

PÖLYTESTAUSKAAPIN
LEIMAHDUSRISKIN JA
SOVELTUVIEN
RÄJÄHDYKSENTORJUNTAK
EINOJEN KARTOITUS

LAHDEN
AMMATTIKORKEAKOULU
Tekniikan ala
Kone- ja tuotantotekniikka
Suunnittelupainotteinen
mekatroniikka
Opinnäytetyö
Kevät 2018
Ossi Ruotsalainen

Lahden ammattikorkeakoulu
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma

RUOTSALAINEN, OSSI: Pölytestauskaapin leimahdusriskin ja soveltuvien räjähdysentorjuntakeinojen kartoitus

Suunnittelupainotteisen mekatroniikan opinnäytetyö, 35 sivua

Kevät 2018

TIIVISTELMÄ

Työn aiheena oli kartoittaa Kemppi Oy:n uuden valmisteilla olevan pölytestauskaapin leimahdusriskiä ja soveltuvien räjähdysentorjunnan keinoja. Sen tarkoituksena oli selvittää, missä olosuhteissa pölytestauskaappia on turvallista käyttää metallipölyn kanssa. Työ sisälsi tiedonhakua kirjallisuudesta, tutkimuksista, artikkeleista ja oppimateriaaleista ja tietojen hyödyntämistä pölytestauskaapin turvallisuuden edistämiseksi.

Testauspölyssä varmistui olevan normaalioloissa syttyviä aineita. Aineiden ominaisuuksista selvisi olosuhteet, joissa aineet eivät syty. Räjähdysentorjuntakeinoista käsiteltiin useita ja käsiteltiin tarkemmin kahta, pölyn pitoisuuden rajoittamista ja hapen pitoisuuden rajoittamista. Niistä hapen pitoisuuden rajoittaminen inertoinnilla valittiin käyttöön otettavaksi ja sen käyttöönotto tutkittiin tarkemmin. Menetelmistä teoreettisesti sopivin vakuumihuuhtelumenetelmä ei sellaisenaan ollut sopiva, joten pölytestauskaapin inertointimenetelmäksi muodostui yhdistelmä vakuumihuuhtelu- ja läpivirtaushuuhtelumenetelmiä.

Selvityksen perusteella tehtiin muutoksia muun muassa anturointiin ja ohjaukseen. Happipitoisuus- ja paine-eroanturit otettiin käyttöön ja ohjauksesta tehtiin plc-pohjainen. Muutosten vuoksi tehtiin käyttöohje ja päivityksiä sähkökuviin ja laiteluetteloon.

Asiasanat: Pölytestaus, Metallipöly, Pölyräjähdys, Inertointi

Lahti University of Applied Sciences
Degree Programme in Mechanical and Production Engineering

RUOTSALAINEN, OSSI: Assessment of flammability risk of a
dust testing booth and applicable
explosion prevention methods

Bachelor's Thesis in Mechatronics 35 pages

Spring 2018

ABSTRACT

Subject of the thesis was assessing the flammability risk of Kemppi Oys new dust testing booth and applicable explosion prevention methods. Purpose of the thesis was to determine conditions in which it is safe to operate the dust testing booth with metal dust. The thesis included information searching from literature, research, articles and learning material, and also using gathered information for promoting safety of the dust testing booth.

Ingredients capable of flammation in normal conditions were confirmed to be in the testing dust. Safe operating conditions were clarified from characteristics of ingredients. Multiple explosion prevention methods were looked into, two of which were studied more, limiting dust concentration and limiting oxygen concentration. Limiting oxygen concentration was chosen to be implemented and practical questions of it were studied. Vacuum purging method was theoretically most suitable, but it was applicable as is. Inerting method to be implemented became a combination of vacuum purging and sweep-through purging.

Changes were made to the sensors and control system of the dust testing booth. Oxygen concentration and differential pressure sensors were applied and system became plc-controlled. Due to the changes that were made to the existing equipment because of the results of the assessment, an operating manual and updates to existing electrical drawings and component list were made.

Key words: Dust testing, Metal dust, Dust explosion, Inerting

ALKUSANAT

Haluan kiittää opinnäytetyötäni Kemppe Oy:llä ohjannutta Jarkko Malista sekä opinnäytetyön ohjaajaa Teijo Lahtista Lahden ammattikorkeakoulusta.

Lahti 12.4.2018

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	1
2	OPINNÄYTETYÖN LÄHTÖTILANNE	3
3	PÖLYRÄJÄHDYKSEN EDELLYTYKSET	4
4	KEINOT RISKIEN MINIMOINTIIN	7
4.1	Syttymisen ennaltaehkäisemiseen perustuvat menetelmät	7
4.1.1	Happipitoisuuden vähentäminen	7
4.1.2	Syttyvän aineen pitoisuuden vähentäminen	8
4.2	Vaurioiden ehkäisemiseen tai rajoittamiseen perustuvat menetelmät	9
4.3	Toteutukseen otettavien keinojen valinta	11
5	PÖLYPITOISUUDEN VÄHENTÄMINEN	12
6	INERTOINTI	15
6.1	Yleistä inertoinnista	15
6.2	Kaasut	16
6.2.1	Typpi	16
6.2.2	Hiilidioksidi	16
6.2.3	Argon	17
6.2.4	Höyry	17
6.2.5	Savukaasut	17
6.2.6	Parhaiten sopiva kaasu	18
6.3	Menetelmät	18
6.3.1	Vakuumihuuhtelu	19
6.3.2	Painehuuhtelu	19
6.3.3	Sifonihuuhtelu	19
6.3.4	Läpivirtaushuuhtelu	20
6.3.5	Parhaiten sopiva menetelmä	20
6.4	Inertointi pölytestauskaapin tapauksessa	21
6.5	Happipitoisuusarvot	22
7	MUUTOKSET PÖLYTESTAUSKAAPIN TOIMINTAAN JA OHJAUKSEEN	25
7.1	Yleistä muutoksista	25
7.2	Säädöt	27

8	TURVALLISUUDEN ARVIOINTIA	28
9	YHTEENVETO	30
	LÄHTEET	33

KÄSITTEET JA LYHENTEET

Dispersio = Tässä työssä dispersiolla tarkoitetaan pölyn ja ilman tasaista seosta eli pölyämistä. Dispersioituneena pöly on siis tasaisesti jakautunut ilmaan.

Ensimmäinen hälytystaso = Laskennallinen happipitoisuuden taso, joka määritetään suurimman sallitun happipitoisuuden ja normaalin käyttötilan väliin. Ensimmäinen hälytystaso kertoo happipitoisuuden noususta, herättäen käyttäjän huomion ja antaen aikaa suorittaa toimenpiteitä.

Hiukkaskoko = Pölyn partikkelien koko. Hiukkaskoon määrittelyyn on useita tapoja, jotka antavat monimutkaisemmille partikkeleille eri arvoja. Pölymäärän hiukkaskoko ilma-ainesta usein hiukkaskoon mediaanina.

Inertointi = Syttyvän polttoaine-happi-seoksen tekeminen syttymättömäksi lisäämällä syttymätöntä ainetta tarpeeksi. Pöly-ilma-seosta voi laimentaa joko syttymättömällä pölyllä tai inertillä kaasulla

Inertointikaasu = Inertointiin käytettävä kaasu, jota lisäämällä polttoaine-happi-seokseen voidaan seoksen syttyvyyttä vähentää.

Inertti = Aine, joka ei reagoi muiden aineiden kanssa.

Itsekuumeneva = Aine, joka reagoi hapen kanssa kehittäen lämpöä ilman erillistä lämmönlähdettä, on itsekuumeneva.

Konsentraatio = Pitoisuus. Aineen määrä tilavuudessa. Tässä työssä ja usein pölyihin liittyen yksikkönä on grammaa kuutiometrissä.

Laiha seos = Palavan aineen ja hapen seos, jossa palavaa ainetta on optimaaliseen suhteeseen nähden vähemmän ja happea enemmän.

Leimahdus = Syttymisen edellytykset täyttyvät ja aine syttyy. Leimahdus voi aiheuttaa räjähdysten, mikäli räjähdysten muut edellytykset täyttyvät.

Minimisyttymisenergia = MIE (Minimum Igniting Energy). Testaamalla saatava ja näytekohtainen arvo. Pienin energia, jolla aine syttyy. Suurempi minimisyttymisenergian arvo on paloturvallisuuden kannalta suotuisampi.

Minimisyttymislämpötila = MIT (Minimum Igniting Temperature). Testaamalla saatava ja näytekohtainen arvo. Alin lämpötila, jolla aine syttyy. Korkeampi minimisyttymislämpötilan arvo on paloturvallisuuden kannalta suotuisampi.

Minimisyttymispitoisuus = MEC (Minimum Explosive Concentration). Testaamalla saatava ja näytekohtainen arvo. Aineen, tässä tekstissä pölyn, pienin syttyvä pitoisuus. Mikäli ainetta on tätä vähemmän, se ei normaaliolosuhteissa syty.

Normaali käyttötila = Tässä tekstissä normaalilla käyttötilalla tarkoitetaan happipitoisuuden tavoitetasoa, jolla halutaan toimia. Happipitoisuuden taso, joka on määritelty ensimmäisen hälytystason alapuolelle, siten, että normaalitoiminnassa happipitoisuus ei nousisi hälytystasolle.

Palamisnopeus = Nopeus, jolla palavan aineen ja hapen seos palaa. Palamisnopeuteen voi vaikuttaa muuttamalla palavan aineen ja hapen suhdetta.

Pitoisuus = kts. konsentraatio

Primääriräjähdyks = Ensimmäinen räjähdys, joka voi aiheuttaa sekundääriräjähdyksen tai -räjähdyksiä.

Pölytestaus = Laitteiden ja koteloiden testaus, jossa näytettä suihkutetaan pölyllä. Standardien mukaisella pölytestauksella voidaan määrittää IP-luokituksen ensimmäinen numero. Pölytestauksella voidaan saada myös muuta tietoa, esimerkiksi pölyn kulkeutumis-reiteistä ja kasautumiskohdista.

Pölytestauskaappi = Testausväline, jonka sisälle näyte laitetaan.

Pölytestauskaappi kierrättää pölyä itsensä läpi suihkuttaen sitä näytettä

kohti. Pölytestauskaapin tarkoituksena on altistaa näyte hiekkamyrskyn kaltaiselle pölyvirtaukselle.

Rajahappipitoisuus = LOC (Limiting Oxygen Concentration). Testaamalla saatava ja näytekohtainen arvo. Rajahappipitoisuus on happipitoisuuden arvo, jonka ylittyessä aine on syttyvää ja jonka alittuessa ei. Paloturvallisuuden kannalta olisi suotuisampaa, jos aineen rajahappipitoisuus olisi korkeampi.

Rajattu tila = Tila, jossa on tarpeeksi estettä, jotta räjähdyspaineen muodostuminen on mahdollista. Mikäli tila on täysin avoin, syttyvä pöly leimahtaa, muttei räjähdä.

