille sähkösuodattimille. (8.)

4 ELVYTTÄMÖ 4:N SAVUKAASUPESURI

4.1 Tavoitteet

Edellinen savukaasupesuri oli rikkoutunut ja sen puhdistusaste suolahapolle oli toimitajan antamien tietojen mukaan 94 %, mikä BAT:n mukaan tulisi olla suolahapolle 98 %. Viime vuosien aikana elvyttämö 4:llä on ollut vaikeuksia alittaa suolahappo- ja hiukkaspäästöjä.

Kesällä uusitulla savukaasupesurilla varmistetaan Ferrous Metals Processing BREF:n BAT:n mukaiset päästötasot. Ruukin toimittajalle asettamat pesurin jälkeiset poistokaasujen takuuarvot ovat:

- HCl-pitoisuus (kuiva) alle 10 mg/Nm³
- Hiukkaspitoisuus (kostea) alle 20 mg/Nm³
- Puhdistusaste HCl-pitoisuus (kuiva) >98 %

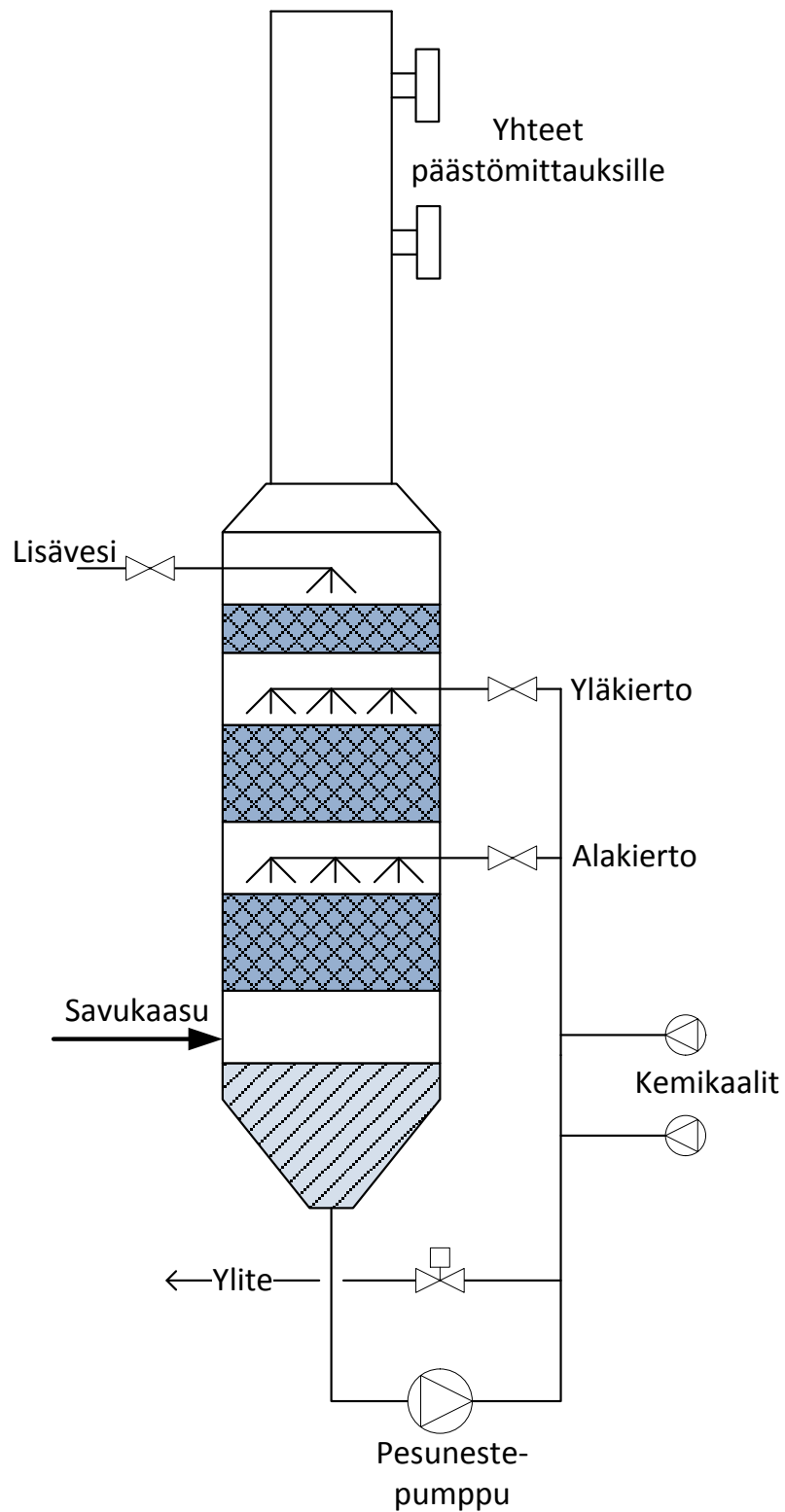
Päätavoitteena on turvata Hämeenlinnan tehtaan peittauslinjalle regeneroitavan suolahapon saanti useiksi vuosiksi nykyisellä tuotantovolyyymillä, sekä mahdollisen lisäantävän käytön myötä uusittujen laitteiden turvallinen ja tehokas käyttö minimaalisilla päästöillä. Savukaasupesurin tekniikka riittää hyvin nykyisen ympäristöluvan luparajojen alle pääsemiseksi ja se täyttää myös nykyisen Ferrous Metals Processing BREF:n vaatimukset.

4.2 Tekninen kuvaus

Elvyttämö 4:n savukaasupesuri on epäsäännöllisesti täytekappaleilla pakattu täytekappalepesuri, joka on tarkoitettu kaasumaisten epäpuhtauksien poistamiseen ilmasta. Pesurissa on kolme täytekappalepatjaa, joista ylin toimii pisaranerottimeksi. Pesurissa kierrätetään pesunestettä kiertovesipumpulla täytepatjojen yläpuolella oleviin suuttimiin, jotka jakavat nesteen tasaisena kalvona täytepatjojen päälle. Neste valuu täytepatjoissa ilmapirtta vasten aina takaisin nestealtaaseen ja uudelleen kierto. Pesuria on havainnollistettu kuvassa 6.

Täytekappalepesurin puhdistusasteeksi valmistajan antamien tietojen, sekä virallisissa mittauksissa saatujen tulosten mukaan on 98 – 100 %. Savukaasujen lämpötila pesuriin tullessa on 85 °C ja savukaasun luovuttaman lämpötilan oletetaan siirtyvän kokonaan nesteeseen.

Pesuneste koostuu veden lisäksi kemikaaleista, joiden tarkoituksena on reagoida savukaasusta pesunesteeseen absorboituneiden suolahappo-molekyylien kanssa. Kemikaalien annostelua pesunesteeseen ohjataan vesikierron pH-arvon ja hapetus-pelkistymispotentiaalin (redoxpotentiaalin) avulla.



Kuva 6. Elvyttämö 4:n savukaasupesuri.

Savukaasupesuri on muodoltaan pystysuora lujitemuovista rakennettu lieriösäiliö. Pesurissa käytettävien kemikaalien ja suolahapon takia pesurin sisäpinta on vuorattu Halarin 2,3 mm:n happoja kestäväällä pinnoituksella. (9.) Taulukossa 2 savukaasupesurin tekniset tiedot.

Taulukko 2. Elvyttämö 4:n savukaasupesuri (9).

Savukaasupesuri	
Korkeus	11,4 m
Halkaisija	11,8 m
Lämpötila	n. 85 °C
Painehäviö	n. 10 mbar
Teoreettinen kaasumäärä	15.000 m ³ /h
Täytekappale kerrokset	
Savukaasun pesupatjat	Telpac 2", Määrä 2 x 8,5 m ³
Pisaranerotuspatja	Telpac 1", Määrä 4,5 m ³
Savupiippu	
Korkeus	17,3 m
Halkaisija	1,1 m
Lämpötila	n. 60 °C

Elvyttämö 4:n savukaasupesurissa käytetään Telpac täytekappaleita. Telpac on polypropeenista valmistettu täytekappale, jossa yhdistyy aineen- ja energiasiirron tehokkuus ja prosessin painehäviö pysyy matalana. Telpacin tehokkuus perustuu suureen ja aktiiviseen pinta-alaan kaasun ja nesteen välillä. Täytekappaleiden muotoilu ja rakenne sallivat vain pienen hallitun sisään lomituksen siten, että nestepisaroiden liikkuminen ja uudelleenmuodostuminen varmistavat aina uuden pintakerroksen, jolla on paras reaktiokyky ja aineensiirto-ominaisuus. Telpacin ansiosta aktiivinen pinta-ala on

tasaisesti levitetty koko täytekappalepetiin. Näin vältetään siltä, että pesuriin ei synny tehottomia alueita eikä kanavoitumista. Taulukossa 3 on Telpac täytekappaleiden fyysikaalisia ominaisuuksia. (10.)

Taulukko 3. Telpac täytekappaleiden ominaisuuksia (10).

Täytekappale	Telpac 1”	Telpac 2”	Telpac 4”
Ulkohalkaisija (mm)	45	68	152
Kierukan halkaisija (mm)	18	28	61
Paino (kg/m ³)	64	57	21,5
Pinta-ala (m ² /m ³)	201	120	50
Lukumäärä (kpl/m ³)	27 000	8 500	720
Vapaa tilavuus (%)	92,5	93,7	97,7



Kuva 7. Telpac täytekappaleita (10).

4.3 Automaatio

Uuden pesurin laitteet on liitetty olemassa olleeseen automaatioon, jolla on oma logiikka elvyttämön valvomojärjestelmässä. Valvomo-ohjelmistona käytetään jo olemassa ollutta InTouch ohjelmistoa, jonka tarvittavat ohjaus- ja valvontasivut hälytyksineen on modifioitu vastaamaan uuden pesurin tarpeita.

