



Tyhjöpumput ja -järjestelmät

TURVALLISUUSOHJEET

Tekijänoikeusilmoitus

©Edwards Limited 2019. Kaikki oikeudet pidätetään.

Sisältö

1. Johdanto.	5
1.1 Julkaisun tarkoitus.	5
1.2 Räjähdyriskit.	5
2. Vaaratilanteiden syntyminen.	7
2.1 Suunnittelu.	7
2.2 Rakenne.	7
2.3 Käyttö/käyttöönotto.	8
2.4 Huolto / käytöstä poistaminen.	8
3. Kemikaaleista johtuvat vaaratilanteet.	9
3.1 Kemialliset reaktiot ja räjähdykset.	9
3.1.1 Homogeeniset reaktiot.	9
3.1.2 Heterogeeniset reaktiot.	9
3.2 Epänormaaleihin reaktioihin liittyvät ongelmat.	9
3.3 Räjähdyksvaarat.	10
3.3.1 oksidantit.	10
3.3.2 syttyvät/räjähtävät aineet.	11
3.3.3 Pyroforiset aineet.	11
3.3.4 Natriumatsidi.	12
3.4 Myrkylliset tai syövyttävät aineet.	12
3.4.1 Myrkylliset aineet.	12
3.4.2 Syövyttävät aineet.	13
3.5 Yhteenveto – kemikaaleista johtuvat vaaratilanteet.	14
4. Fysikaalisista seikoista johtuvat vaaratilanteet.	15
4.1 Ylipaineen aiheuttamien vaarojen tyypit.	15
4.2 Ylipaineistettu pumpun poistojärjestelmä.	15
4.3 Suoja poistokanaviston ylipainetta vastaan.	15
4.4 Syöttöpuolen ylipaine.	16
4.4.1 Painekaasun syöttö ja vastapaine.	16
4.4.2 Pumpun väärä käyttö.	16
4.5 Yhteenveto – fysikaalisista seikoista johtuvat vaaratilanteet.	17
5. Vaara-analyysi.	18
6. Järjestelmän suunnittelu.	19
6.1 Järjestelmän paineluokitukset.	19
6.2 Virtaamattomien kohtien eliminointi.	19
6.3 Poistokaasujen poistojärjestelmät.	20
6.4 Räjähdyksalttiiden kaasu- ja höyryseosten lähteet.	20

6.5	Syttymisalttiiden kohtien välttäminen.	21
6.6	Järjestelmän suojaustaso.	23
6.7	Palosuojiin perustuvien suojausjärjestelmien käyttö.	24
6.8	Sytytyslähteet.	24
6.9	Yhteenvedo – järjestelmän suunnittelu.	26
7.	Laitteiston valitseminen oikein.	27
7.1	Öljytiivisteellä varustetut kiertosiipi- ja mäntäpumput.	27
7.2	Edwardsin kuivapumput.	28
7.3	Putkiston suunnittelu.	28
7.3.1	Palkeet.	28
7.3.2	Taipuisat putket.	28
7.3.3	Kiinnityskohdat.	29
7.3.4	Tiivisteet.	29
7.4	Fyysinen ylipainesuoja.	29
7.4.1	Paineen vapautus.	29
7.4.2	Ylipainehälytys- ja turvalaukaisujärjestelmä.	29
7.4.3	Paineensäätimet.	30
7.4.4	Palosuojat.	30
7.5	Poistojärjestelmät.	30
7.6	Yhteenvedo – laitteiston valitseminen oikein.	31
8.	Käyttömenetelmät ja koulutus.	32
9.	Yhteenvedo.	33

Edwards Ltd sanoutuu irti kaikista vastuista ja takuista, jotka liittyvät tässä kuvattujen tietojen, menettelytapojen tai käyttökohteiden paikkansapitävyyteen, käytäntöön, turvallisuuteen ja tuloksiin. Edwards Ltd ei vastaa mistään menetyksistä tai vahingoista, jotka ovat tulosta tämän julkaisun tietoihin luottamisesta, tai siitä, että annetut tiedot ovat jollain tapaa virheellisiä tai vaillinaisia. Huomaa, että tämän julkaisun sisältämät tiedot ovat ainoastaan neuvoa-antavia. Edwards pystyy ohjeistamaan vaarallisten aineiden käyttöön liittyvistä mahdollisista vaaroista, mutta on loppukäyttäjän vastuulla laatia riskianalyysi/ vaara-analyysi, joka käsittelee nimenomaan heidän käyttökohdettaan ja -ympäristöään, ja noudattaa kansallisia määräyksiä.

1. Johdanto

1.1 Julkaisun tarkoitus

Tähän julkaisuun on koottu turvallisuustietoja, jotka liittyvät tyhjöpumppujen ja -järjestelmien ominaisuuksiin, rakenteeseen, käyttöön ja huoltoon.

Julkaisussa on eritelty joitain mahdollisia vaaratilanteita ja annettu ohjeet siihen, kuinka kyseiset turvallisuutta uhkaavat vaarat voidaan minimoida ja varmistaa, että niiden sattuessa osataan toimia oikein.