Rikas seos = Palavan aineen ja hapen seos, jossa optimaaliseen suhteeseen nähden palavaa ainetta on enemmän ja happea vähemmän. Seoksen ollessa liian rikasta eli palavan aineen pitoisuuden ollessa liian korkea ja kaukana optimaalisesta palavan aineen ja hapen suhteesta, se ei syty.

Räjähdys = Nopea palaminen, joka tapahtuu rajatussa tilassa aiheuttaen paineaallon.

Sekundääriräjähdys = Primääriräjähdysten paineaallon aiheuttama räjähdys, ketjureaktio. Polttoaine, kuten ympäristöön kertynyt pöly, on stabiili siihen asti, kunnes primääriräjähdysten vaikutuksesta sekin syttyy. Sekundääriräjähdys voi aiheuttaa uuden sekundääriräjähdysten.

Sykli = Tässä tekstissä syklillä tarkoitetaan sekä inertointimenetelmien toimintaa kuvaavaa vuorottelujaksoa, jossa vuorotellaan esimerkiksi alipaineen luomisen ja inertointikaasun lisäämisen välillä, että pölytestauskaapin toiminnan ohjelmakiertoa.

Syttymislähde = Riittävän kuuma asia, jonka lämpötila riittää sytyttämään aineen.

Suurin sallittu pitoisuus = MPOC (Maximum Permissible Oxygen Concentration). Raja-happipitoisuuden mukaan laskettu laskennallinen arvo, jonka ei sallita ylittyvän ja jonka ylittyminen tulee estää. Sijoittuu laskennallisen turvamarginaalin verran rajahappipitoisuuden alapuolelle.

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön toimeksiantaja on Kemppi Oy. Kemppi on hitsausalan edelläkävijä. Veljekset Kemppi Oy perustettiin vuonna 1949, ja Kemppi Oy -nimellä se on toiminut vuodesta 1968. Nyt Kempin toiminta on maailmanlaajuista. Kempillä on 16 tytäryhtiötä, 260 huoltoliikettä ja globaali myynti- ja jakeluverkosto. Kempin valmistamien MIG-, TIG- ja puikkohitsauslaitteiden lisäksi Kemppi tarjoaa myös ohjelmistotuotteita ja asiantuntija-palveluita. (Kemppi Oy 2018.)

Työstä suurin osa koostuu pölytestauskaapin turvallisuusselvityksestä. Kyseinen pölytestauskaappi on Kemppi Oy:lle tehty yksittäiskappale ja tarkoitettu hitsauskoneiden pölytestaukseen ja se eroaa aiemmista yrityksen käytössä olevista pölytestauslaitteista oleellisemmin siinä, että siinä käytetään testauspölynä herkemmin syttyvää metallipölyä. Turvallisuusselvitys rajoittuu aiheeltaan metallipölyn räjähdysriskin määrittelyyn, jossa selvitetään, onko syttymisen mahdollisuus olemassa ja missä olosuhteissa konepajapölyn käyttö on turvallista. Isossa osassa ovat ennalta määritellyn testauspölyn ja sen eri ainesosien ominaisuudet, kuten alin happipitoisuus jolla leimahdus on mahdollinen ja aineen minimi räjähdyspitoisuus.

Opinnäytetyön tavoitteet ovat:

- Edistää pölytestauskaapin valmistamista ja saattamista käyttöön.
- Selvittää, missä olosuhteissa konepajapölyn käyttö on turvallista, eli:
 - voiko metallipöly räjähtää
 - mitä pölyräjähdykseen vaaditaan
 - käytettävien aineiden ominaisuudet syttymisen kannalta
 - onko syttymisriski olemassa pölytestauskaapin tapauksessa
 - millä keinoin riskiä voi minimoida, ja mitkä keinot soveltuvat pölytestauskaapin tapaukseen.
- Selvittää mitä muutoksia laitteistoon tarvitsee tehdä
- Dokumentoida muutokset.

Opinnäytetyön tarkoituksena ja tavoitteena on edistää pölytestauskaapin valmistamista ja saattamista käyttöön. Tätä varten pitää saada kuva lähtötilanteen syttymisriskistä, ja mikäli leimahdus on mahdollinen, on selvitettävä, millä keinoin riskiä voi poistaa tai minimoida. Syttymisalttiin seoksen inertointi on yksi keino. Inertoinnissa tulee huomioida, mikä tai mitkä kaasut ovat ominaisuuksiltaan sellaisia, että niillä voi inertoida juuri testauspölyn ainesosia. Inertointikaasuista olisi hyvä löytää edullinen ja käytännöllinen ratkaisu, jokin hitsauksessa käytettävistä suojakaasuista olisi monikäyttöinen ja muutenkin saatavilla.

Kartoituksen pohjalta pitäisi selvittää, mitä muutoksia laitteistoon tarvitsee tehdä. Mahdolliset uudet komponentit, kuten anturit, pitää määritellä ja mitoittaa.

Jäljelle jäävä osa työstä koostuu loppudokumentoinnista. Se sisältää seuraavat dokumentit:

- käyttöohje
- sähkökuvien päivitys siten kuin ovat turvallisuusselvityksen pohjalta muuttuneet
- komponenttistausta
- rakennekuvat.

Käyttöohje ei vastaa laajuudeltaan myyntiin tarkoitetun tuotteen käyttöohjetta, vaan se on tarkoitettu yrityksen omaan käyttöön ja rajatuille käyttäjille. Pölytestauskaappiin turvallisuusselvityksen pohjalta tehtävät muutokset päivitetään kuviin.

2 OPINNÄYTETYÖN LÄHTÖTILANNE

Opinnäytetyön alkaessa pölytestauskaappi itsessään oli jo suunniteltu ja valmistettu. Pölytestauskaapin on suunnitellut Antti Airola (2016) diplomityössään Menetelmä ja laitteisto hitsauskoneiden pölytestaukseen. Se sisältää muun muassa tutkimusta siitä, minkä-laista pöly konepajaolosuhteissa on. Tutkimuksen pohjalta diplomityössä koostettiin konepajapölyä vastaava testauspöly markkinoilla olevista metallijauheista. Pölytestaukseen käytetään yleensä pölyjä, jotka mukailevat hiekkaa. Hitsauskoneiden testaukseen haluttiin kuitenkin konepajaolosuhteissa syntyvän pölyn kaltainen, useasta metallista muodostuva seos, jolla on myös sähköä johtavia ominaisuuksia. Metallijauhe poikkeaa tavanomaisissa myynnissä olevissa pölytestauskaapeissa käytettävästä testausjauheesta muun muassa syttyvyytensä vuoksi. Tästä syystä on tarpeellista selvittää räjähdysriskin mahdollisuus ja tuloksista riippuen soveltaa keinoja turvallisuuden parantamiseen.

Opinnäytetyön lähtötilanteessa kaapin pölyturvallisuus oli huomioitu käyttämällä pöly-turvallisia liitäntöjä sekä pitämällä pöly poissa ympäristöstä tiivistyksen ja pienen alipaineen avulla. Pölytestauskaapin ulkopuolelle päästessään pöly voisi kulkeutua hyvinkin laajalle, kasautua paloturvallisuusriskiksi esimerkiksi kattopalkkien päälle ja ajan myötä aiheuttaa hengitystiesairauksia henkilöstölle.

3 PÖLYRÄJÄHDYKSEN EDELLYTYKSET

Kuvan 1 mukaisesti leimahdukseen tarvitaan kolme asiaa: palava pöly, happi ja syttymis-lähde. Pölyräjähdys puolestaan tarvitsee niiden lisäksi vielä pölyn dispersiota ja pölyn sulkemista rajattuun tilaan. (U.S. Dept of Labor, Occupational Safety and Health Administration 2005; Khambekar & Pittenger 2013, 41; Health and safety Executive 2003, 6; Cheremisinoff 2014, 16.) Pölyn dispersio eli sekoittuminen ilmaan maksimoi pölyhiukkasten hapen kanssa yhteydessä olevan pinta-alan, jolloin palamiskelpoinen seos on suurimmillaan. Seoksen sulkeminen rajattuun tilaan mahdollistaa paineen kehittymisen. Tilan ei tarvitse olla täysin suljettu, jotta rajatun tilan ehto täytyisi siinä määrin, että räjähdys olisi mahdollinen. Räjähdyspaineen muodostumiseen riittää, että leimahduksen etenemiselle on esteitä. Esteet voivat olla esimerkiksi käytävän seinät (Amyotte 2013, 191 – 192).

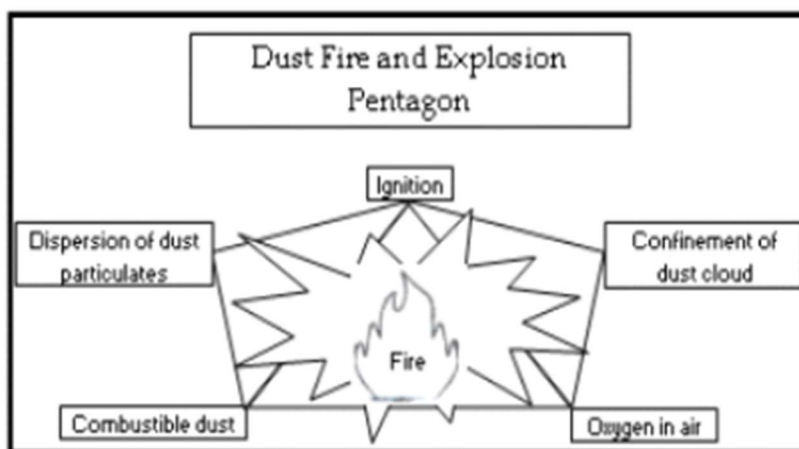


Figure 1

KUVA 1. Tulikolmio ja räjähdysviisikulmio (U.S. Dept of Labor, Occupational Safety and Health Administration 2005)

Pölyn syttyvyys määritellään testaamalla. Testausmenetelmät ovat standardoituja. Niitä käsitellään standardeissa BS EN 14034 Determination of explosion characteristics of dust clouds, ASTM E1226

Standard Test Method for Explosibility of Dust Clouds ja ASTM E2931 - 13 Standard Test Method for Limiting Oxygen. Näillä menetelmillä pölyistä saadaan selville minimi syttymisenergia MIE (Minimum Igniting Energy), minimi syttymislämpötila MIT (Minimum Igniting Temperature), aineen pienin syttymispitoisuus MEC ja rajahappipitoisuus LOC (Limiting Oxygen Concentration).