4.4 Ajoarvot

Valvomosta ohjattavat ja mitattavat savukaasupesurin parametrit:

- Pesunesteen pH
- Pesunesteen redoxpotentiaali
- Pesurin pinnan korkeus
- Neutralointiin menevä ylite

Valvomosta mitattavat ja kentältä aseteltavat savukaasupesurin parametrit:

- Pesunestepumpun kierrokset ja paine
- Pesunestesuuttimien virtaus
- Lisäveden määrä

Kaikista edeltä mainituista parametreista on saatavilla mittaustieto valvomosta. Savukaasupesurin pesunesteen virtausta ja lisäveden määrää säädetään kentältä käsiventtiileillä, sekä pesunestepumpun kierroksia taajuusmuuttajalta. Putkien virtaus ja pumpun kierrokset vaikuttavat suoraan putkistossa vallitsevaan paineeseen.

4.5 Savukaasupesurin pesuneste

Pesukemikaalit pumpataan savukaasupesurin vesikiertoon omilla pumpuilla ja niille on omat säiliöt, annosventtiilit ja ylikuormitusmekanismit pumppujen toiminnan varmistamiseksi. Kemikaalien lisäys pesunesteeseen tapahtuu pesuveden pH:n ja redoxpotentiaalın asetusarvon mukaan. Kemikaalipumput toimivat syrjäytysperiaatteella ja kemikaalien syöttöä pesunesteeseen säädetään pumpun iskunpituuden ja iskutehon

avulla. Syötettävän kemikaalin vahvuutta voidaan muuttaa tarvittaessa, mutta se pyritään pitämään samana. Tarkoituksena on, että kemikaalien kulutus saadaan stabiiliksi ja järkevälle tasolle.

Pesuneste koostuu vedestä, natriumhydroksidista ja natriumtiosulfaatista. Pesuriin ajettavien kemikaalien pitoisuudet normaalitilassa ovat noin 5 % NaOH/l ja 2,6 % Na₂S₂O₃/l.(6.) Kemikaalien syöttö tapahtuu pH- ja redox-anturien automaattiohjauksella valvomosta käsin. Kemikaalien annostelussa pesunesteen antureiden toiminta on välttämätöntä, jotta pesurin ajoarvoja voidaan pitää automaattiohjauksella ja päästöu-loksia voidaan analysoida oikein. Pesukemikaalit laimennetaan ennen niiden pump-paamista, jotta päästään suurempiin annostelumääriin ja hyödyntämään kierrätyspum-pun käyttöalue tehokkaaseen ja tarkkaan käyttöön.

4.5.1 NaOH

Natriumhydroksidin, arkikielessä lipeä, tarkoitus pesunesteessä on toimia liuottimena ja neutraloida pesuneste. NaOH laskee myös nesteen pintajännitystä, minkä ansiosta pölyhiukkasten aineensierro kaasusta nesteeseen helpottuu. 1000 litran sekoitussäili-össä NaOH ja vesi sekoitetaan ja ne liukenevat keskenään. Sekoittamisella pyritään estämään nesteen saostuminen säiliössä, putkistossa ja pesusuuttimilla.

4.5.2 Na₂S₂O₃

Natriumtiosulfaatin reaktio savukaasujen ja pesunesteen välillä on redoxreaktio, eli hapetus-pelkistysreaktio. Reaktion tehokkuutta mitataan redoxpotentiaalilla ja sen las-kiessa nesteessä savukaasun kloridin aineensierroprosessi nesteeseen nopeutuu. Tämä reaktio huomataan nesteen pH:n laskuna ja natriumhydroksidin kulutuksen nousuna.
(1.)

Natriumtiosulfaatin 1000 litran säiliö on myös varustettu sekoittimella, jolla varmistetaan sen liukeneminen veteen. Tehtaalle natriumtiosulfaatti saapuu 25 kg:n säkeissä ja sen annostelu veteen tehdään käsin.

4.5.3 pH

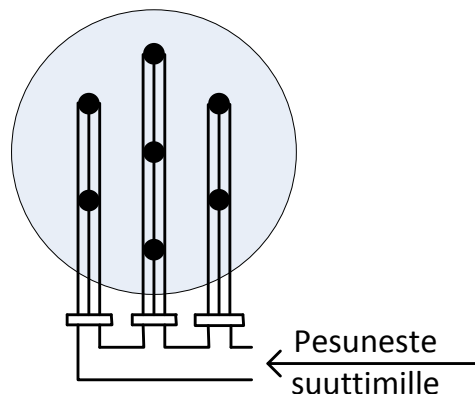
pH on liuoksen happamuutta kuvaava luku. Pesunesteen pH:ta säädetään natriumhydroksidin avulla, josta kerrottiin aikaisemmin. Kierrätettävän pesunesteen pH ei saa nousta liian korkeaksi, ettei pesuneste ala vaahdota. Pesunesteen vaahtoaminen heikentää pesurin absorptiokykyä huomattavasti ja voi vahingoittaa pesunestepumppua. Liian hapan ei myöskään ole hyvä laitteiden ja päästöjen kannalta, joten pesuneste pyritään pitämään neutraalin tuntumassa.

4.5.4 Redoxpotentiaali

Redoxpotentiaali tarkoittaa hapetus-pelkityskykyä. Pesunesteen redoxpotentiaalin kasvaessa neste on pelkistävää ja potentiaalin laskiessa neste on hapettavaa. Pesunesteen redoxpotentiaalin ollessa negatiivisena, sillä on taipumus ottaa suolahappoelektroneja vastaan, ja näin puhdistaa savukaasua.(1.) Mittauksissa tutkittiin pesunesteen redoxpotentiaalin vaikutus päästöihin sen ollessa negatiivisena ja positiivisena. Redoxpotentiaalia mitataan jännitteenyksikkönä, millivolteina.

4.5.5 Pesunesteen virtausmäärät ja pesunestepumppu

Savukaasupesuriin kulkeva pesuneste suihkutetaan vanhaan pesuriin poiketen kahdesta eri korkeudesta yhden sijaan. Linjojen virtauksia säädetään käsiventtiileillä. Molemmissa linjoissa on kolme putkea ja yhteensä seitsemän suutinta.



Kuva 8. Savukaasupesurin suuttimien sijoitus

Savukaasupesuriin kulkevaa pesunestettä kierrätetään pesunestepumpulla. Pesunestepumppu on varustettu taajuusmuuttajalla, jolla säädetään sen kierroslukumäärää. Pumpun lähtöpaine on oltava vähintään 1,5 bar pumpun ja suuttimien korkeuseron ja niiden vaatiman paineen vuoksi. Uuden savukaasupesurin pesunesteen tarvitsemää kierrotomäärää ei tiedetty ennen mittausten aloittamista.

4.5.6 Lisävesi

Lisävesi suihkutetaan savukaasupesuriin ylhäältä pisananerotuspatjan päälle ja sen määrää säädetään käsiventtiilillä. Lisävesi ei ole savukaasupesurin pesunestettä, vaan laitoksessa käytettävää prosessivettä, joka on hiekkasuodatettua järvivettä.

5 MITTAUSSUUNNITELMA

Tarkoituksena on löytää uudelle savukaasupesurille optimaaliset ajoarvot HCl-päästöjen minimoimiseksi ja selvittää, miten päästöarvot reagoivat eri ajoarvojen muutoksiin. Myös kemikaalien käyttäytymistä eri tilanteissa seurataan. Uutta savukaasupesuria on ajettu vanhan savukaasupesurin ajoarvoilla ja huomattu, että ne eivät ole optimaaliset. Vaadittaviin raja-arvoihin pääseminen ei ole ongelma, vaan selvitys siitä, miten pesuri käyttäytyy eri ajoarvoilla. Ajoarvoja lähdettiin muuttamaan yksi parametri kerrallaan. Tällä vältyttiin päällekkäisistä vaikutuksista ja toimintaa oli selkeämpi havainnoida. Nykyisen ympäristöluvan raja-arvo suolahappopäästölle on 35 mg/Nm³.

Opinnäytetyössä tehtyjen mittausten aikana muu tuotantoprosessi pyrittiin pitämään aina samana, jotta siitä aiheutuvien vaikutusten määrä oli minimaalinen (taulukko 4). Myös tuotannon määrää ja laatua seurattiin. Prosessin ajokuvasta otettiin mittausten aikana useita tulosteita ja kirjattiin ylös mahdollisia päästötuloksiin vaikuttavia tapah- tumia.

Taulukko 4. Elvyttämö 4:n prosessi

Reaktori	
Hapon syöttö	5 bar, 2,4 m ³ /h

Keskiosan lämpötila	700 °C
Yläosan lämpötila	400 °C
Lambda	1,25
Muu prosessi	
Elvytetyn hapon vahvuus	19 – 20 %
Väkevöijän kierrätys	20 – 25 m ³ /h
Välisyöttö imeyttimeen	500 – 600 l/h
Poistopuhaltimen vesi	900 – 1000 l/h
Pesurin lisävesi	1,5 – 1,7 m ³ /h