Julkaisu on tarkoitettu kaikkien niiden luettavaksi, jotka laativat tyhjöpumppujen ja -järjestelmien erittelyjä tai suunnittelevat, asentavat, käyttävät tai huoltavat sellaisia. Julkaisua suositellaan luettavaksi yhdessä:

- laitteiston mukana toimitetun käyttöoppaan
- käyttökaasujen ja -kemikaalien toimittajien antaman ohjeistuksen
- yrityksen oman turvallisuusosaston antaman ohjeistuksen kanssa.



VAROITUS:

Jos tässä julkaisussa ja kyseisen pumpun käyttöohjeissa annettuja turvallisuusohjeita ei noudateta, seurauksena voi olla vakava vahinko tai kuolema.

Mikäli haluat lisätietoja hankkimasi tyhjöpumpun tai -järjestelmän turvallisuudesta tai Edwardsin tuotteiden sopivuudesta tiettyyn käyttötarkoitukseen, ota yhteyttä tavarantoimittajaan tai Edwardsiin.

1.2 Räjähdyriskit

Huomaa:

Edwardsilla on pumppuja, jotka täyttävät mahdollisesti räjähtävissä ympäristöissä käytettäviä laitteita koskevan eurooppalaisen ATEX-direktiivin vaatimukset.

Odottamattomat räjähdykset ovat poikkeuksetta johtuneet laitteiston turvallisuusohjeiden vastaisesta käytöstä. Jotkin mainituista räjähdyksistä ovat olleet äärimmäisen voimakkaita, ja ne olisivat saattaneet aiheuttaa vakavia vammoja ja kuolemantapauksia.

Yleisiä tyhjöjärjestelmän osan äkillisen rikkoutumisen syitä ovat syttyvien aineiden palamaan syttyminen tai poistojärjestelmän tukkeutuminen tai sen toiminnan rajoittuminen. Vaarojen välttämiseksi ja tyhjöpumppujen ja -järjestelmien turvallisen käytön takaamiseksi on noudatettava seuraavassa esitettyjä ohjeita.

- Ellei järjestelmääsi ole suunniteltu materiaalin pumppaamiseen pitoisuuksissa, joissa se voi syttyä tyhjöpumpussa, varmista, että syttyvien aineiden ja oksidanttien seokset eivät saavuta syttymisen mahdollistavaa pitoisuutta. Yksi tapa varmistua tästä on syöttää järjestelmään riittävästi inerttikaasua. Katso [Syttymisalttiiden kohtien välttäminen](#) sivulla 21.
- Varmista, ettei poistojärjestelmä voi tukkeutua käytön aikana mekaanisten osien (esim. venttiileiden tai muokkaamattomien kappaleiden), työstettävien materiaalien eikä putkiin, suodattimiin tai muihin poistojärjestelmän osiin kerääntyvien sivutuotteiden takia, ellei järjestelmää ole suunniteltu käsittelemään näitä.

- Sellaisten pumppumeکانismien voiteluun, joihin saattaa kerääntyä suuria happi- tai muita oksidanttipitoisuuksia, tulee käyttää pelkästään PFPE-pohjaisia (perfluoropolyeetteripohjaisia) voiteluöljyjä. Muunlaiset, syttymättöminä aineina myytävät voiteluöljyt soveltuvat käytettäväksi ainoastaan, jos oksidanttien pitoisuus on korkeintaan 30 til.-%.
- Varmista, ettei tarkoituksella suljettuihin ja eristettyihin tyhjöjärjestelmiin voi syntyä tahattomasti ylipainetta; esimerkiksi paineensäätimen tai poistojärjestelmän ohjauslaitteen vian vuoksi.
- Mikäli pumpattava aine saattaa reagoida voimakkaasti veden kanssa, on suositeltavaa käyttää kiertopiirissä jotakin muuta ainetta jäähdytysaineena kuin vettä (esim. lämmönsiirtonestettä). Käännä Edwardsin puoleen, mikäli tarvitset asiassa neuvontaa.

2. Vaaratilanteiden syntyminen

Vaaratilanteita voi syntyä järjestelmän elinkaaren eri vaiheissa. Tällaisia vaiheita ovat:

- Suunnittelu
- Rakenne
- Käyttö/käyttöönotto
- huolto / käytöstä poistaminen.

Alla on lueteltu eri ongelmatyyppejä, joita voi syntyä kussakin vaiheessa. Joka tapauksessa on oltava tietoisia siitä, että järjestelmään liittyvien ongelmien minimoiminen onnistuu ainoastaan vastaavan laitteiston ja prosessin/käyttökohteen perinpohjaisen tuntemuksen pohjalta. Mikäli jokin seikka on epäselvä, kannattaa pyytää lisätietoja ja neuvoja tavarantoimittajalta.