Polttoaineseoksessa olevan polttoainepitoisuuden täytyy olla tietyissä rajoissa, jotta se palaisi. Myös pölyn ja ilman seos voi olla joko liian laihaa tai liian rikasta. Mikäli seos on laihaa, ei pölyä suhteessa happeen ole polttoaineeksi asti. Tästä käytetään termiä Minimum Explosive Concentration eli MEC (suom. pienin räjähtävä pitoisuus), joka on ainekohtainen. Jos pienin räjähtävä pitoisuus ei ylity, ei polttoaine-ehto täyty. Pölyn syttyvyyteen vaikuttaa merkittävästi hiukkaskoko, joskaan se ei riipu siitä lineaarisesti (Cheremisinoff 2014, 66). Aineella on isompi pinta-ala hienoina hiukkasina, kuin samalla määrällä samaa ainetta karkeampina partikkeleina. Pölyn hiukkaskoon kasvaminen vaikuttaa MEC-arvoon, eli hienompaa pölyä tarvitaan syttymiseen lähtökohtaisesti vähemmän. Pölyjen kohdalla ei syttyvän pitoisuuden yläraja eli rikas seos ole syttymisen torjunnan kannalta oleellinen eikä käytännöllinen. Mikäli pöly ei ole syttyvää, ei leimahdusta tai räjähdystä tapahdu. Konepajapölyn mukaista testauspölyseosta ei ole testattu, mutta sen sisältämät ainesosat ovat yleisiä, ja niistä on saatavilla mittaustuloksia.

Syttyminen tarvitsee syttymislähteen. Syttymislähteitä ovat muun muassa:

- kuumat pinnat
- hiillokset
- itsekuumeneminen
- isku- ja kitkakuumeneminen
- sähkölaitteet ja
- elektrostaattinen purkaus. (Cheremisinoff 2014, 33 – 39.)

Kuumia pintoja ei kaapin sisäpuolella oletettavasti ole. Pölyseoksen aineet eivät myöskään ole itsekuumenevia. Pölytestausprosessin aikana

metallipölyä kierrätetään kaapissa ja voidaan olettaa, että kipinöintiä tapahtuu, mikä on mahdollinen syttymislähde.

Pölytestauskaapissa on siis syttymislähde ja hapetta, jolloin syttymisriski riippuu seoksen syttyvyydestä. Leimahdusriskin lisäksi on olemassa myös räjähdysriski, mikäli pöly on sekoittuneena ilmaan ja ilma-pöly-seoksen tilavuus on edes jossain määrin rajattu/suljettu. Pölytestauskaapin toiminnan kannalta on oleellista, että pölyä kierrätetään hiekkamyrskyn omaisesti kaapissa. Tämä tarkoittaa sitä, että dispersioehto toteutuu aina kun testausprosessi on käynnissä. Kaappi on myös suljettu. Tässä vaiheessa sekä leimahdus, että räjähdysriski riippuvat aineen syttyvyydestä, ja sitä kautta myös jatkotoimenpiteiden, kuten hapen vähentämisen, tarve.

4 KEINOT RISKIEN MINIMOINTIIN

4.1 Syttymisen ennaltaehkäisemiseen perustuvat menetelmät

Keinot voidaan jakaa syttymisen ennaltaehkäisemiseen ja vaurioiden ehkäisemiseen tai rajoittamiseen. Syttymisen ennaltaehkäisemiseen perustuvia menetelmiä ovat happipitoisuuden vähentäminen ja syttyvän aineen pitoisuuden vähentäminen.

Mikäli voidaan järjestää olosuhteet, joissa laitteiden happipitoisuus saadaan vähennettyä tai polttoaine ohennettua tarpeeksi alhaiselle tasolle tai joissa ilmaan sekoittunut pöly on tiettyjen raja-arvojen välissä, räjähdysvaaraa ei ole (Turvallisuus- ja kemikaalivirasto 2015, 10).

4.1.1 Happipitoisuuden vähentäminen

Mikäli hapen ja palavan aineen seos on rajattu johonkin tilavuuteen, voidaan syttymisen estäminen toteuttaa laskemalla happipitoisuutta. Kun happea ei ole tarpeeksi, ei seos ole syttyvä. Syttymisen estäminen happipitoisuutta madaltamalla vaatii useiden asioiden huomioimista. Syttymiseen riittävä happipitoisuus eli rajahappipitoisuus vaihtelee ainekohtaisesti, esimerkiksi alumiini syttyy alemmassa happipitoisuudessa, kuin rauta. Lämpötila ja paine vaikuttavat syttyvyyteen, eivätkä normaaliolosuhteissa mitatut rajahappipitoisuudet päde esimerkiksi korkeammissa lämpötiloissa. (NFPA 69, 2014, 10 – 11.)

Kaasun soveltuvuus prosessiin tulee arvioida. Se riippuu muun muassa siitä, voiko kaasu saastuttaa prosessoitavat tuotteet tai onko kaasulla prosessille haitallisia fysikaalisia ominaisuuksia, kuten kosteus. Inertointikaasun luotettava syöttö ja riittävä tarjonta pitää huomioida, sillä inertoinnin keskeytyminen altistaa palavan aineen korkeammalle happipitoisuudelle, jolloin seos on jälleen syttyvä. Luotettavuuden kannalta huollon, tarkastusten ja testauksen merkitys on oleellinen.

Happipitoisuuden mittaamisella ja valvonnalla saadaan tietoa siitä, että syöttö toimii ja happipitoisuus on alentunut. (NFPA 69, 2014, 10 – 11.)

Oleminen alennetussa happipitoisuudessa voi aiheuttaa tukehtumisvaaran. Henkilöstön altistuminen inertointikaasun vuodoille ympäröivillä alueilla pitää arvioida ja tarvittaessa tehdä muutoksia laitteistoon, harkita järjestelmän etäkäyttöä tai henkilöstön happilaitteita. Inertointikaasun vuodot tarkoittavat myös inertoinnin tehokkuuden laskua, sillä vuotanut kaasu on pois inertoinnista. Pitää myös huomioida palavan aineen poistuminen alennetusta happipitoisuudesta, jolloin se voi olla jälleen syttyvää. (NFPA 69, 2014, 10 – 11.)

Inertoinnin voi toteuttaa myös osittaisena, jolloin toimintaperiaate on, että happipitoisuuden vähentyessä myös syttymisherkkyys ja palamisnopeus vähenevät. Kohtuullisella happipitoisuuden vähentämisellä voi räjähdysvaara vähentyä merkittävästikin. (Eckhoff 1996, 12.)
Räjähdysvaara kuitenkin vähentyy, eikä välttämättä poistu, joten turvallisuuden riittävyys pitäisi joko todentaa tai turvata lisäkeinoilla.

4.1.2 Syttyvän aineen pitoisuuden vähentäminen

Syttyvän aineen pitoisuutta seoksessa voi vähentää käyttämällä vähemmän syttyvää ainetta, jolloin polttoaine-ilma-seos on laimaa, eikä siksi syty. Kun käytetään pölypitoisuuden rajoittamista suojakeinona, pitää pölypitoisuutta valvoa jatkuvasti. Pölypitoisuuden täytyy pysyä tai olla alle 25 % alemmasta syttymisrajasta. Tämä pitää toteutua prosessin kaikissa vaiheissa, myös käynnistyksissä ja lopetuksissa, sekä prosessoitavien materiaalien ja olosuhteiden muutoksista huolimatta. (NFPA 69 2014, 13.)

Syttyvää pölyä voi myös laimentaa inertillä pölyllä. Kun syttyvää pölyä laimennetaan tarpeeksi inertillä pölyllä, saadaan seos, joka ei lähtökohtaisesti voi syttyä. Monesti inertti pöly on prosessin tai tuotteiden kannalta ei-toivottu saaste, eikä sitä voi siksi käyttää. Inertti ja syttyvä pöly eivät myöskään välttämättä pysy sekoittuneena, vaan ne voivat erottua,

jolloin syttyvän pölyn pitoisuus voi ylittää alemman syttymisrajan. (Eckhoff 1996, 10.)

Yksi testauspölyseoksen aineista on grafiittijauhe. Grafiittijauhetta käytetään D-luokan sammuttimissa, kuten Lith-X, jota käytetään litium- ja alkalimetallipalojen sammutukseen. Niiden toiminta perustuu grafiitin hyvään lämmönjohtokykyyn ja tukahduttamiseen peittämällä palava aine grafiitin alle. Pölytestauskaapin tapauksessa pöly on kuitenkin dispersioitunut, joten metallipöly on jatkuvasti kosketuksissa hapen kanssa. Grafiitti on lisäksi puhtaanapidon kannalta ongelmallinen, eikä sitä ole tarkoituksenmukaista lisätä enempää, kuin koostettuun testipölyyn on määritelty.

4.2 Vaurioiden ehkäisemiseen tai rajoittamiseen perustuvat menetelmät

Mikäli räjähdysvaaraa ei pystytä estämään, pitää turvautua vaurioiden ehkäisemiseen ja rajoittamiseen perustuviin menetelmiin. Tällöin vaatimukset laitteistolta ja turvatoimilta kasvavat ja joudutaan noudattamaan räjähdystiloja koskevaa lainsäädäntöä. Tänä päivänä voidaan laskelmoida ja simuloida tarkastikin yksinkertaisia räjähdyksiä ja arvattavia skenaarioita, mutta arvaamattomuus on yhä mukana muun muassa mahdollisten sekundaärräjähdysten ja ketjureaktioiden vuoksi.

Leimahdus voidaan havaita jo alkuvaiheessa joko optisesti tai kaasun perusteella. Kun on saatu havainto alkavasta leimahduksesta, käytetään tarvittavia keinoja sen hallintaan tai sammuttamiseen, ennen kuin leimahdus varsinaisesti tapahtuu. (NFPA 69 2014, 14.) Tällä menetelmällä leimahdukseen johtaneet asiat ovat olemassa ja tapahtumassa, kun tilanteeseen puututaan, mutta itse leimahdusta ei ole vielä tapahtunut. Toimia (järjestelmältä) vaativa tilanne kuitenkin syntyy, mikä voi häiritä tai keskeyttää prosessin.

Tapahtunut leimahdus voidaan havaita antureilla ja laukaista sammutuskeino, jolla leimahdus tukahdutetaan. Tämä vaatii leimahduksen valvonta- ja sammutusjärjestelmien sisällyttämisen järjestelmään. Siinä

pitää huomioida muun muassa aika, joka kuluu leimahduksen tunnistamiseen, sammutusaineen tehokkuus sammutettavaan aineeseen nähden ja sammutusaineen laukaisukuvio ja peittävyys. (NFPA 69 2014, 15 – 16.) Leimahduksen alkamisen havaitsemiseen verrattuna leimahduksen hallinnassa puututaan tilanteeseen vasta, kun leimahdus on jo tapahtunut, eli askeleen jäljessä. Sammuttaminen aiheuttaa häiriön prosessiin ja keskeyttää prosessin. Sammutusaineen poistaminen ja leimahduksen seurausten tarkastus ja käsittely voivat viivästyttää prosessin uudelleen aloittamista merkittävästi.

Räjähdyksen eristämisessä on tavoitteena torjua jo tapahtuneen pölyräjähdysten tai -räjähdysten leviäminen primääriräjähdyksen sijainnista muualle. Eristäminen voidaan jakaa aktiiviseen ja passiiviseen eristämiseen. Aktiivisessa eristämisessä käytetään venttiilejä, jotka sulkeutuvat omalla voimallaan hyvin nopeasti saadessaan signaalin räjähdyksestä. Passiivisessa eristämisessä taas venttiili sulkeutuu räjähdyspaineen voimalla. (Eckhoff 1996, 11.) Tätä menetelmää käyttäessä pitäisi olla varmuus siitä, että tila, johon primääriräjähdys eristetään, todella kestää räjähdysten. Mikäli tila murtuu, on eristys epäonnistunut, ja sekundääriräjähdyksen mahdollisuus taas olemassa ja vielä mahdollisesti arvaamattomassa sijainnissa.