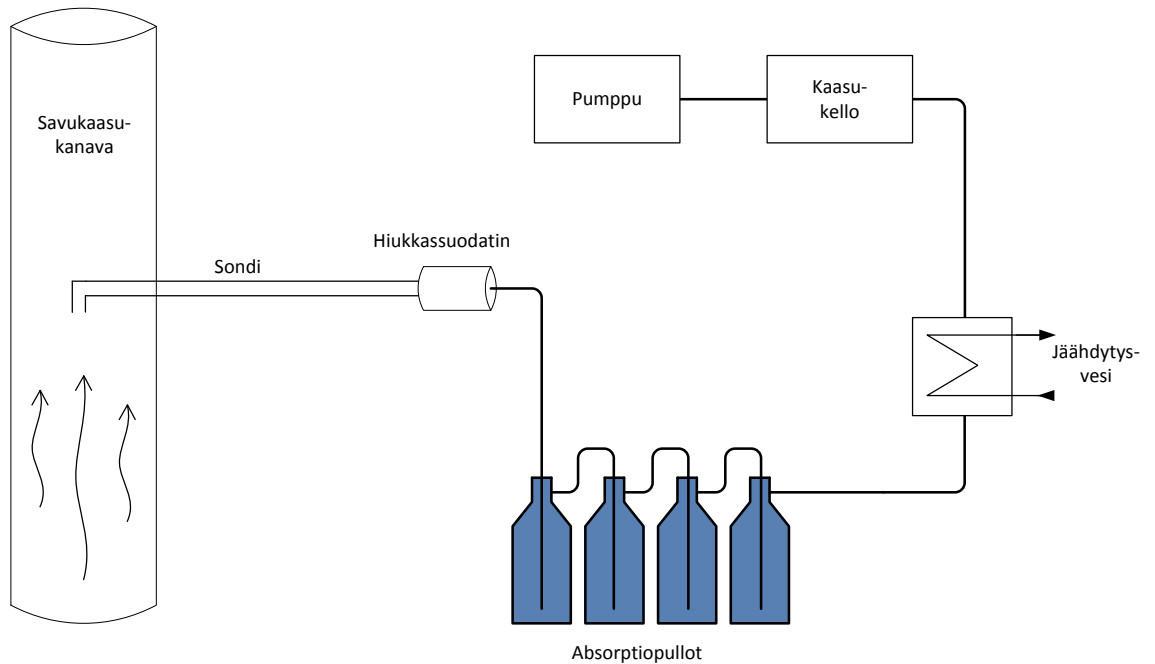
5.1 Mittalaitteet

Savukaasumittauksiin käytettiin Ruukin omaa näytteenottolaitteistoa Metlab STL mini. Laitteistolla imetään savukaasua pumpun avulla savupiipusta näytteenottosondilla. Sondiin on merkitty viivoilla merkit, joiden avulla piipusta imetään kahdesta eri syvyydestä 15 min otokset. Sondi lämmitetään sähköisesti noin 200 °C:een mittauksen aikana. Näytteenottosondin kautta imetty savukaasu imeytetään neljän absorptiopullon läpi, joissa on kaikissa 150 ml täyssuolatonta vettä.

Täyssuolaton vesi on puhdasta ja täten aggressiivista vettä, joka imee itseensä epäpuhtauksia ympäristöstä luonnostaan, tässä tapauksessa savukaasuista. Absorptiopullojen jälkeen savukaasu kulkee jäähdyttimeen, jonka tarkoitus on poistaa savukaasusta kondenssivettä sen jäähtyessä. Kosteasta savukaasusta on tärkeää poistaa kondenssia, sillä se voisi ruostuttaa kaasukellon venttiilejä ja herkkiä mitta-antureita, sekä pumpun metalliosia. Jäähdyttimeltä savukaasu ohjataan kaasukelloon, joka laskee savukaasun virtausmäärän ja lämpötilan. Kaasukellon läpi kulkevan kaasun virtausmäärä säädetään

käsiventtiilin ja virtausmittarin avulla. Mittauksissa pyrittiin aina samaan virtausnopeuteen 7 l/min – 210 l/mittauskerta. Laitteiston toiminta on kuvattu kuvassa 7.

Mittaustapahtuma on yksinkertaistettu SFS-EN-1911 standardi mittaus, jolla päästään desimaalien läheisyyteen verrattuna viralliseen ulkopuolisen suorittamaan standardi mittaukseen. Mittauspäivän aikana tehdään 2 * 15 min mittauskertoja vähintään kolme. Mittauskertoja tehdään useampi epäonnistumisien ja vertailujen vuoksi.



Kuva 9. Savukaasupäästöjen näytteenottolaitteisto.

Päästömittauksen päätyttyä absorptiopullot toimitetaan Hämeenlinnan tehtaan omaan laboratorioon tutkittavaksi ja Cl-pitoisuudet saapuvat takaisin muodossa mg Cl/l. Esimerkki Cl-tuloksista taulukossa 5.

Taulukko 5. Laboratorion tulokset

Näytepullo	Cl pitoisuus
Cl 1	0,741 mg/l
Cl 2	0,619 mg/l
Cl 3	0,750 mg/l

5.2 Absorptioiden jälkeiset yhtälöt

Kappaleessa on esitetty kaavat, kuinka laboratoriosta saaduista näytepullojen Cl-pitoisuuksista saadaan suolahapon osuus laitoksen päästöistä (1) sekä kuinka imetty kaasumäärä lasketaan teoreettisesti (2). Opinnäytetyössä laskut tehtiin jo valmiille Ruukin Excel-laskentapohjalle, joka ilmoittaa savukaasun suolahappopitoisuuden. Laskukaavat ovat standardien SFS-EN-15259 ja SFS-EN-1911 mukaiset.

$$C_{HCl} = C_{Cl} * \frac{M_{HCl}}{M_{Cl}} = \frac{m_{Cl}}{V_{std}} * \frac{M_{HCl}}{M_{Cl}} \quad (1)$$

,jossa

$$V_{std} = V_{T,P} * \frac{T_{std}}{T} * \frac{P}{P_{std}} \quad (2)$$

C_{HCl}	Suolahapon massakonsentraatio standardi olosuhteissa [mg HCl / m ³]
C_{Cl}	Kloridin massakonsentraatio standardi olosuhteissa [mg Cl / m ³]
m_{Cl}	Kloridin massakonsentraatio absorptiopulloista [mg Cl / m ³]
V_{std}	Imetyn kaasun tilavuus standardi olosuhteissa [m ³]
M_{HCl}	Suolahapon moolimassa [g / mol]
M_{Cl}	Kloridin moolimassa [g / mol]
T	Mitatun kaasun lämpötila [K]
T_{std}	Standardi ilmanlämpötila [273 K]
P	Absoluuttinen paine kaasukellossa [kPa]
P_{std}	Standardi ilmanpaine [101,325 kPa]
$V_{T,P}$	Imetty kaasumäärä [m ³] (11.)

5.3 pH-mittaukset kentällä

Pesunesteen pH-arvoa mitataan savukaasupesuriin menevästä putkesta ja sitä seurataan valvomosta. pH-arvoa on myös mitattava savukaasupesurin jälkeen, kun pesuneste on kulkenut savukaasupesurin läpi. Mittaus tehdään laitoksen pohjakerroksesta, savukaasupesurin pumppua ennen olevasta näytteenotto-kanavasta. pH-mittaus tehdään kannettavalla pH-mittarilla. Mittari on tärkeä pitää neutraalissa nesteessä, kun sitä ei käytetä, jotta vältetään anturin kuivumiselta ja kalibrointia ei tarvitse suorittaa niin usein.

5.4 Suolahapon titraus

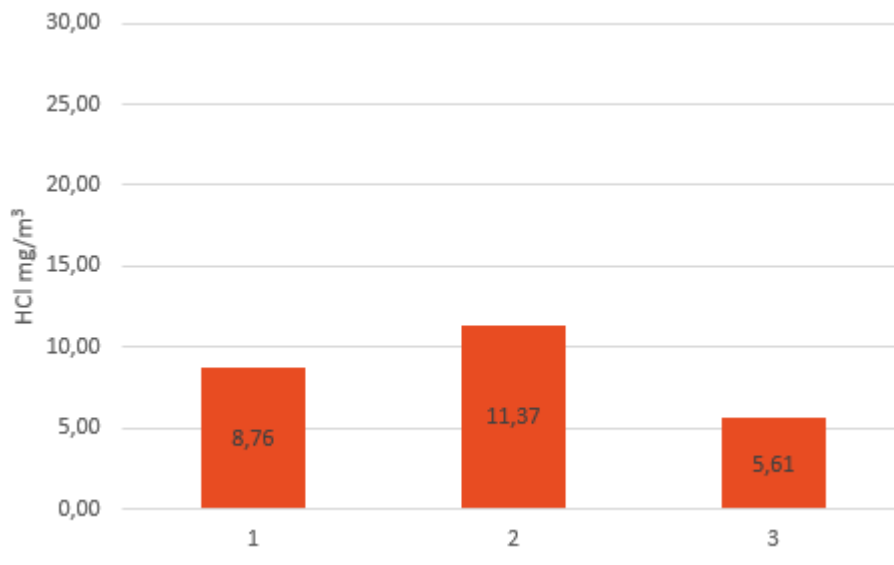
Suolahapon vahvuutta mitataan valvomon näyttökaaviosta. Prosessin ollessa happoajolla, suolahapon vahvuus mitataan kerran työvuorossa käsin titraamalla vahvuuden ja antureiden toiminnan varmistamiseksi.

6 PÄÄSTÖTULOKSET JA ANALYSOINTI

6.1 Ensimmäinen koeajo

Savukaasujen HCl-pitoisuudet on esitetty muodossa mg/Nm³ kuivassa kaasussa. Savukaasupesurin ensimmäisen koeajon aikana lähdettiin kokeilemaan pesunesteen virtauksen vaikutusta päästöihin ja kuinka kemikaalien annostus reagoi eri putkistopaineissa. Ajoarvot lähdettäessä tekemään ensimmäistä mittausta:

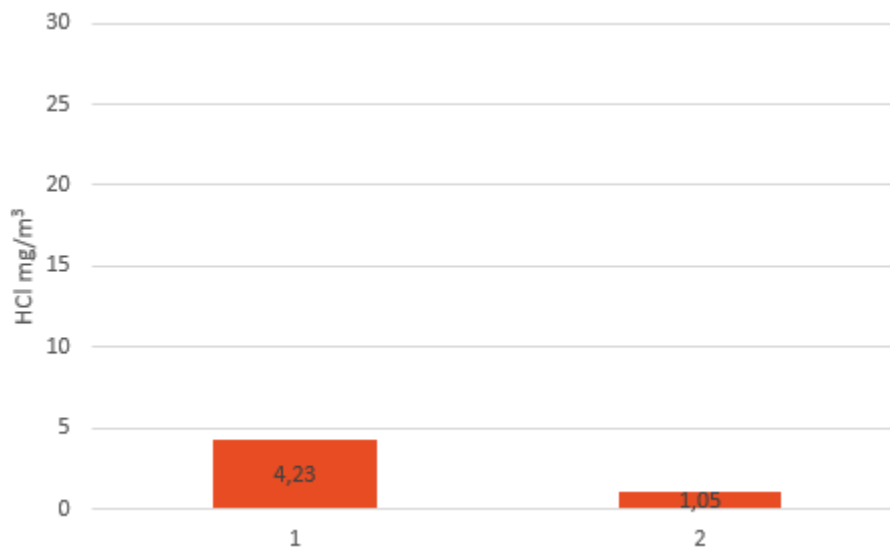
- Ylävirtaus n. 10 m³/h
- Alavirtaus n. 30 m³/h
- Paine 1.4 bar
- pH asetusarvo 7.5
- Redox asetusarvo -50 mV



Kuva 10. HCl-pitoisuudet 30.10.2013

Toisessa mittauksessa pumpun kierroksia nostettiin 2600 rpm, josta seurasi paineen nousu putkistossa 2,3 bar:iin. Virtauksissa pyrittiin saamaan yläsuuttimilta enemmän tai ainakin saman verran kuin alasuuttimilta. pH ja redox olivat samat kuin ensimmäisellä mittauksella.

Tulokset vaikuttivat aluksi lupaavilta. Vuorokauden kuluessa huomattiin natriumtiosulfaatin kulutuksen suuri kasvaminen ja virtausten hiipuminen. Suuri putkiston ja suuttimien paine sai pesunesteen kemikaalit sakkaamaan, mikä näkyi prosessissa vasta myöhemmin. Pumpun kierroksia laskettiin 2200:een kierrokseen minuutissa, josta seurasi paineen laskeminen 1,7 bariin. Kemikaalit rauhoittuivat ja kierrokset sekä virtaukset päätettiin jättää näille asetuksille.

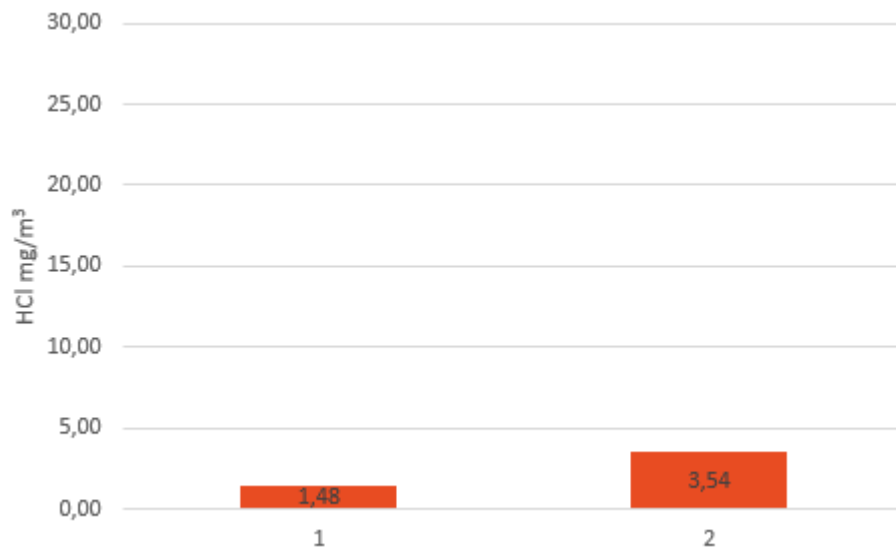


Kuva 11. HCl-pitoisuudet 31.10.2013

6.2 Toinen koeajo

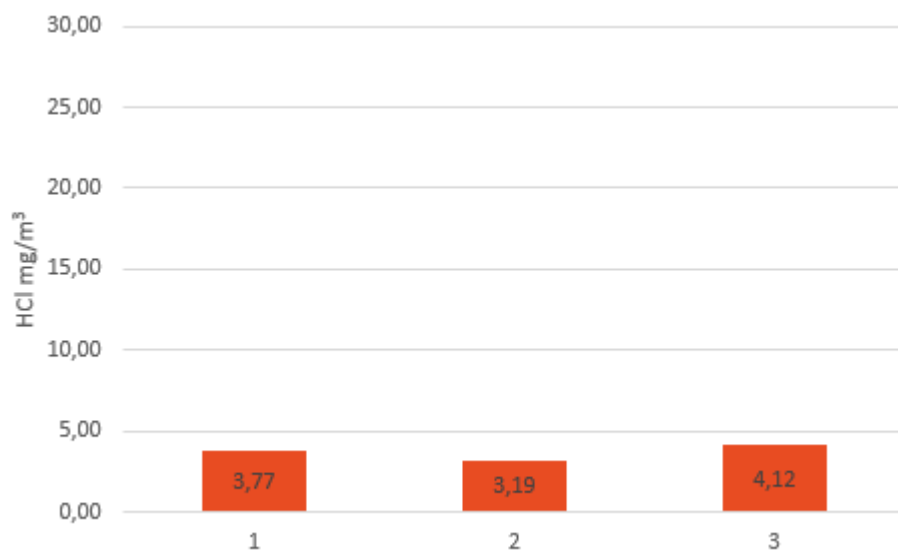
Toisessa koeajossa tutkittiin pesunesteen redoxpotentiaalin vaikutusta päästöihin. Ensimmäisessä mittauksessa laskettiin redox -50 mV:sta -100 mV:iin, josta sitä lähdettiin nostamaan mittausten edetessä.

- Ylävirtaus n. 15 m³/h
- Alavirtaus n. 25 m³/h
- Paine 1.7 bar
- pH asetusarvo 8
- Redox asetusarvo -100 mV



Kuva 12. HCl-pitoisuudet 5.11.2013

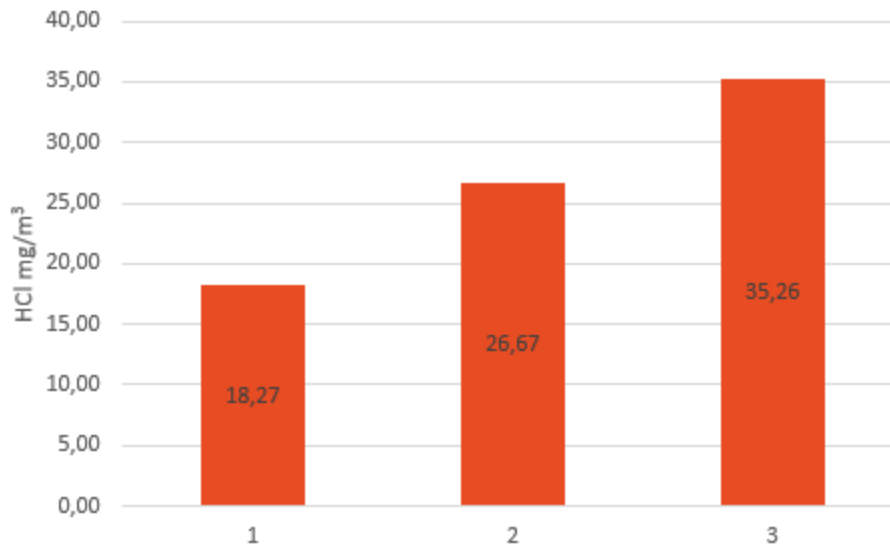
Toisessa mittauksessa pesunesteen redoxpotentiaali asetettiin 0 mV:iin. HCl-päästöt nousivat vain hieman muutoksesta. Päästöjen laskiessa näin matalille tasoille, pienet virheet mittauksissa ja titrauksessa voivat näkyä kymmenien prosenttien nousuna tai laskuna.



Kuva 13. HCl-pitoisuudet 6.11.2013

Toisen koeajon viimeisellä mittauskerralla redoxpotentiaalın arvo asetettiin 100 mV:iin. Jo mittausvaiheessa huomattiin kloorin haju absorptiopulloissa ja oli oletetta-

vissa korkeita HCl-pitoisuuksia. On selvää, että savukaasun pesuneste absorboi suolahappoa huomattavasti paremmin, kun pesunesteen redoxpotentiaali on negatiivinen. Savukaasupesurin redox asetusarvoksi asetetaan -100 mV ennen pH-arvon säätöä.



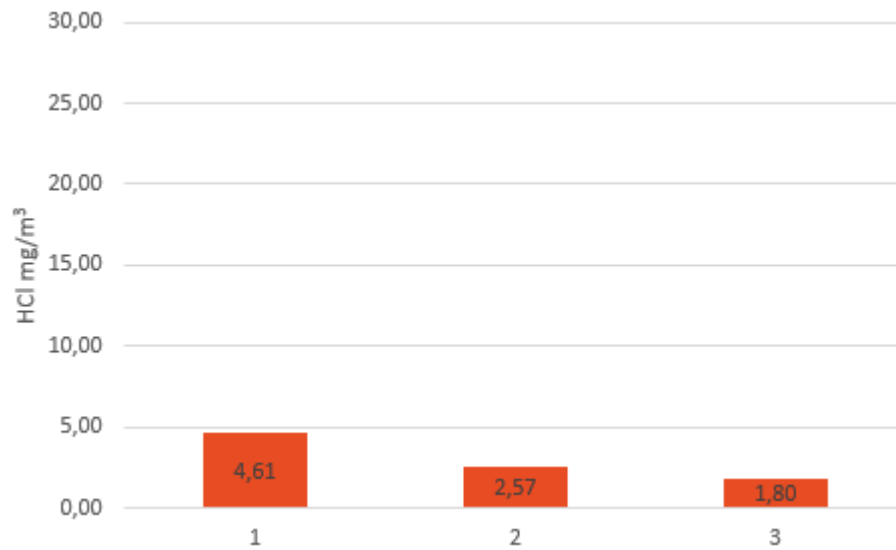
Kuva 14. HCl-pitoisuudet 12.11.2013

6.3 Kolmas koeajo

Kolmannessa vaiheessa lähdettiin muuttamaan pesunesteen pH-arvoa. Lähtötietona oli, että pH:n ollessa pesunestepumpulla 9,5 pesuneste sakkaa putkistossa. Tarkoituksena on löytää optimaalinen pH-arvo, millä päästöt olisivat ihanteelliset ja pesuneste olisi neutraalin tuntumassa pesunestepumpulla.