Laitteisto voidaan suunnitella ja rakentaa siten, että se kestää räjähdyspaineen. Tämä on kallis ratkaisu ja tekee laitteistosta painavan. Yksinkertaisista, yhden räjähdysten skenaarioista on tietoa ja kaavoja, mutta monimutkaisempien ja kertautuvien paineenkasvujen laskelmointi on vaikeaa. (Eckhoff 1996, 11.)

Räjähdyksen kanavoinnilla räjähdysten vaikutuksia hallitaan ohjaamalla räjähdysten paineaaltoa ja liekkirintamaa haluttuun suuntaan. Menetelmä on monimutkainen, vaatii ymmärrystä ja tietoa räjähdysten etenemisestä ja paineen kehittymisestä. Aihetta on tutkittu, mutta se on kiistanalainen. (Eckhoff 1996, 12.)

4.3 Toteutukseen otettavien keinojen valinta

Pölytestauskaapin tapauksessa pyritään ehkäisemään leimahdus ennalta niin luotettavasti, ettei vaurioiden ehkäisemiseen tai rajoittamiseen perustuvia menetelmiä tarvitse. Leimahduksen torjunnalla pyritään estämään henkilövahingot, testauslaitteistolle koituvat vahingot, testattavalle laitteelle koituvat vahingot ja muut materiaalivahingot testauslaitteiston lähellä sekä pitämään testausprosessi häiriöttömänä ja siltä osin tasalaatuisena. Vaurionhallintaan perustuvat keinot vaativat myös olemassa olevan laitteiston uudelleen rakentamista.

Kaapin sisällä voi oletettavasti tapahtua kipinöintiä, joten syttymislähteiden sataprosenttinen poistaminen ei onnistu. Pölyn dispersio on pölytestauksen kannalta oleellista, joten pölyämistä rajoittavat keinot, kuten kosteutus, eivät sovellu. Mikäli pölypitoisuuksien ei tarvitse olla vaaraa aiheuttavan korkeita, riittäisi palavan aineen pitoisuuden rajoittaminen. Jos taas on mahdollista, että MEC-pitoisuudet ylittyvät edes paikallisesti, niin tarvitaan happipitoisuuden rajoittamista. Siltä varalta, että toiseen suojakeinoon tulee häiriö, olisi hyvä olla toinen suojakeino. Leimahduksen estäminen on varmintä, jos käytetään sekä turvallista palavan aineen pitoisuutta, että turvallista happipitoisuutta.

5 PÖLYPITOISUUDEN VÄHENTÄMINEN

Säämänen, Riipinen, Kulmala ja Welling (2004, 35) kertovat, että räjähdysvaaran voidaan katsoa olevan mahdollinen jo 10g/m³ ylittävillä pitoisuuksilta. Pölytestauskaapin pölykonsentraation on tarkoitus pysyä vaihteluvälillä 10,6±7 g/m³ (MIL-STD-810G, 2008, 510.5-5; Airola 2016, 60). Testauspölyn ainesosien, raudan, piin, mangaanin, alumiinin ja kalsiumin MEC-tulokset ovat korkeampia, mutta käytännössä pitoisuus pölytestauskaapissa voi olla paikoin ja vikatilanteissa korkeampi, eikä pölypitoisuus välttämättä jakaannu tasaisesti koko tilaan. Esimerkiksi puhallin ja kartiohajotin ovat paikkoja, joissa pitoisuus saattaa olla korkeampi kuin muualla. Eckhoffin (1996, 11) mukaan esimerkiksi ohut lattialle kerääntynyt kerros voi pöllähtää lähelle lattiaa tiheäksi, matalaksi pilveksi, joka voi syttyä. Pienin vaarallinen pölymassa ei siis kykene tasaisesti koko säiliön tilavuuteen dispersioituneena saavuttamaan räjähdyspitoisuutta, mutta pienempänä ja tiheämpänä pilvenä voi.

Mikäli turvallisuutta haetaan pölypitoisuutta alentamalla, pölyn määrän pitää olla aina tietyn tason alapuolella. Ylimääräistä pölyä ei silloin saa lisätä kiertoön (esimerkiksi testattaessa isompaa hitsauskoneetta). Mikäli laitteeseen tulee pölyn virtausta haittaava vika, voi myös syntyä paikallinen konsentraatio yli MEC:n. Pölykonsentraation mittaaminen luotettavasti oli osoittautunut haastavaksi jo Antti Airolan diplomityössä Menetelmä ja laitteisto hitsauskoneiden pölytestaukseen, ja se jätettiin silloin kannattamattomana pois laitteistosta (Airola 2016, 75). Grafiittipölyn todettiin tukkivan linssit kaikissa optisissa mittausmenetelmissä. Putkessa liikkuvaa massavirtaa voisi mitata kosketuksettomasti putken läpi esimerkiksi ultraäänimittauksella, jossa putken toisella puolella on ultraäänilähetin ja toisella puolella vastaanotin. Mittaus olisi kuitenkin kallis ratkaisu ottaa käyttöön. Saatu mitta-arvo antaisi myöskin tiedon mittauskohdasta, eikä kerro koko totuutta pölytestauskaapin muihin kohtiin muodostuvista pitoisuuksista.

Koska pölyn tavoitepitoisuus $10,6 \pm 7 \text{ g/m}^3$ ei ylitä minkään ainesosan suurinta syttyvää pitoisuutta, lasketaan sen sijaan kuinka paljon tavoitepitoisuuden ylittävä 50 g/m^3 pitoisuuden tilanne olisi suhteessa ainesosille saaduista MEC-tuloksista:

Rauta:

Raudalle on saatu MEC-arvo 100 g/m^3 (Cheremisinoff 2014, 71) ja 170 g/m^3 (Jacobson, Cooper & Nagy 1964, 16).

Jos pelkkää rautapölyä olisi 50 g/m^3 pitoisuus, $\rightarrow 50 \text{ (g/m}^3) / 100 \text{ (g/m}^3) * 100 \% = 50 \%$

Pii:

Yksi piille saatu MEC-arvo $< 100 \text{ g/m}^3$ (Jacobson ym. 1964, 17) ja 60 g/m^3 (Eckhoff 2003, NFPA 484 2015, 73 mukaan).

Jos pelkkää piijauhetta olisi 50 g/m^3 pitoisuus, $\rightarrow 50 \text{ (g/m}^3) / 60 \text{ (g/m}^3) * 100 \% = 83,333 \%$.

Mangaani:

Yksi mangaanille saatu MEC-arvo 125 g/m^3 (Jacobson ym. 1964, 17).

Jos pelkkää mangaanijauhetta olisi 50 g/m^3 pitoisuus, $\rightarrow 50 \text{ (g/m}^3) / 125 \text{ (g/m}^3) * 100 \% = 40 \%$.

Alumiini:

Alumiinihiutaleelle on saatu MEC-arvo 35 g/m^3 (Jacobson ym. 1964, 15).

Jos pelkkää alumiinijauhetta olisi 50 g/m^3 pitoisuus, $\rightarrow 50 \text{ (g/m}^3) / 35 \text{ (g/m}^3) * 100 \% = 142,857 \%$. Pelkkää alumiinijauhetta käytettäessä 50 g/m^3 pitoisuus ylittäisi alumiinihiutaleelle saadun MEC-arvon 35 g/m^3 $42,857 \%$:lla.

Toinen MEC-arvo alumiinijauheelle eri lähteestä (Cheremisinoff 2014, 71) 45 g/m³.

Jos pelkkää alumiinijauhetta olisi 50 g/m³ pitoisuus, -> $50 \text{ (g/m}^3\text{)} / 45 \text{ (g/m}^3\text{)} * 100 \% = 111,111 \%$.

Pelkällä alumiinijauheella 50 g/m³ pitoisuus ylittää MEC-arvon.

Kalsium:

Yksi kalsiumsilisidille, saatu MEC-arvo 60 g/m³ (Jacobson ym. 1964, 19).

Jos pelkkää kalsiumsilisidijauhetta olisi 50 g/m³ pitoisuus, -> $50 \text{ (g/m}^3\text{)} / 60 \text{ (g/m}^3\text{)} * 100 \% = 83,333 \%$.

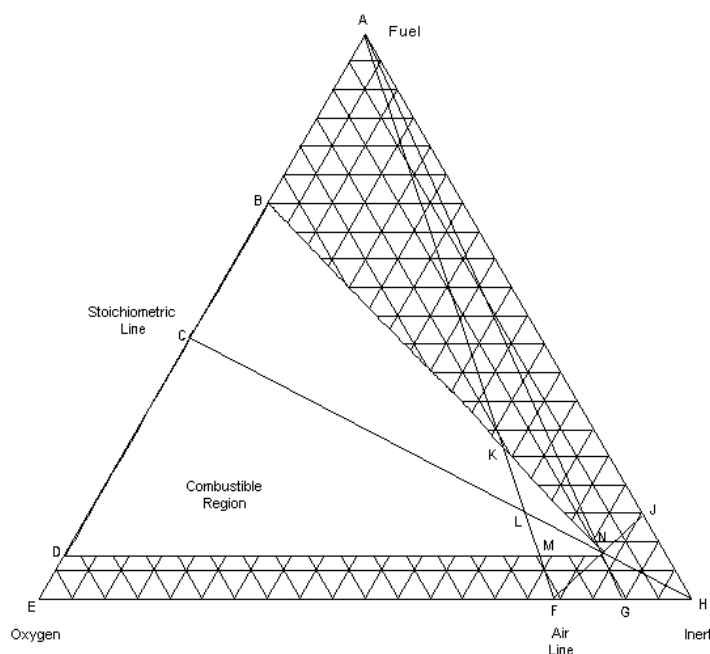
Grafiitti ei ole syttyvää, koska se on mineraali (Säämänen ym. 2004, 35), joten sitä ei käsitelty tässä. 50 g/m³ pitoisuudella MEC-arvot alittuisivat raudalla, piillä, kalsiumsilisidillä ja mangaanilla, mutta alumiinilla ylittyisivät. Alumiinia on tosin vain 0,071 % seoksesta (Airola 2016, 58). Cheremisinoff (2014, 270) esittää, että vaikka palavan pölyn pitoisuuden pysyessä aina alle 25 %, voidaan pärjätä ilman inertointia tai räjähdyspaineen kanavointia, on tätä hyvin vaikea riittävällä varmuudella päätellä, sillä pitoisuudet vaihtelevat häiriöissä, käynnistyksissä ja muissa epävakaisissa tilanteissa. Edellä mainitulla turvakertoimella alin sallittu MEC olisi $(10,6 + 7) \text{ g/m}^3 * (1 / (25 \% / 100 \%)) = 70,4 \text{ g/m}^3$. Tämä pitoisuus ylittäisi piin ja kalsiumsilidin MEC-tulokset.