- Ylävirtaus n. 15 m³/h
- Alavirtaus n. 25 m³/h
- Paine 1.7 bar
- pH asetusarvo 8
- Redox asetusarvo -100 mV

Ensimmäisessä mittauksessa pH:n asetusarvo asetettiin tasan kahdeksaan. Näillä asetuksilla oltiin hyvissä päästölukemissa, mutta pH oli kierrätyspumulla pumpulla liian hapanta (3 – 4), joten myöhemmin tullaan kokeilemaan korkeampaa asetusarvoa.

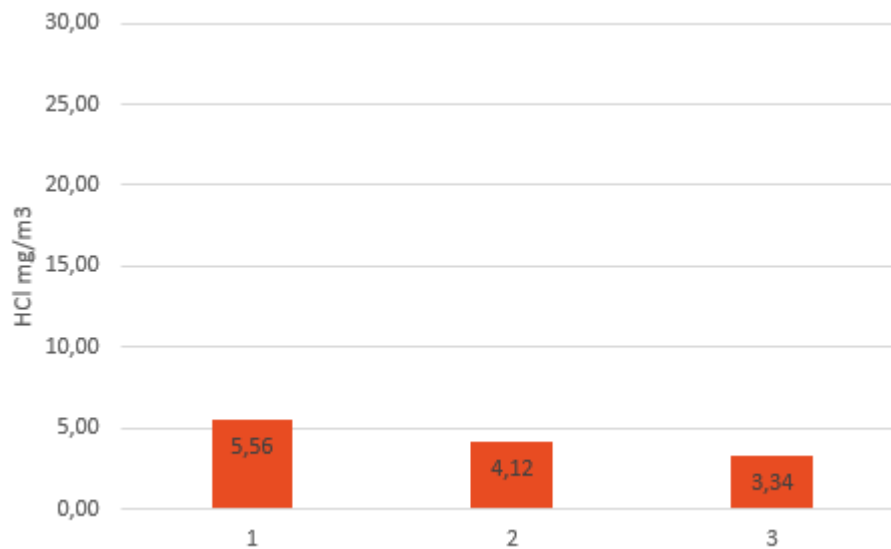


Kuva 15. HCl-pitoisuudet 14.11.2013



Kuva 16. Päästömittaus 14.11.2013

Toisessa mittauksessa pH:n asetusrvo nostettiin 8,5:een. pH:n nosto näkyi myös pesunestepumpulla, jossa pH nousi yli seitsemään. Myös päästöt olivat minimaaliset. Vasta muutaman päivän kuluttua kemikaalipumppujen iskutiheys nousi todella korkeaksi. Näin korkean pesunesteen pH:n saamiseksi vaaditaan pitkällä aika välillä liian paljon kemikaaleja. Päätetään kokeilla hyvää väliarvoa, jolla pH pysyisi kierrätyspumulla lähellä neutraalia ja kemikaalien kulutus ei olisi korkea.

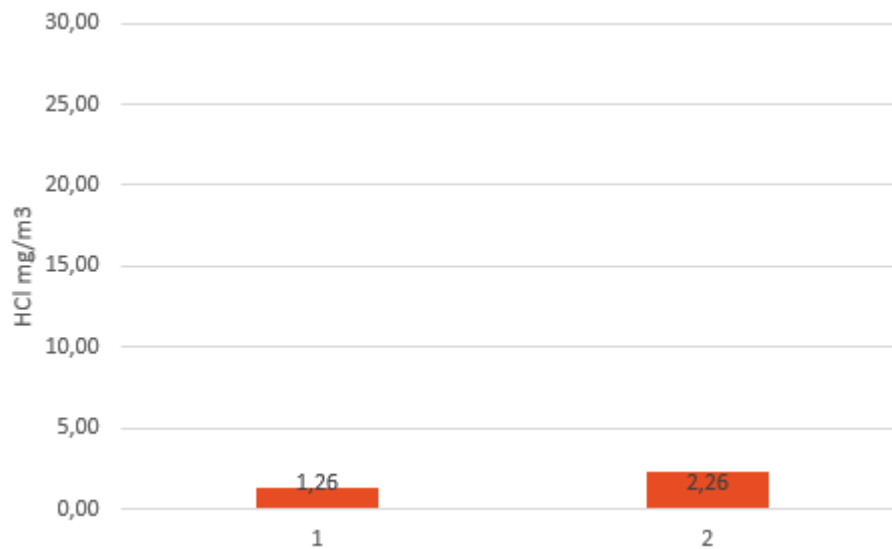


Kuva 17. HCl-pitoisuudet 22.11.2013



Kuva 18. Sondi ja hiukkassuodatin 22.11.2013

Kolmannessa mittauksessa päätetään laskea pH:n asetusarvoa hieman, 8,2:een. Pumpun pH laski oletetusti hieman, viiteen. Päästöt ovat todella matalat ja kemikaalipumput käyvät järkevällä iskutiheydellä.



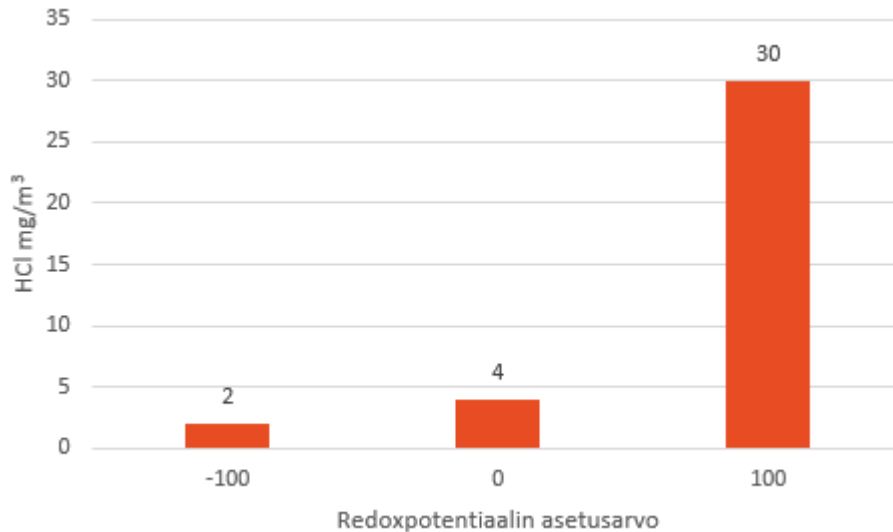
Kuva 19. HCl-pitoisuudet 26.11.2013

6.4 Koeajojen analysointi

Päästöjen kannalta ei ole suurta merkitystä, ajetaanko pesunestettä enemmän ylemmän vai alemman patjan läpi. Pesunesteen kierrätyspumpun kierroksia ei ole syytä nostaa liian korkealle ja näin kuluttaa pumpppua mekaanisesti, sillä päästöt saadaan erinomaisiksi pienellä putkistopaineella. Pieni paine putkistossa ja suuttimilla on myös hyväksi pesunestelle, koska silloin se ei vaadi kemikaaleja niin paljon, kuin korkeassa paineessa.

Mittausten aika todettiin savukaasupesurin olevan mekaanisesti niin hyvin toimiva, että kemikaalien vaihtelut pesunesteessä eivät vaikuta suuresti päästötuloksiin. On epäselvää toimiiko savukaasupesurissa käytössä olevat mitta-anturit oikein, jos pesuvedessä on paljon lipeää tai natriumtiosulfaattia. Antureiden virheetön toiminta on välttämätöntä pesurin toiminnan kannalta. On tiedossa, että lipeä laskee veden pintajännitystä ja tästä johtuen voi näyttää vääriä tuloksia mitta-antureilla. Savukaasun määrässä ja pitoisuuksissa on vaihteluja prosessin aikana. Pesuri toimii optimaalisesti silloin, kun asetusarvot ja kemikaalit pysyvät stabiileina. Jos kemikaalit olisivat aina tasalaatuisia, niiden syöttö manuaalimoodilla olisi stabiilimpaa prosessin kannalta.

Redoxpotentiaalın asetusarvo pidetään miinuksella, sillä silloin se absorboi savukaasuista parhaiten suolahappoa.



Kuva 20. Pesunesteen redoxpotentiaalin asetusarvon vaikutus suolahappopäästöihin.

Suolahapon absorboitumiseen vaikuttaa myös pesunesteen pH, jonka ollessa hapan suolahappopäästöt kasvavat. pH-arvon vaihtelu ei näy niin selvästi päästöissä, kuin redoxpotentiaalin vaikutus. pH pidetään yli kahdeksassa, koska silloin pH pysyy pumpulla mahdollisimman lähelle neutraalia, ilman että kemikaalien kulutus kasvaa, tai virtaukset hiipuvat. Savukaasupesurin ajoa helpottamiseksi prosessiin kannattaisi asentamaa kahdennettua pH- ja redox-anturit pesunestepumpun painepuolelle ja toinen imupuolelle.

Ajoarvot joilla savukaasupesuria tullaan ajamaan:

- Ylävirtaus n. 15 m³/h
- Alavirtaus n. 25 m³/h
- Paine 1,7 – 1,8 bar
- pH asetusarvo 8,2 – 8,3
- Redox asetusarvo -100 mV

7 YHTEENVETO

Työn päätavoitteena oli löytää Ruukki Metals Oy:n Hämeenlinnan tehtaan elvyttämö 4:lle uusitulle savukaasupesurille optimaaliset ajoarvot, joilla voidaan käyttää prosessia luotettavasti myös tulevaisuudessa. Savukaasupesuri on osa isoa ja monivaiheista prosessia, jossa kaikki muutokset voivat vaikuttaa päästötuloksiin. Oli kyseessä savukaasupesurin tai jonkun muun prosessin osa-alueen käytön optimointi, on tekijän tunnettava prosessi ja laitteen tekniikat. Hämeenlinnan tehtaan elvyttämö 4:n toiminta on luotettavasti stabilisoitu Ferrous Metals Processing BREF:ssä oleviin arvoihin. Suolahapon osalta toimitaan selvästi nykyisten luparajojen alapuolella.

Savukaasupäästöjä minimooidessa tulee ymmärtää siihen liittyvät mittaustekniikat. Laitoksen toimiessa lähes nollapäästöissä, on mittaustuloksia vaikea verrata keskenään, koska mittausepävarmuudet päästömittauksissa ja laboratoriossa voivat tulla enemmän esille. Ilmavuoto letkussa, heilahdus prosessissa tai mittavirhe voivat jo tuplata päästöarvon. Opinnäytetyön aikana päästömittauksia suoritettiin tarvittava määrä savukaasupesurin ajoarvojen optimoimiseksi ja tuotannon ohjeistuksen päivittämiseksi.

Saavutin hyvin opinnäytetyölle annetut tavoitteet ja vaatimukset. Työ oli aiheena mielenkiintoinen ja etenkin haastava, koska itselläni ei ollut käytännön päästömittauksista kokemusta. Työtä tehdessä koko prosessin ja savukaasupesurin toiminta selkeytyi ja työssä oli helpompi edetä. Tämä opinnäytetyö kehitti ammatillisia vahvuuksiani prosessitekniikassa ja prosessin optimoinnissa, sekä laajensi käsitystäni päästömittauksien tärkeydestä ja päästöihin liittyvissä ongelmissa.

LÄHTEET

1. Lönn N. 2005. Diplomityö. Suolahapon regenerointiprosessin kehittäminen savukaasupäästöjen vähentämiseksi. Ympäristötekniikan osasto, Tampereen teknillinen yliopisto. Tampere.
2. Cooper C. D, Alley F. C. 2002. Air Pollution Control, A Design Approach. Illinois. Waveland Press, Inc.
3. Howard S. Peavy, Donald R. Rowe, George Tchobanoglous. 1986. Environmental engineering. Singapore. McGraw-Hill Book Company.
4. J. Neil Stone. Fume Control and Scrubbing on Hydrochloric Acid Pickle Lines. Chemical and Process Engineering www-sivut. <http://www.cheresources.com/content/articles/processes/fume-control-and-scrubbing-on-hydrochloric-acid-pickle-lines> [Viitattu 24.11.2013]
5. Pihkala J. Prosessitekniikan Yksikköprosessit ja Prosessitekniikan kokonaisprosessit -oppikirjoja täydentävät www-sivut. Täytekappaleita. <http://prosessitekniikka.kpedu.fi/index-kg.htm> [Viitattu 17.10.2013]
6. Torvela A. 1998. Elvyttämö 4:n savukaasupesurin käytön optimointi. Insinööriyö. Ympäristösuojelun koulutusohjelma. Hämeen ammattikorkeakoulu. Hämeenlinna.
7. Ohlström M, Tsupari E, Lehtilä A, Raunemaa T. Espoo 2005. Pienhiukkaspäästöt ja niiden vähentämismahdollisuudet Suomessa. VTT Tiedotteita VTT:n www-sivut. <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2005/T2300.pdf> [Viitattu 27.11.2013]
8. Säämänen A, Riipinen H, Kulmala I, Welling I. 2004. Pölyntorjunta. Työsuojelurahasto. VTT:N www-sivut. <http://virtual.vtt.fi/virtual/proj3/polyverkko/pace.pdf> [Viitattu 27.11.2013]
9. Elvyttämön höngänpoistojärjestelmän pesuri ja piippu, käyttö- ja huolto-ohje. (Ei saatavilla)
10. Muovitekniikka V. Riittinen & Co, Telpac täytekappaleet-esite. (Esite tilattavissa www-sivuilta: <http://www.muovitekniikka.com>)
11. SFS-EN-1911 Stationary source emissions – Determination of mass concentration of gaseous chlorides expressed as HCl – Standard reference method. 2010.

LIITTEET

Liite 1. Suolahapon päästömittauspöytäkirja

Liite 2. Suolahappopäästön Excel-tilukko

Liite 3. Elvyttämö 4:n savukaasupesurin käyttö ja huolto –ohje

PÄÄSTÖMITTAUSPÖYTÄKIRJA

____.____.20____

Mittausyhte 1, klo ____ - ____ kesto ____ h

Mittausyhte 2, klo ____ - ____ kesto ____ h

Kohde:

ELV2 ELV4

Piipun A (m2)

ELV2 ELV4

1,13 1,08

Mitattava aine:

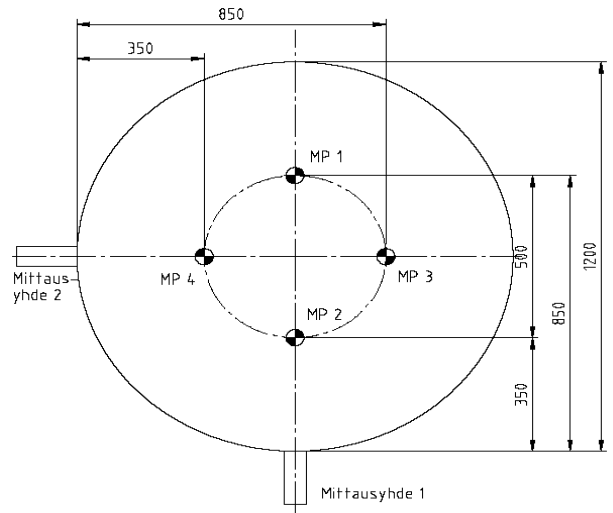
HCl Hiukkaset

Lämmitysvastukset:

Potikan säätöarvo

5

Savukaasun happipitoisuus (%)				(min-max)
Kaasukellon alkulukema (m3)				
Kaasukellon loppulukema (m3)				
Imetty savukaasumäärä (m3)				
Mittauspaikan ilmanpaine (mbar)				
Alipaine kanavassa (ka) (Pa)		60		
Ilmanpaine kanavassa (kPa)				
Savukaasun dyn. paine (ka) (Pa)				
Lämpötila kanavassa (C)				
Kaasukellon lämpötila (C)				
Savukaasun virtausnopeus (ka) MP1 (m/s)				
Savukaasun virtausnopeus (ka) MP2 (m/s)				
Savukaasun virtausnopeus (ka) MP3 (m/s)				
Savukaasun virtausnopeus (ka) MP4 (m/s)				
Sondin suuttimen säde (m)		0,006		
Sondin lämpötila (C)		~200		
Suodattimen lämpötila (C)		~200		
Absoptioliuosmäärä (ml)		3x150		
Lauhdesimäärä (kg)				
Kok.nestemäärä (l)				
Suodattimen paino ennen mittausta (g)				
Suodattimen paino mittauksen jälkeen (g)				



Mittaja: _____

Päästömittaustaulukko

Standardien SFS-EN-1911 SFS, SFS-EN-15259, SFS-EN-13284-1 mukaisesti

Mittausaika	14.11.2013
Klo	12.31-13.01

Happi %	0,082	8,2
CO2 %	0,047	4,7
N2 %	0,871	87,1
kaasumäärä (m3)	212	
Lauhdevesimäärä (kg)	0	
lp mittauspaikka (kPa)	100,9	arvio
Lämpötila kaasukellossa (°C)	17	
lp kanavassa (kPa)	100,84	
lp kanava (°C)	85	
Alipaine kPa / Dyn.paine Pa	60	1,875
kanava A	0,95	
HCl mg / l	0,45	450
nestemäärä l	1000	
Kiintoaine mg	0	

Pitot-kerroin	0,865
---------------	-------

HCl - päästö

Kaasuseoksen tiheys normaalitilassa	1,2996	kg/m ³
Kaasun / veden massasuhte	0,0000	
Kostean kaasun tiheys normaalitilassa	1,2996	kg/m ³
Kostean kaasun tiheys tositilassa	1,5744	kg/m ³
Kostean kaasun nopeus tositilassa	1,5433	m/s
Kostean kaasun tilavuusvirta tositilassa	1,4662	m ³ /s
Kostean kaasun tilavuusvirta normaalitilassa	1,7761	m ³ /s
Kuivan kaasun tilavuusvirta normaalitilassa	1,7761	m ³ /s
Kuivatun kaasun tilavuus normaalitilassa	198,7908	m ³
HCl päästö	2,2637	mg/m ³
Kaasuvirran HCl	4,0205	mg/s
=	0,0145	kg/h

HCl päästö	2,2637	mg/m ³
------------	--------	-------------------

TYÖOHJE

Elvyttämö 4 savukaasupesurin käyttö ja huolto

Muutokset edelliseen ohjeeseen nähden:

Otettu uusi pohja käyttöön, yhdistetty ohjeet Elvyttämö 4 savukaasupesurin käyttö ja huolto ja Savukaasupesurin ajoarvot.

1 Ohjeen tarkoitus ja soveltamisalue

Ohjeessa kuvataan elvyttämö 4 savukaasupesurin käyttö ja huolto. Ohje on tarkoitettu prosessipalvelun henkilöstölle.

2 Työturvallisuus

Työssä noudatetaan tehtaan ja alueen yleisiä työturvallisuus ohjeita.

Annostelusäiliöiden kemikaaliseksiä tehtäessä on käytettävä silmäsuojia ja kumikäsineitä.