Tavoitteena oleva $10,6 \pm 7 \text{ g/m}^3$ pitoisuus ei siis sinällään riittäisi räjähdykseen näillä ainesosilla. MEC-arvojen ylittymistä vikatilanteessa tai väärinkäytettynä ei silti voi tässä vaiheessa sulkea pois, eikä pitoisuuden mittausta ole, joten tämän suojakeinon lisäksi tarvitaan toinen itsenäisesti toimiva suojakeino.

6 INERTOINTI

6.1 Yleistä inertoinnista

Inertointiin käytetään palamattomia kaasuja, joilla syrjäytetään happea inertoitavasta tilasta. Näihin kuuluu muun muassa vesihöyry, savukaasut, hiilidioksidi ja typpi (Säämänen ym. 2004, 35).



KUVA 2. Kolmiokuvaaja polttoaineen, hapen ja inertin kaasun suhteesta, viivoittamaton alue kuvaa syttyvää aluetta (Book, Sitton & Ludlow 2000)

Kuvassa 2 on esitetty polttoaineen, hapen ja inertointikaasun suhdetta. Pisteessä A on 100 % polttoainetta, pisteessä E 100 % happea ja pisteessä H 100 % inertointikaasua. Pisteessä F on vain tavallista ilmaa. Jos tavalliseen ilmaan lisätään polttoainetta (eli liikutaan suoralla FA) siinä määrin, että piste M ylittyy, ollaan syttyvällä alueella. Inertointikaasun pitoisuutta lisättäessä ja hapen pitoisuutta vähentäessä päästään rajahappipitoisuuden (kuvassa suora GA) ohi syttymättömälle alueelle. Syttymättömällä alueella eli happipitoisuuden ollessa alle rajahappipitoisuuden voi polttoaineen pitoisuutta nostaa yli MEC-arvon turvallisesti. (Book ym. 2000, 2.)

6.2 Kaasut

Inertointiin käytettävän kaasun pitää pystyä inertoimaan nimenomaan testauspölyn aineita. Kaasun tarjonta voi olla kaupallisten kaasujen kohdalla pulloista, säiliöistä tai erottelulaitoksista, kaasugeneraattoreista, prosessien sivu- tai palamistuotteina, tai höyryä tuottavista laitoksista tai prosesseista (NFPA 69 2014, 11). Monikäyttöisyyden ja logistiikan vuoksi kaasun olisi hyvä olla myös jokin hitsauksessa käytettävistä suojakaasuista, joita tehtaassa jo on. Cheremisinoff (2014, 219) mainitsee, etteivät ammattilaiset suosittele metallipalojen sammutukseen muun muassa vettä, hiilidioksidia tai typpeä (typen kohdalla poikkeuksena rauta, teräs ja alkalimetallit litiumia lukuun ottamatta).

6.2.1 Typpi

Typen saatavuus on hyvä ja kulut kohtuulliset. Inertoinnissa se ei ole yhtä tehokas kuin hiilidioksidi, mutta tehokkaampaa kuin argon. Jotkin metallit, kuten magnesium, reagoivat voimakkaasti korkeissa lämpötiloissa typen kanssa. (Cheremisinoff 2014, 281.) Typen tiheys suhteessa ilmaan on 0,967 (Reinhardt, Himmen & Kaltenecker, 9).

Typpi inertointikaasuna on yleinen. Se on etu, sillä siitä on olemassa kokemuksia. Typpi ei ole täysin inertti, mutta korkeisiin lämpötiloihin ei pölytestauskaapin normaalikäytössä mennä.

6.2.2 Hiilidioksidi

Hiilidioksidia on hyvin saatavilla, ja se on kuluiltaan kohtuullista. Se on tehokkaampaa inertoinnissa kuin typpi, sallien korkeammat happitasot kuin typpi. Jotkin metallit, kuten alumiini, reagoivat voimakkaasti hiilidioksidin kanssa korkeissa lämpötiloissa. (Cheremisinoff 2014, 281.) Hiilidioksidin tiheys suhteessa ilmaan on 1,529 (Reinhardt ym., 9).

Vaikka korkeisiin lämpötiloihin ei pölytestauskaapin normaalikäytössä mennäkään, niin mahdollisuus reagointiin alumiinin kanssa korkeissa

lämpötiloissa pitää huomioida. Inertointia tosin helpottaisi, jos voitaisiin sallia korkeampi happipitoisuus.

6.2.3 Argon

Argon on lähempänä termiä inertti, kuin typpi ja hiilidioksidi. Se ei reagoi lähes minkään aineen kanssa. Se ei saastuta tuotteita, minkä vuoksi sitä käytetään elintarviketeollisuudessa. Argonia on tavallisessa ilmassa. (Woowat, Atherton, Kempself & Windebank 2003, 312).

Argon on ainoa inertointikaasu, jolla voi sammuttaa käynnissä olevan metallipalon Argon on tosin kalliimpaa, kuin typpi tai hiilidioksidi. Se ei myöskään ole yhtä tehokas inertoinnissa, kuin typpi tai hiilidioksidi, jolloin happipitoisuus täytyy laskea alemmas. (Woowat, Atherton, Kempself & Windebank 2003, 312).

6.2.4 Höyry

Höyryä on yleensä saatavilla laitosten toiminnasta sivutuotteena, mutta syöttö saattaa häiriintyä toiminnan vaihteluiden mukaan. Höyryn mukana tulevat myös kosteuden ominaisuudet, kuten kondensoituminen. (Cheremisinoff 2014, 281.)

Höyryä ei ole saatavilla laitteen käyttöpaikalla, eli saatavuus tuottaisi ongelmia. Testattavia laitteita ei ole myöskään tarkoituksenmukaista altistaa kosteudelle. Kosteus vaikuttaisi myös testausprosessiin ei-halutulla tavalla.

6.2.5 Savukaasut

Savukaasuja on saatavilla kaasugeneraattoreilla tai mahdollisesti paikan päällä olevista prosesseista sivutuotteena. Savukaasut ovat tyypillisesti halpoja, mutta lisälaitteet jäähdytykseen ja epäpuhtauksien poistoon voivat nostaa kuluja. Niitä ei välttämättä ole taloudellista tai käytännöllistä säilöä. (Cheremisinoff 2014, 281.)

Savukaasujen tarjonnan riippuessa toisesta prosessista, kyseisen prosessin keskeytyminen keskeyttää myös inertointikaasun tarjonnan. Savukaasut saattavat reagoida joidenkin pölyjen kanssa. Savukaasujen tarjontaa ei pölytestauskaapin käyttöpaikalla ole ennestään.

6.2.6 Parhaiten sopiva kaasu

Koska järjestelmään ei haluta kosteutta, on höyry suljettava pois. Savukaasut eivät olisi käytännöllinen vaihtoehto, eikä niillä saada tässä tapauksessa etua typen, hiilidioksidin ja argonin yli. Jäljelle jäivät typpi, hiilidioksidi ja argon, joista inertointikaasuksi valikoitui argon. Sen eduksi lukeutui muun muassa saatavuus kaasupullojen lisäksi paikan päällä tehtaaseen asennetusta kiinteästä syötöstä. Argon soveltuu myös palavan raudan ja alumiinin sammuttamiseen (NFPA 484 2015, 84).

Argonilla ei ole vaarallisia hajoamistuotteita, se ei ole myrkyllinen (korkeissa pitoisuuksissa tukahduttava, kuten muutkin inertointikaasut), ympäristölle haitallinen, eikä sillä ole silmä- tai ihokosketuksen aiheuttamia haittavaikutuksia. Se voidaan myös johtaa ilmakehään paikassa, jossa on hyvä ilmanvaihto (Air Liquide, 2014, 2 - 7).

6.3 Menetelmät

Inertointiin on neljä eri menetelmää: vakuumihuuhtelu, painehuuhtelu, sifonihuuhtelu ja läpivirtaushuuhtelu. Kaikki menetelmät eivät käy kaikille prosesseille tai kaikille laitteistoille. Myös inertoinnilta haluttu nopeus tai kaasun kulutus vaikuttavat valintaan.

Pölytestauskaapin inertoinnissa on oleellista huomioida olemassa oleva laitteisto ja sen ominaisuudet. Inertointimenetelmä ei saisi vaikuttaa testausprosessiin. Lisäksi inertoinnin kulujen toivotaan pysyvän kohtuullisina.

6.3.1 Vakuumihuuhtelu

Vakuumihuuhtelumenetelmää voi soveltaa silloin, kun käytettävä säiliö on suunniteltu kestämaan alipainetta. Vakuumihuuhtelu suoritetaan sykleissä, jotka toistetaan, kunnes riittävän alhainen happipitoisuus on saavutettu. Ensin avataan poistventtiili, jonka kautta säiliöön luodaan alipaine esimerkiksi alipainepumpulla. Sitten poistventtiili suljetaan ja inertointikaasun syöttöventtiili avataan, jolloin inertointikaasua pääsee virtaamaan säiliöön. Tämän jälkeen syöttöventtiili suljetaan ja sykli alkaa uudestaan. Kun riittävän alhainen pitoisuus on saavutettu, suljetaan sekä poistventtiili, että syöttöventtiili. (Book ym. 2000, 10.)

Pölytestauskaappiin luodaan jo pientä alipainetta, jolla estetään pölyn leviämistä ympäristöön. Sitä varten kaapissa on ejektori, jolla luodaan alipainetta. Kovin suurta alipainetta kaappi ei kuitenkaan kestä.

6.3.2 Painehuuhtelu

Painehuuhtelumenetelmää voi soveltaa silloin, kun käytettävä säiliö on suunniteltu kestämaan korkeampaa painetta. Painehuuhtelu suoritetaan sykleissä. Syklejä toistetaan, kunnes happipitoisuus on riittävän alhaalla. (Book ym. 2000, 15.)

Ensin avataan inertointikaasun syöttöventtiili ja säiliöön muodostuu painetta. Sitten syöttöventtiili suljetaan ja poistventtiili avataan, jolloin paine vapautuu. Sen jälkeen poistventtiili suljetaan ja sykli alkaa uudestaan. Kun happipitoisuus on riittävän alhaisella tasolla, sekä poistettä syöttöventtiili suljetaan. (Book ym. 2000, 15.)

6.3.3 Sifonihuuhtelu

Sifonihuuhtelumenetelmässä säiliön sisältämä kaasu vaihdetaan nesteiden avulla. Poistuessaan säiliöstä neste vetää mukanaan kaasua säiliöön ja säiliö täyttyy inertointikaasusta. Tällä menetelmällä kaasut eivät pääse sekoittumaan ja yksi sykli riittää. (Book ym. 2000, 19.)

Sifonihuuhtelussa ilmaa/kaasua sisältävä säiliö täytetään nesteellä, jolloin kaasu pakottuu nesteen pinnan mukana ylöspäin ja lopulta kaasunpoistventtiilin kautta pois säiliöstä. Siinä vaiheessa säiliön tilavuus on täynnä nestettä ja kaasunpoistventtiili suljetaan. Seuraavaksi avataan inertointikaasun syöttöventtiili ja nesteen poistventtiili. (Book ym. 2000, 19.)

6.3.4 Läpivirtaushuuhtelu

Läpivirtausmenetelmässä inertointikaasu virtaa jatkuvasti säiliön läpi. Inertointikaasu joko syrjäyttää jäännöskaasut tai ne sekoittuvat siihen. Jotta inertointikaasu syrjäyttäisi ja/tai sekoittaisi jäännöskaasut läpikotaisin, pitää syöttö- ja poistventtiilit sijoittaa asianmukaisesti. (Book ym. 2000, 24.)

Menetelmä toimii huonommin säiliöissä, joihin muodostuu ilmataskuja. Jäännöskaasujen syrjäyttäminen on tehokkaampaa, kun virtaus on laminaarista, mutta sekoittuminen on tehokkaampaa, kun virtaus on turbulენტista. Näistä syrjäyttämisen vaikutus jätetään toissijaiseksi. (Book ym. 2000, 24.)

6.3.5 Parhaiten sopiva menetelmä

Pölytestauskaapin inertointiin ihanteellisin ratkaisu olisi vakuumihuuhtelu. Kaappia suunniteltaessa on sovellettu vakuumia pölynpoistoon ja siksi alipaineen luomiseen on jo toimituslaite, ejektorit. Kaappia ei ole suunniteltu toimimaan ylipaineessa, joten on mahdollista, että kaasu pääsisi vuotamaan huoneeseen, jossa kaappia käytetään. Tämä sulkee painehuuhtelun pois. Sifonihuuhtelussa käytetään nestettä, minkä takia sitä ei voi tässä tapauksessa käyttää. Läpivirtausmenetelmä tarvitsee jatkuvaa inertointikaasuvirtaa, mikä olisi kallista. Lisäksi kaapissa on pölynkierrätyskanava sekä nurkkia, jotka ovat läpivirtauksen kannalta epäedullisia.

Vakuumihuuhtelumenetelmällä optimitilanteessa ja täysin tiiviissä säiliössä voitaisiin ilmaa painavampaa inertointikaasua lisätä alhaalta ja poistaa kevyempää happea ylhäältä, kunnes pitoisuus on saavutettu.

Vakuumihuuhtelussa säiliöön vuoroin luotaisiin alipainetta ja lisättäisiin inertointikaasua. Tästä johtuen menetelmässä tarvitaan paine-eroanturi. Inertointivaiheessa tarvitaan kaksi alipainetasoa, ala- ja yläraja. Alipainetta luodaan alarajaan asti, jonka jälkeen poistoventtiili sulkeutuu ja syöttöventtiili aukeaa. Inertointikaasua syötetään paineen ylärajaan asti, jonka jälkeen syöttöventtiili sulkeutuu ja alipainetta kasvatetaan uudelleen. Säiliön sisällä vaikuttava paine pidetään siis koko ajan alle säiliön ulkopuolisen paineen. Kun säiliö on inertoitu, prosessin voisi käynnistää, eikä inertointikaasua enää pölytestauksen aikana kuluisi.

6.4 Inertointi pölytestauskaapin tapauksessa

Vakuumihuuhtelun kannalta pölytestauskaapissa on muutama ongelma. Kaappi on suunniteltu toimimaan vain pienessä alipaineessa, eikä kovin suuria paine-eroja kestä. Kaappiin myös oletettavasti vuotaa ilmaa. Kaappiin vuotava ilma kasvattaa happipitoisuutta, jolloin happipitoisuutta pitää pystyä saman verran laskemaan eli inertoinnin pitää pystyä kompensoimaan tämä. Mikäli ilmaa voi vuotaa kaapin sisään, voi myös inertointikaasua vuotaa kaapista ulos, mikäli alipainetta ei muodostu. Kaapin sisä- ja ulkopuolen paine-eroa tarkkailemaan tarvitaan paine-eroanturi. Koska hapen vuotamista kaappiin haluttiin minimoida, valittiin paine-eroalueen anturi, jonka mittausalue on 0 - 5 mbar.

Ejektoria valittaessa ei ole huomioitu, että kaappi inertoidaan, joten on valittu malli, jossa on sisäinen vaimennin. Mikäli poistoilma olisi hengitettävää ilmaa, ei ongelmaa olisi, mutta nyt argonia siirrettäisiin kaapin ympärille tilaan, jossa kaappia käytetään. Argonia sisältävä poistoilma pitäisi saada ohjattua esimerkiksi ulos, jotta se ei aiheuttaisi tukehtumisvaaraa. Tähän tarvittaisiin ejektorimalli, jossa olisi poistoilmalle letkuliitäntä.

Käytännössä inertointi tehdään niin, että inertointikaasua syötetään jatkuvasti kaappiin, kuten läpivirtaushuuhtelussa, ja samalla pidetään kaapissa pieni alipaine, kuten vakuumihuuhtelumenetelmässä. Tämä vaatii inertointiaineen syötöltä enemmän virtausta, kun kaappiin vuotavaa ilmaa/happea kompensoidaan inertointikaasulla, ja vielä enemmän poistokapasiteettia ejektorilta, jonka pitää poistaa sekä kaappiin vuotavaa happipitoisuutta nostavaa ilmaa, että alipainetta vähentävää inertointikaasua.

6.5 Happipitoisuusarvot

Järjestelmän toiminnan turvallisuuden riippuessa inertoinnista, ei varsinainen pölytestaus eli pölyn kierrätys kaapin sisällä saa toimia missään vaiheessa rajahappipitoisuudella tai sitä korkeammalla happipitoisuudella, sillä se on raja, jonka yläpuolella syttyminen on happipitoisuuden puolesta mahdollista. Happipitoisuus pitää silloin rajoittaa turvallisella marginaalilla rajahappipitoisuuden alle. Tämä koskee niin käyttöä kuin vikatilanteitakin.

Barry J. Cunliffe (2001, 313) kuvailee artikkelissaan neljää happipitoisuuden tasoa:

- Limiting Oxygen Concentration eli LOC (rajahappipitoisuus)
- Maximum Permissible Oxygen Concentration eli MPOC
- ensimmäinen hälytystaso, ja
- normaali käyttötila.

Näistä rajahappipitoisuus määräytyy inertoitavan aineen mukaan ja selviää testaamalla tai materiaalin turvallisuustiedotteista. Loput kolme määräytyvät rajahappipitoisuuden perusteella. MPOC-taso, eli suurin sallittu happipitoisuus, on taso, jonka kohdalla järjestelmän täytyy ajaa itsensä automaattisesti alas turvalliseen tilaan. MPOC-tason yleisesti hyväksytty arvo on 2 v% alle rajahappipitoisuuden, mutta lopulta tämä riippu siitä, kuinka nopeasti happipitoisuus voi nousta vikatilanteessa. Jos

happipitoisuus voi nousta vikatilanteessa niin äkkiä, että 2 v%:n marginaali MPOC:n ja rajahappipitoisuuden välillä kuroutuu umpeen, pitää eroa kasvattaa. Tälle tasolle päädyttäessä on ohitettu jo ensimmäinen hälytystaso. Ensimmäinen hälytystaso on taso, jonka kohdalla tulee soida hälytys ja käyttäjällä on mahdollisuus suorittaa tarvittavat toimenpiteet. Marginaalia ensimmäisen hälytystason ja MPOC:n välillä pitää olla siinä määrin, että käyttäjällä on aika reagoida ja vaikuttaa tilanteeseen ennen järjestelmän toiminnan alasajoa. Tämä riippuu järjestelmän herkkyydestä.

Ensimmäinen hälytystaso on merkki siitä, että happipitoisuus on noussut normaali käyttötilasta. Normaali käyttötila on happipitoisuuden taso, jolle järjestelmä ajetaan ennen prosessin aloittamista ja pidetään prosessin ajan. Ero normaalin käyttötilan ja ensimmäisen hälytystason välillä tulisi olla käytännöllisyyden kannalta riittävä. (Cunliffe 2001, 313 – 314.)

Pölytestauskaapin tapauksessa inertointikaasuna käytetään argonia, jonka tiheys on 1,38 kertainen suhteessa ilmaan. Koska argon on ilmaa tiheämpää, se laskeutuu alas ja ilma nousee ylös. Happianturi tarvitaan siis mahdollisimman ylös, että saataisiin totuudenmukainen mittaustulos happipitoisuudesta.

Seoksen aineille (järjestyksessä isoimmasta seoksen osuudesta pienimpään, lukuun ottamatta alle 0,01 % osuuksia) on saatu seuraavanlaisia rajahappipitoisuuden arvoja:

- rauta 10 - 17 v%
- pii 11 - 15 v%
- mangaani 15 - 17 v%
- alumiini 2 - 9 v%
- kalsiumsilisidi 8 - 15 v%.

Arvoja on saatu vaihtelevilla inertointikaasuilla (Jacobson ym. 1964, 15 – 19). Alle 10 v% rajahappipitoisuuksia on seoksen aineista mitattu alumiinilla ja kalsiumsilisidillä, mutta niiden pitoisuudet ovat hyvin pieniä, alle 0,1 %. Niiden MEC-arvot eivät siis ylitä, eivätkä ne juuri vaikuta koko

seoksenkaan arvoihin. Ne voidaan siis jättää huomiotta, kunhan kyseisten aineiden pitoisuudet eivät kasva. Raudan tuloksista alin 10 v% on mitattu rautakarbonyylilla ja 11 v% on ollut alle 53 µm kokoinen 98 % rautaa sisältänyt näyte.