Tarkemmat ohjeet kemikaalien turvalliseen käyttöön löytyvät kemikaalien käyttöturvallisuustiedotteista ChemicalDatasta Ruukin Insidesta.

3 Savukaasupesuri

Savukaasupesurin tehtävänä on puhdistaa savukaasujen pöly- ja suolahappopitoisuus työohjeen **Ilmanpäästöjen ja ympäristömelun tarkkailu Hämeenlinnan tehtaalla** mukaisiin viranomaisten vaatimiin lupaehtojen arvoihin.

Elvyttämö 4:n savukaasupesuri on epäsäännöllisesti Telpac täytekappaleilla pakattu Ekomans ETP-täytepatjapesuri. Täytepatjoina(2) ja pisaranerotuskerroksena(1) käytetään Telpac-täytekappaleita, jotka antavat tehokkaan kosketuksen kaasun ja nesteiden välille. Täytepatjoissa käytetään koon 2" ja pisaranerotusvyöhykkeessä koon 1" täytekappaleita. Täytekappaleiden valmistusmateriaali on PP. Valmistajan antamien tietojen mukaan pesurin puhdistusaste hapoille on 95 - 100 % savukaasuista.

Savukaasu johdetaan pesurin alaosaan, josta se nousee ylöspäin vastavirtaan puhdistavaa pesunestettä vastaan. Pesurin pesunesteenä käytetään vettä, lipeää (NaOH) ja natriumtiosulfaatin ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$) seosta. Käytettävien kemikaalien tarkoitus on vähentää liukenevien aineiden pitoisuuksia savukaasussa ja nesteessä, sekä nopeuttaa savukaasun komponenttien liukenemisprosessia täytekappalekerroksessa (lue nesteessä).

3.1 Täytekappalekerros

Savukaasupesurin asennettujen täytekappaleiden pinta-ala toimii lämmön- ja kaasuneste aineensiiirtona puhdistettavan savukaasun ja vastavirtaan valuvan pesunesteen välillä. Täytekappalekerroksen epäsäännöllinen rakenne muodostaa pesuriin suuren ominaispinta-alan, jossa alhaalta tuleva savukaasu on jatkuvassa kontaktissa ylhäältä vastavirtaan valuvan pesunesteen kanssa. Täytekappalekerroksen epäsäännöllinen rakenteen etu säännöllisesti pakattuun kerrokseen on, että täytekappalekerroksen tukkeutumista ei epäsäännöllisessä rakenteessa esiinny yleisesti ja tästä aiheutuvaa savukaasun ja pesunesteen kanavoituminen on harvinaisempaa. Epäsäännöllisesti pakatussa savukaasun ja pesunesteen kanavoitumista saattaa kylläkin esiintyä. Savukaasun ja pesunesteen kanavoituminen epäsäännöllisesti pakatussa pesurissa johtuu yleensä pesunesteen jakaantumisesta. Pesunesteellä on luontainen taipumus jakaantua pesurin koko säteen mukaan siten, että suurin osa nesteestä valuu pesurin seinämää pitkin alas. Jollakin kohtaa täytekappalekerrosta pesuneste saavuttaa maksimivirtausmääränsä pesurin ulkoseinämällä ja osa pesunesteestä palautuu kohti pesurin keskustaa saavuttaen vakiovirtausmääränsä.

Täytekappalepesurin kanavoitumista voidaan välttää pitämällä täytekappalekerroksen yläpintaa riittävän korkealla, jotta ylhäältä suihkutettava pesuneste ei joudu pesurin ulkoseinämälle jo ylhäältä vaan pesunesteen suihku leviää tasaisesti täytekappalekerroksen päälle. Jos pesurin kanavoitumista esiintyy vielä, voidaan täytekappalekerroksen välille asentaa veden uudelleenjakajia, jotka keräävät nesteen pesurin ulkoseinämältä palauttaen sen tasaisesti täytekappalekerroksen koko alueelle.

Kylmävalssatut ja pinnoitetut tuotteet

3.2 Kierrettävä vesimäärä ja lisävesi

Täydellä happokapasiteetilla ajettaessa pesuneste kiertää pesurin ylemmälle täytepatjalle n. 25 m³/h ja alemalle täytepatjalle n. 15 m³/h. Pesunesteen virtauksista on näyttötieto valvomosta ja kentältä. Virtauksia säädetään käsiventtiileillä. Kierrettäväksi maksimi vesimääräksi pesurissa laitetoimittaja on arvioinut n. 90 m³/h. Kierrätettävä vesimäärä määritellään tulevan savukaasuvirtauksen, -pitoisuuden, -lämpötilan ja paineen mukaan. Lisäveden tarkoitus on korvata pesurista neutralointiin menevä ylite ja pesurista haihtuva nestemäärä. Käytettävä lisävesimäärä pesurissa on noin 1,7 m³/h.

4 Käytettävät kemikaalit

Täytekappalepesurin ja puhdistustuloksen parantamisen vuoksi pesuveteen lisätään natriumhydroksidia (NaOH) ja natriumtiosulfaattia (Na₂S₂O₃).

Natriumhydroksidin tarkoitus pesunesteessä on toimia liuottimena sekä neutraloida pesuneste. Natriumhydroksidi laskee myös nesteen pintajännitystä, jonka ansiosta pölyhiukkasten aineensiirtyminen kaasusta nesteeseen helpottuu. Natriumhydroksidi reagoi savukaasun suolahapon kanssa muodostaen natriumkloridin eli suolan pesunesteeseen.

Natriumtiosulfaatin tarkoitus on nopeuttaa suolahapon imeytymisprosessia täytekappalekerroksessa. Natriumtiosulfaatti Na₂S₂O₃ luovuttaa pelkistävän aineen (rikin S) ja vastaanottaa hapettavan aineen (happen O) täytekappalepesurin aineensiirtoprosessissa. Natriumtiosulfaatin reaktio savukaasun ja pesunesteen välillä on hapetus-pelkistysreaktio, jota mitataan nesteen redoxpotentiaalilla. Redoxpotentiaalin laskiessa nesteessä savukaasun kloridin aineensiirtoprosessi nesteeseen nopeutuu, mikä huomataan nesteen pH:n laskuna ja natriumhydroksidin kulutuksen kasvuna.

4.1 Kemikaaliliuosten valmistus

Täytekappalepesurissa käytettävät kemikaaliliuokset valmistetaan käyttösäiliöihin seuraavasti:

NaOH -säiliö (1,0 m³): Alapinnan hälytyksen tullessa vesi säiliöön, sekoittaja päälle ja 1/3 säiliöstä 50 % NaOH

Na₂S₂O₃ -säiliö (1,0 m³): Alapinnan hälytyksen tullessa vesi säiliöön, sekoittaja päälle ja kaksi (2) säkkiä Na₂S₂O₃*5H₂O

Sekoittajien on oltava päällä yhden tunnin ajan, jotta varmistutaan riittävästä sekoittumisesta. Annostelusäiliöiden kemikaaliseoksia tehtäessä on käytettävä silmäsuojia ja kumikäsineitä.

4.2 NaOH

50 %:nen natriumhydroksidi (lipeä) tuodaan elvyttämölle säiliöautolla sen varastointisäiliöön. 50 %:nen lipeä laimennetaan 10 % liuokseksi annostelusäilissä. Annostelusäiliön tilavuus on n. 1000 litraa. Annostelusäiliötä käyttävät molemmat elvyttämöt 2 ja 4.

4.3 Na₂S₂O₃

Natriumtiosulfaatti tuodaan 25 kg:n säkeissä elvyttämölle. Natriumtiosulfaatin määrä on kaksi (2) säkkiä + loput vettä annostelusäiliöön. Tällöin annostelusäiliöissä oleva liuos on noin 5 %:sta.

5 Täytekappalepesurin ajoarvot

Savukaasupesurin toimintaa ohjataan valvomosta seuraamalla savukaasupesurin pesunesteen pH:n ja redoxpotentiaalin arvon mukaan. Pesurin toimintaan vaikuttavat myös manuaalisesti aseteltavat kierrätyspumpun kierroksen/putkiston paine, virtauksen pesurin suuttimille, sekä lisäveden määrä. Näistä arvoista on mittaustieto valvomonäytöstä. Savukaasupesurin ajoarvot ovat:

- pH = 8,2 - 8,3
- redoxpotentiaali = -100 mV
- putkiston paine = 1,6 - 1,9 bar
- ylävirtaus = n. 15 m³/h
- alavirtaus = n. 25 m³/h

Kylmävalssatut ja pinnoitetut tuotteet

- lisävesi = 1,7 m³/h

Pesurin ajoarvot voidaan pitää joko manuaali- tai automaattisäädöllä. Elvytysprosessin ollessa vesiajolla, pesurin ajoarvot pidetään samoina kuin happoajolla. Pesurin ajettavien kemikaalien annostelussa mittantureiden toiminta on välttämätöntä, jotta pesurin ajoarvoja voidaan pitää automaattisäädöllä.

Mitta-antureiden toimintaepävarmuus johtuu korkeasta lämpötilasta mittaavassa nesteessä. Tämän vuoksi antureiden toiminnan varmistamiseksi on suoritettava aika-ajoin antureiden kunnon tarkistuksia.