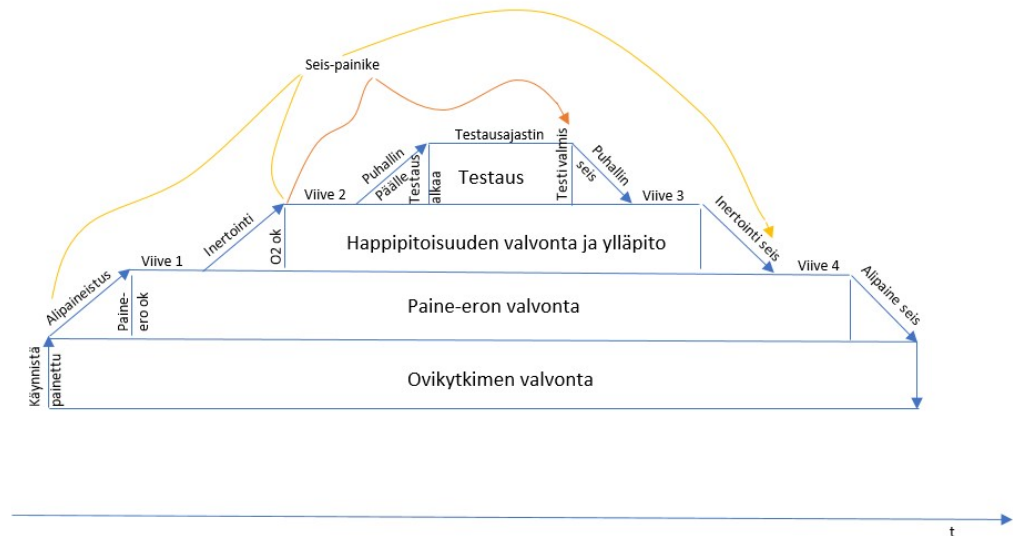
Otetaan Jacobson ym. (1964, 16) tutkimuksessa saatu rajahappipitoisuusarvo, joka löytyy myös NFPA 484 2015 taulukosta A.1.1.3(b), eli alle 44 µm mediaanikokoinen rautapöly, joka syttyi tutkimuksessa 13 v% happipitoisuudella. Tulokset on saatu hiilidioksidilla, joka sallii korkeamman rajahappipitoisuuden, kuin typpi tai argon. Aineilla, joilla rajahappipitoisuusarvoja on testattu sekä hiilidioksilla, että argonilla, on argon tarvinnut n. 5 v% pienemmän happipitoisuuden. Titaanihydridin rajahappipitoisuus on ollut hiilidioksidilla 13 v%, tyypellä 10 v% ja argonilla 8 v%. Zirconiumhydridin rajahappipitoisuus on ollut hiilidioksidilla 11 v%, tyypellä 8 v% ja argonilla 6 v%. (Jacobson ym. 1964, 18.) On siis perusteltua olettaa, että rajahappipitoisuus on argonilla jopa 5 v% pienempi kuin hiilidioksidilla, eli 8 v%. Lähtökohtaisen 2 v% marginaalin riittäessä MPOC-taso sijoittuu 6 v% kohdalle, eli happipitoisuuden noustessa 6 v%:iin, on järjestelmän ajettava itsensä alas turvalliseen tilaan. Säämänen ym. (2004, 35) mainitsee räjähdysvaaran vähentämisestä pitämällä happipitoisuus tyypellä tai hiilidioksidilla alle 5 v%:n, johon edellä olevan pohjalta normaali käyttötaso luultavasti asettuisi.

Näin alhaisilla happipitoisuuksilla pitää tukehtumisvaaran vuoksi huomioida happipitoisuus myös kaapin ulkopuolella. 4 - 6 v% happipitoisuus ilmassa on kuolettava ja aiheuttaa kooman 40:ssä sekunnissa, ja jo alle 14 v%:n happipitoisuus vaikuttaa harkintakykyyn (Reinhardt ym., 41). Ilmaa tiheämpi kaasu laskeutuu alaspäin, jolloin kellaritilat ym. saattavat täyttyä, jos kaasua pääsee vuotamaan, ja siksi poistoilman kanavointi pitää toteuttaa siten, että kaasu saadaan johdettua ilmakehään.

7 MUUTOKSET PÖLYTESTAUSKAAPIN TOIMINTAAN JA OHJAUKSEEN

7.1 Yleistä muutoksista

Lähtötilanteessa pölytestauksen toiminta oli suunniteltu toimivaksi siten, että pölytestauskaapin oven ollessa kiinni pölytestauksen voi aloittaa, jolloin puhallin ja alipaineistustoiminnot ovat päällä heti alusta alkaen. Laitteiston käyttöliittymänä oli taajuusmuuttajan kaukokäyttöpaneeli, paineensäädin ja 2 päälle/pois-kytkintä. Kun laitteistoon lisätään inertointi mukaan, täytyy laitteiston toimintasykliä mukauttaa siihen.



KUVA 3. Toimintasyklin vaiheet

Koska pölyn kierrättäminen pölytestauskaapissa luo syttymiskelpoista ilma-pöly-seosta, pitää puhaltimen ollessa päällä myös inertoinnin olla päällä ja valvottuna. Koska inertointikaasu syrjäyttää happea, pitää alipaineistuksen olla päällä ja valvottuna. Uusi toimintasykli toimii vaiheissa. Meneillään olevan vaiheen aikana luodaan edellytys seuraavalle vaiheelle ennen uuden vaiheen aloittamista. Vaiheen päällä olon edellytystä aletaan valvoa vaiheen alettua. Kuvassa 3 on esitetty syklin vaiheiden asetus, purku ja valvonta. Ensimmäisenä kehitetään

sopiva alipaine, jota aletaan valvoa. Kun paine-ero on tasaantunut, aloitetaan inertointivaihe, jonka käyntilupa perustuu sille, että paine-ero pysyy rajoissa. Kun happipitoisuus on laskettu normaalille tasolle ja se on tasaantunut, on edellytykset testaukselle olemassa ja itse pölytestauksen voi aloittaa. Pölytestausvaihe itsessään pysyy samana, eli puhaltimella kierrätetään pölyä pölytestauskaapin läpi, mutta ennen kuin laitteisto voi aloittaa sen, pitää olosuhteiden olla turvalliset. Kun pölytestaus on suoritettu, puretaan syklin vaiheet käänteisessä järjestyksessä, jolloin inertointi on yhä päällä, kun pölytestaus lopetetaan, alipaineistus on päällä kun inertointi lopetetaan ja lopuksi alipaineistus lopetetaan. Sykliä välillä on viiveitä. Viiveen 1 aikana varmistutaan paine-eron toteutumisesta. Viiveen 2 aikana varmistutaan happipitoisuuden tasaantumisen. Testausvaiheen päätyttyä tai pysäytysvaiheen muuten alettua, alkaa viive 3, jonka aikana odotetaan pölyn laskeutumista, eli dispersioehdon poistumista. Lopuksi viiveen 4 aikana poistetaan inertointikaasu pölytestauskaapista. Kaikelle toiminnalle edellytyksenä on, että kaapin ovi on kiinni ja hätäseis-painiketta tai pikapysäytys-painiketta ei ole painettu. Syklin vaiheesta seuraavaan siirrytään seuraavaan automaattisesti, kun sen edellytykset täyttyvät.

Käyttöliittymä muuttui siten, että taajuusmuuttajan kaukokäyttöpaneelin sijaan käytetään näytöllistä plc:tä. Plc:llä käsitellään kaikki antureilta, taajuusmuuttajalta, painonapeilta ja kytkimiltä saatava tieto. Plc antaa taajuusmuuttajalle ohjauksen ja nopeusohjeen, inertoinnin syöttöventtiilille ja ejektorin ohjausventtiilille päälläolokäskyn ja tärymoottorille päälläololuvan. Käyttäjä aloittaa toiminnan painamalla aloituspainiketta, jonka jälkeen käyttäjä tarvittaessa säätää inertointikaasun syöttöä. Käyttäjä saa tiedon prosessin vaiheista, happipitoisuudesta, paine-erosta ja puhaltimen nopeudesta plc:n näytöltä. Käyttäjällä on mahdollisuus keskeyttää laitteiston toiminta pysäytyspainikkeella, jolloin laitteisto alkaa purkamaan aloitettuja vaiheita hallitusti, jonka jälkeen laitteisto palautuu aloitustilaan kuten syklin loputtua normaalisti. Pysäytyspainikkeen lisäksi hallitun pysäytyksen aloittaa myös happipitoisuuden nousu MPOC-pitoisuudelle testauksen ollessa käynnissä, paine-eron liiallinen lasku

inertoinnin ollessa käynnissä sekä kahden happianturin toisistaan poikkeavan lukeman aiheuttama anturivika. Ennen pysäytystä happipitoisuuden nousu ja paine-eron lasku aiheuttavat hälytyksen, jättäen käyttäjälle marginaalia tehdä mahdollisia korjaavia toimenpiteitä, kuten lisätä inertointikaasun syöttöä.

Pikapysäytys-toiminnolla puhallin- ja tärytoiminnot, inertointi ja alipaineistus suljetaan ohjelmallisesti välittömästi. Tämä ei katkaise virransyöttöä. Mikäli hätäseis-painiketta painetaan, katkeaa virransyöttö koko järjestelmältä. Tällöin ejektorin ohjausventtiili ja inertointikaasun syöttöventtiili menevät lepotilaansa eli kiinni-asentoon.

7.2 Säädot

Paine-eron säätö tapahtuu kaksipistesäädöllä, paine-eron ollessa alarajalla tai sen alapuolella, ohjataan alipaineistus on-tilaan, ja paine-eron saavuttaessa ylärajan, ohjataan alipaineistus off-tilaan. Paineilman syötön manuaalisella säätimellä säädetään ejektorin tehoa, mikäli ejektorin halutaan kehittävän alipainetta nopeammin tai hitaammin. Inertointikaasun syöttö päälle ja pois toimii plc:n ohjaamalla venttiilillä, mutta syötön määrä säädetään manuaalisesti kohdalleen ja uudelleensäädetään tarvittaessa. Käyttäjä voi muuttaa plc:n kautta testaukseen käytettävää aikaa ja puhaltimen nopeutta. Testaukseen käytettävän ajan näkee aloitustilassa ja sitä voi muuttaa vielä ennen testausvaihetta. Puhaltimen nopeuden näkee sille varatussa ikkunassa plc:n näytöllä ja sitä voi muuttaa plc:n ollessa päällä.

8 TURVALLISUUDEN ARVIOINTIA

Seoksen sisältämien aineiden tutkimustuloksista voidaan päätellä, että tietyllä happipitoisuudella pölyseos ei syty. Happipitoisuus rajoitetaan riittäväksi laskelmoidulla marginaalilla rajahappipitoisuuden alle ja pölytestaustoiminta sallitaan vain tämän ehdon ollessa voimassa. Näin ollen räjähdysviisikulmion dispersioehto ja toisaalta myös pölyn kierrättämisen aiheuttaman kipinöinnin riskin tuoma syttymislähde-ehto ovat pölytestaustoiminnan vuoksi läsnä vain silloin, kun happiehto ei ole.

Alennetun happipitoisuuden todentaminen tapahtuu happiantureilla. Antureita haluttiin anturivian poissulkemiseksi kaksi kappaletta. Antureiden arvoja vertaillaan toisiinsa ja toiminta lopetetaan, jos arvot poikkeavat.

Inertointikaasun mukana tulee myös uusi riski, sillä inertointikaasun inertointivaikutus perustuu hapen syrjäyttämiseen ilmasta. Inertointikaasun täytyy siis pysyä kaapin sisällä ja poistua hallitusti paikkaan, jossa se pääsee haihtumaan aiheuttamatta vaaraa. Mikäli kaapissa on alipaine, voidaan päätellä, ettei inertointikaasua pääse vuotamaan, vaan se poistuu alipainetta kehittävästä ejektorin kautta. Tieto kaapin sisä- ja ulkopuolen välisestä paine-erosta saadaan käyttöalueelle mitoitetulla paine-eroanturilla. Ejektori vaihdettiin malliin, jossa on liitäntä poistoilmaletkulle, jota pitkin poistoilma ohjataan pois.

Antureiden ja toimilaitteiden ohjaus muutettiin plc-pohjaiseksi. Logiikka saa tiedon laitteiston tilasta antureilta ja sallii tai lopettaa toiminnan turvallisuusehtojen täyttymisen mukaan. Logiikkaohjelma on tehty sellaiseksi, että kukin toiminnan vaihe alkaa ja loppuu tiettyjen ehtojen täytyttyä, tietyssä järjestyksessä, minkä lisäksi jokaisella vaiheella on määrättyjen ehtojen täyttymiseen perustuva lupansa. Tarvittavia seikkoja siis valvotaan ja toimintaa sallitaan tai lopetetaan niiden mukaan.

Laitteiston turvallisuuteen vaikuttaa myös säännölliset tarkastukset, ylläpito ja huolto. Pölytestauksen sisäpuolella vaikuttavat turvatoimet eivät myöskään poista tarvetta puhtaanapidolle laitteiston ympäristössä,

huolellisuudelle metallipölyn varastoinnissa tai pölyturvallisuuden yleiselle huomioimiselle.

9 YHTEENVETO

Opinnäytetyössä selvitettiin pölyräjähdysriskin mahdollisuus sekä syttymisen ja räjähdysen torjunta- ja vaurioiden estämis-/minimointikeinot etsimällä tietoa kirjallisuudesta ja verkkolähteistä, sisältäen tutkimuksia, kirjoja, tiedotteita ja koulutusmateriaalia. Johdannossa tavoitteissa listattuihin selvitettäviin asioihin saatiin vastauksia. Saatiin selville, että pölyn leimahtamisen ehdot ovat happi, syttyvä pöly ja syttymislähde. Pölyräjähdysen ehtoja ovat edellisten lisäksi leimahduksen laajenemisen rajaaminen ja pölyn dispersio. Tiedonhaun pohjalta voitiin päätellä, että tietyissä olosuhteissa myös metallipölyt voivat olla syttyviä ja räjähtäviä. Konepajapölyn ainesosien ominaisuuksista selvisi, että niistä suurin osa on syttyviä normaaliolosuhteissa. Alumiini, jota tosin on seoksessa hyvin pieni määrä, erottui syttymisherkkydeltään muista. Myös rauta, jota on seoksessa eniten, on syttyvää.

Pölyn syttymisriskin voitiin todeta olevan olemassa ilman jatkokeinoja, sillä pölyräjähdysen ehdot täyttyivät. Pöly on syttyvää, sillä oli happea ja mahdollinen syttymislähde kipinöinnin muodossa. Lisäksi pöly on testauksen aikana dispersioitunut ja suljetussa tilassa.

Pölyräjähdysen torjuntakeinoja kartoitettiin ja soveltuvaksi keinoksi valikoitui inertointi argon-kaasulla. Inertoinnin käyttöönottamiseksi laitteistoon täytyi tehdä muutoksia ohjauksen, anturoinnin ja toimilaitteiden osalta. Ohjauksesta tuli plc-pohjainen, hapen tarkkailuun tuli kaksi happipitoisuusanturia ja paine-eron valvontaan paine-eroanturi ja ejektori vaihdettiin malliin, jossa on liitäntä poistokaasujen johtamiseen muualle. Pölytestauskaapin valmistumista ja saattamista käyttöön edistettiin siltä osin, että käsitys turvallisuuden tasosta leimahduksen osalta selveni, keinoja sen parantamiseen alettiin ottaa käyttöön ja laitteisto on nyt lähempänä käyttöönottoa, kuin lähtötilanteessa.

Opinnäytetyön kirjoitettavan tekstin ollessa valmistumassa, on pölytestauskaappi vielä rakentamisvaiheessa. Käytännön kokeita

laitteistolla ei siis ole vielä tehty. Työn aikana saatiin aikaan seuraavat dokumentit:

- Käyttöohje, jossa kuvattu ohjelman käyttö pääpiirteissään.
- Alustavat logiikan kytkentäpiirustukset
- Alustavat rakennekuvat
- Komponenttilistaus
- Logiikkaohjelma

Työn aikana tehtyjä dokumentteja ei julkaista, vaan ne jäävät Kempin Oy:lle.

Pölyräjähdysriskin voitiin siis todeta olevan olemassa ilman jatkotoimenpiteitä. Testaukseen koostettu pölyseos sisältää ainesosia, jotka voivat dispersioituneina, normaalilämpötilassa ja -ilmanpaineessa, syttyä ja aiheuttaa pölyräjähdysten. Myös isoimman osuuden kattava rautajauhe on syttyvää.

Räjähdyksen vaurioiden estämisen- ja minimointikeinot osoittautuivat odotetusti kalliiksi ja säännellymmäksi kentäksi, joten räjähdystilojen muodostuminen haluttiin estää ja turvallisuutta lähdettiin hakemaan räjähdysten torjuntakeinojen kautta. Syttyvän aineen, eli metallipölyn, vaihtaminen toiseen ei olisi ollut tarkoituksenmukaista. Pölyn pitoisuuden kontrollointi luotettavasti ilman, että räjähdyspitoisuuksia muodostuisi edes hetkellisesti tai paikoittain ei ollut siinä määrin toteutettavissa, että sillä olisi saavutettu riittävä turvallisuuden taso. Näin ollen jäljelle jäi inertointi, johon oppinäytetyössä perehdyttiin räjähdysten torjuntakeinoista tarkimmin.

Inertoinnin menetelmät, inertointikaasut ja käsiteltävien aineiden ominaisuuksien vaikutus inertointiin käytiin läpi ja pölytestauskaapin ja testauspölyn ominaisuuksiin liittyvät seikat pyrittiin huomioimaan inertoinnin lisäämisessä järjestelmään. Oppikirjaesimerkkejä ei sellaisenaan voinut laitteistoon soveltaa, vaan inertointimenetelmäksi tuli yhdistelmä vakuumihuuhtelua ja läpivirtausmenetelmää. Inertointikaasuksi valikoitui argon, jonka eduksi lukeutui saatavuus paikan päällä ja

ominaisuudet nimenomaan metallipölyjen inertoinnissa. Inertoinnin liittäminen olemassa olevaan laitteistoon aiheutti lisäyksiä anturointiin ja työn loppuvaihe sisälsi myös ohjaussuunnittelua plc:n käyttöönoton sekä ohjauksen ja toimintasyklin muutosten vuoksi.

LÄHTEET

Air Liquide. 2014. Käyttöturvallisuustiedote Argon.

Käyttöturvallisuustiedote [viitattu 8.2.2018]. Saatavissa:

http://alsafetydatasheets.com/download/fi/Argon_compressed_FI.pdf

Airola, A. 2016. Menetelmä ja laitteisto hitsauskoneiden pölytestaukseen. Aalto-yliopisto. Diplomityö.

Amyotte, P. 2013. An Introduction to Dust Explosions. Kidlington, Oxford, Iso-Britannia: Butterworth-Heinemann.

Book, N., Sitton, O. & Ludlow, D. 2000. Inerting or purging. University of Missouri-Rolla. Opetusmoduuli [viitattu 18.1.2018]. Saatavissa:

<http://web.mst.edu/~dludlow/classes/che258/INERTING.doc>

Cheremisinoff, N. 2014. Dust Explosion and Fire Prevention Handbook. Hoboken, New Jersey, Yhdysvallat: Wiley.

Cunliffe, B. 2001. Avoiding explosions by means of inerting systems.

Chilworth Technology Limited. Artikkelit [viitattu 19.1.2018]. Saatavissa:

https://www.icheme.org/communities/subject_groups/safety%20and%20loss%20prevention/resources/hazards%20archive/~media/Documents/Subject%20Groups/Safety_Loss_Prevention/Hazards%20Archive/XVI/XVI-Paper-24.pdf

Eckhoff, R. 1996. Prevention and mitigation of dust explosions in the process industries: A survey of recent research and development.

Tutkimus [viitattu 30.1.2018]. Saatavissa:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0950423095000445>

Health and safety Executive. 2003. Safe handling of combustible dusts: Precautions against explosions. Ohje [viitattu 19.1.2018]. Saatavissa:

<http://www.hse.gov.uk/pUbns/priced/hsg103.pdf>

Jacobson, M., Cooper, A. & Nagy, J. 1964. Explosibility of metal powders. Washington, Yhdysvallat: U.S. Dept. of the Interior, Bureau of Mines.

Tutkimus [viitattu 19.1.2018]. Saatavissa:

<http://www.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/b270510.pdf>

Kemppi Oy. 2018. Tietoa yrityksestä [viitattu 8.4.2018]. Saatavissa:

<https://www.kemppi.com/fi-FI/yritys/kemppi/tietoa-yrityksesta/>

Khambekar, J. & Pittenger H. 2013. Understanding and preventing metal dust hazards. Journal of Powder Metallurgy. Nro 4/2013 [viitattu 19.1.2018]. Saatavissa:

http://jenike.com/files/2013/09/IJPM_Article_11.13.pdf

MIL-STD-810G, 2008. Environmental Engineering Considerations and Laboratory Tests. Washington, Yhdysvallat: Dept. of Defense.

NFPA 484, 2015. Standard for Combustible Metals. Quincy, Massachusetts, Yhdysvallat: National Fire Protection Association.

NFPA 69, 2014. Standard on Explosion Prevention Systems. Quincy, Massachusetts, Yhdysvallat: National Fire Protection Association.

Reinhardt, H., Himmen, H. & Kaltenecker J. Inerting in the chemical industry. Esite [viitattu 17.1.2018]. Saatavissa:

https://www.boconline.co.uk/internet.lg.lg.gbr/en/images/Inerting-in-the-chemical-industry410_166975.pdf?v=1.0

Säämänen, A., Riipinen, H., Kulmala, I. & Welling, I. 2004. Pölyntorjunta. Työsuojelurahasto. Luentoaineisto [viitattu 23.1.2018]. Saatavissa:

<http://virtual.vtt.fi/virtual/proj3/polyverkko/pace.pdf>

Turvallisuus- ja kemikaalivirasto. 2015. ATEX Räjähdyksvaarallisten tilojen turvallisuus. Opas [viitattu 25.1.2018]. Saatavissa:

https://tukes.fi/Tiedostot/vaaralliset_aineet/esitteet_ja_opaat/ATEX_opas.pdf

U.S. Dept of Labor, Occupational Safety and Health Administration. 2005. Combustible Dust in Industry: Preventing and Mitigating the Effects of Fire

and Explosions. Tiedote [viitattu 19.1.2018]. Saatavissa:

<https://www.osha.gov/dts/shib/shib073105.html>

Woowat, A., Atherton, P., Kempell, I. & Windebank, S. 2003. Lessons learnt from fitting an inert gas blanketing facility to an existing storage silo.

British Nuclear Fuels plc. Artikkelit [viitattu 22.1.2018]. Saatavissa:

https://www.icheme.org/communities/subject_groups/safety%20and%20loss%20prevention/resources/hazards%20archive/~media/Documents/Subject%20Groups/Safety_Loss_Prevention/Hazards%20Archive/XVII/XVII-Paper-24.pdf