5.1 pH ja redoxpotentiaali

pH:n säätö tapahtuu automaattiohjauksella ja sen ajoarvo on 8,2 - 8,3. Nesteen pH vaihtelee herkästi lähellä neutraalia, joten tällä pyritään pitämään nesteen pH aina yli seitsemän pesurin lisäksi kierrätyspumppulla. Jos pH -anturin mittausta on epätarkka tai epäillään, että anturi on rikki, on pesurin pH:n säätö siirrettävä käsiohjaukselle. Käsiohjauksessa on huomioitava, että hydroksidin pitoisuus pesunesteessä ei pääse nousemaan liian suureksi. Liian suuri hydroksidin pitoisuus pesunesteessä aiheuttaa pesunesteen vaahtamisen, joka aiheuttaa muita ongelmia prosessissa, esim. kierrätyspumppun kavitoiminen. Syötetävän lipeän määrä riippuu elvytetyn hapon pitoisuudesta. Elvytetyn hapon pitoisuuden ollessa n. 19 % on lipeän syöttöprosentti annostelupumppulla 5 – 10 % luokkaa. (Lipeän vahvuus on 10 % luokkaa)

Redoxpotentiaalin säätö tapahtuu myös automaattiohjauksessa silloin, kun anturin tiedetään toimivan varmasti. Ajoarvo on – 100 mv. Natriumtiosulfaatin liian suuri pitoisuus nesteessä ei aiheuta ongelmia kierrätyspumppuissa, kuten natriumhydroksidin pitoisuus aiheuttaa. Elvytetyn hapon ollessa noin 19 %:n luokkaa, on natriumtiosulfaatin kulutus välillä 5 – 15 %. Annostelusäiliön seosvahvuus on kaksi (2) sakkia + loput vettä.

5.2 Kierrätyspumppun paine

Kierrätettävän pesunesteen pumppun paine on oltava välillä 1,6 – 1,9 bar. Paineen laskiessa alle ajoarvojen, kierrätettävän pesunesteen määrä vähenee. Paineen ja virtausten laskiessa pesuriin voi aiheutua tulvimista, eli savukaasunpaine alkaa muodostaa vesipatsasta täytekappalekerroksessa. Paineenlasku vaikuttaa myös suuttimien toimintaan, jotka vaativat riittävästi painetta toimiakseen ideaalisesti.

5.3 Lisävesi

Lisäveden määrä voidaan säätää manuaalisesti syklonitasolta.

5.4 Alapään pinnan korkeus ja neutralointiin menevä ylitte

Pesurin alapään pinnankorkeuden määrää neutralointiin menevän ylitteen määrä. Pinnan korkeuden säätö toimii automaattilla siten, että neutralointiin menevän ylitteen säätöventtiili on auki noin 50 %. Pesurin alapään pinnankorkeus on noin 65 %.

6 Toiminta savukaasupesurin poikkeamissa

Sekä pH- että redoxpotentiaalin arvot vaihtelevat mm. siirryttäessä vesi/happoajolle. Täydellä happokapasiteetilla ajettaessa pesuri kuitenkin kuormittuu tasaisesti. Tämän vuoksi on seurattava myös kemikaalipumppujen toimintaa, joiden pumppausmäärämuutoksista nähdään, onko savukaasupesurin kemikaalisyöttö kunnossa, mitta-anturit likaantuneet tai antureille tulevat putket likaantuneet.

Mikäli savukaasupesurin toiminnassa ajoarvojen, laitteiden toiminnan tai savukaasujen perusteella on poikkeuksellista, on ryhdyttävä välittömästi korjaustoimenpiteisiin sekä ilmoitettava asiasta prosessipalvelun päivätyönjohtajalle.

7 Pesurin ylös- ja alasajo

7.1 Pesurin ylösajo

Pesurin ylösajossa voidaan käyttää automaattimoodia. Mikäli kemikaalit ja pesunesteen pH lähtevät jyrkään nousuun, on syytä ottaa ajo manuaalille ja tasata arvoja loivasti kohti ajoarvoja.

Kylmävalssatut ja pinnoitetut tuotteet

- Asetetaan pesunesteen pH ajoarvoon 8.2 ja siirretään ohjaus automaatile. Pesurin pH:n saavutettua ajoarvonsa ja lipeän syöttö % on rauhoittunut tietylle tasolle, aloitetaan pesurin natriumtiosulfaatin annostelu.
- Asetetaan redoxpotentiaal arvo – 100 mv ja siirretään annostelu automaattiohjaukselle.

7.2 Pesurin alasajo

Pesurin alasajossa ensin pudotetaan lipeän syöttö noltaan ja sen jälkeen natriumtiosulfaatin syöttö noltaan. Tällä toimenpiteellä varmistetaan, että pesurin kierrätyksen nesteessä ei tapahdu pH:n äkillistä nousua.

8 Pesurin antama tieto prosessissa

Suolahapon ja hiukkasten pitoisuuteen päästöissä voivat vaikuttaa savukaasupesurin ajoarvojen lisäksi elvytetyn hapon happopitoisuus ja prosessin muut vaiheet. Jotta vaadittaviin luparajoihin päästään, on elvytetyn hapon pitoisuus titrattava kerran työvuorossa, sekä seurattava mitta-antureiden toimintaa säännöllisesti.

9 Pesurin huolto + pesurin toimintaan vaikuttavat tekijät

9.1 pH ja redoxpotentiaali -anturi

pH- ja redoxpotentiaali antureiden mittauseriaatteet ovat samanlaiset. Antureiden mittaavat lasipinnat liikaantuvat oksidista nopeasti, joten säännöllinen pintojen tarkistus ja puhdistus on välttämätöntä antureiden toiminnan varmistamiseksi. Anturin lasipinnan likaantuessa mittausepä-tarkkuus kasvaa suuresti. Anturin mittausepä-tarkkuus voidaan havaita mitattavan nesteen alhaisina mitta-arvoina, eli anturin hiipumisena. Toisin sanoen kemikaalisyöttömäärät kasvavat aikaisemmasta. Antureiden säännöllisillä huoltotoimenpiteillä pidennetään myös antureiden toimintaikää.

Antureiden mittausepä-tarkkuus kasvaa myös, jos antureiden pinnat joutuvat olemaan kuivana pitkän ajan. Oksidi tarttuu anturin lasipintaan nopeasti ja tiukasti, jos anturin pinta pidetään kuivana. Pitkiä kuivajaksoja on pyrittävä välttämään ja ennen kuin anturit jätetään kuiviksi, on ne puhdistettava ja huuhdeltava tarkoin.

Antureiden pinnat voidaan puhdistaa elvyttämöön tulevalla huuhteluviedellä. Pehmeä kangas kostutetaan huuhteluviedellä ja kostutetulla kankaalla puhdistetaan anturin pinta. Anturin pintaa on pyrittävä suojaamaan rasvalta, ja on vältettävä koskemasta pintaa paljain käsin. Jos anturin pintaan tarttuu rasvaa, rasva on poistettava kuumalla viedellä. Lopuksi anturi on huuhdeltava puhtaalla viedellä.

Tämän jälkeen tarkistetaan anturin toiminta pH -kalibroitiliuoksella. Kalibroitiliuoksia on oltava vähintään kahdella, mieluiten kolmella eri pH -alueella, pH 4, pH 7 ja pH 10 käyvät tähän tarkoitukseen mainiosti.

Redoxpotentiaali -anturin huolto/tarkistus tehdään samalla tavalla, mutta kalibroitiliuokset ovat omia redoxpotentiaali -anturille.

9.2 Annostelupumput

Annostelupumppujen toimintaa seurataan jatkuvasti valvomosta ja tarkistetaan paikan päältä tarvittaessa. Tarkistus suoritetaan puhdistamalla suodatin ja ilmaamalla pumppu.

9.3 Täytekappalekerrokset

9.3.1 Täytekappalekerrosten pinnan korkeuden tarkistus

Täytekappalekerroksien pinnan korkeuden tarkistus suoritetaan aina seisokin yhteydessä, tai tarvittaessa. Täytekappalekerroksissa käytetään Telpacin 2” täytekappaleita ja niitä on molemmissa 8,5 m³.

Kylmävalssatut ja pinnoitetut tuotteet

9.3.2 Pisanerotuskerros

Pisanerotuskerroksen pinnan korkeuden tarkistus suoritetaan aina seisokin yhteydessä, tai tarvittaessa. Pisanerotuskerroksessa käytetään Telpacin 1” täytekappaleita ja niitä on 4,5 m³

9.3.3 Suuttimien tarkistus

Täytekappalekerrosten pinnan tarkistuksen yhteydessä on tarkistettava, että suuttimet ovat paikoillaan ja suuttimien vesisuihku tulee täytekappalekerroksen pinnalle, eikä pesurin seinille.

9.3.4 Täytekappalekerroksen tukirakenteen tarkistus

Seisokin yhteydessä on tarkistetaan täytekappalekerroksen tukirakennepalkit ja niiden kunto.

9.3.5 Täytekappalekerroksen tyhjennys ja täyttö

Jos pesurin täytekappaleet joudutaan tyhjentämään, on ennen tyhjentämistä varmistuttava siitä, ettei täytekappaleita pääse imuputkeen. Imuputki on suojattava tarkoituksen mukaisella levyllä.

Täytekappalekerrokset täytetään täyttöluukuista niiden alakohtaan asti. Täytekappalepatjat tarkistetaan 3 - 4 kertaa vuodessa tai tarvittaessa. Jos pinta on laskenut, lisätään täytekappaleita tarvittava määrä. Jos täytekappaleet ovat huonossa kunnossa, voidaan ne vaihtaa kokonaan uusiin.

10 Savukaasumittaukset

Savukaasupesurin stabiili toiminta on ensiarvoisen tärkeää viranomaispäästömittausten lähestyessä. Mikäli savukaasupesurin ajoarvot eivät ole stabiilit, laitteiden toiminta on poikkeuksellista tai päästöarvot ovat lupa-arvoja korkeammat, on ryhdyttävä välittömästi korjaustoimenpiteisiin, sekä ilmoitettava asiasta prosessipalveluiden työjohtoon.

Mittauspäivän aikana on laitettava ylös elvytetyn hapon pitoisuus sekä syklonien lämpötila. Tämä suoritetaan valvomonäyttökaavion tulostuksella.

Savukaasuanalyysijä on suoritettava vähimmäismäärä eli 4 kertaa vuodessa ja jos analyyseissä on suuria vaihteluita, on suoritettava uusintamittauksia tarvittava määrä, jotta vaihteluväli päästöissä tasoittuu.