2.1 Suunnittelu

Järjestelmää suunniteltaessa on valittava käyttötarkoitukseen sopiva laitteistotyyppi. Tällöin on otettava huomioon:

- laitteiston tekniset ominaisuudet
- laitteiston valmistuksessa käytetyt materiaalit
- laitteiston käytössä tarvittavat käyttöaineet (kuten voiteluaineet ja käyttö nesteet)
- työstöolosuhteet ja -materiaalit.

Lisäksi on mietittävä laitteiston yleistä soveltuvuutta aiottuun käyttötarkoitukseen ja varmistettava, että sitä käytetään aina sille määritetyissä käyttöolosuhteissa.

Suunnitteluvaihetta varten on määritettävä menettelyjä, joilla taataan suunnitteluun liittyvien virheiden jääminen mahdollisimman vähäisiksi. Tällaisiin menettelyihin tulee kuulua suunnittelussa käytettyjen laskentojen riippumaton tarkastus sekä komponenttien ominaisuuksia koskeva neuvonta.

Vaara-analyysi on aina merkittävä osa suunnitteluvaihetta. Monta potentiaalista vaaratilannetta pystytään välttämään harkitsemalla tarkoin järjestelmään kuuluvan laitteiston käyttöä.

2.2 Rakenne

Valmistusvaiheessa syntyvien vaaratilanteiden todennäköisyyttä voidaan pienentää valitsemalla tehtäviin riittävän ammattitaitoisia ja päteviä henkilöitä ja vakiinnuttamalla laadunvalvontamenetelmiä. Pätevät henkilöt tietävät, mitä komponentteja tarvitaan laitteiston valmistusvaiheessa, ja pystyvät tunnistamaan vialliset tai huonosti valmistetut komponentit ja laitteet. Laadunvalvontamenetelmät auttavat tunnistamaan valmistusvirheitä ja korjaamaan niitä. Lisäksi niillä taataan, että määriteltyä tuotemallia noudatetaan valmistuksessa tarkalleen.

Henkilökunnan on oltava erityisen huolellinen ja ryhdyttävä kaikkiin mahdollisiin varotoimiin asentaessaan uutta laitteistoa järjestelmään, jolla on pumpattu tai tuotettu myrkyllisiä, syövyttäviä, syttyviä, hapensaantia estäviä, pyroforisia tai muita vaarallisia aineita tai jossa tällaisia aineita saattaa edelleen olla.

Sähkölaitteiden asennus on annettava pätevien/valtuutettujen henkilöiden suoritettavaksi, ja asennuksessa on noudatettava kaikkia asiaankuuluvia paikallisia ja kansallisia sähköalan määräyksiä.

2.3 Käyttö/käyttöönotto

Laitteiston ja komponenttien toimintahäiriöt, jotka johtuvat niiden ikääntymisestä, väärästä käytöstä tai puutteellisesta huollosta, voivat aiheuttaa käytön aikana vaaratilanteita. Tällaisten vaarojen todennäköisyyttä on pienennettävä sopivalla laitteiston oikeaan käyttöön (ja huoltoon) opastavalla koulutuksella. Katso tarvittaessa Edwardsin ja muiden tavarantoimittajien antamia tietoja vastaavista käyttöoppaista tai hyödynnä niiden tarjoamia koulutuskursseja ja myynninjälkeistä palvelua.

2.4 Huolto / käytöstä poistaminen

Henkilökuntaa estetään altistumasta vaarallisille aineille olemalla erityisen varovaisia ja ryhtymällä kaikkiin mahdollisiin varotoimiin sellaisten järjestelmien huollon yhteydessä, joilla on pumpattu tai tuotettu myrkyllisiä, syövyttäviä, syttyviä, pyroforisia, hapensaantia estäviä tai muutoin vaarallisia aineita.

Lisäksi huomiota on kiinnitettävä huoltosuunnitelmaan ja vaarallisista aineista saastuneiden komponenttien turvalliseen hävitykseen. Noudata kaikkien laitteistojen kohdalla niiden käyttöohjeissa annettuja huolto-ohjeita. Näin taataan laitteistojen turvallinen ja luotettava toiminta. ATEX-järjestelmissä on tyypillisesti lisävaatimuksia.

3. Kemikaaleista johtuvat vaaratilanteet

3.1 Kemialliset reaktiot ja räjähdykset

Kaikki mahdolliset kemialliset reaktiot, joita voi syntyä tyhjöjärjestelmän normaalissa käytössä tai väärän käytön ja vikatilojen yhteydessä, on otettava tarkkaan huomioon. Tällöin on kiinnitettävä erityistä huomiota reaktioihin, joihin liittyy mahdollisesti räjähdyksiä aiheuttavia kaasuja ja höyryjä. Kokemukset ovat osoittaneet, että räjähdyksiä on sattunut sellaisissa tilanteissa, joissa on käytetty aineita tai materiaaleja, joita laitteiston suunnittelija ei ole tarkoittanut käytettäväksi, ja joissa laitteiston vikatiloja ei ole huomioitu.

3.1.1 Homogeeniset reaktiot

Homogeenisia reaktioita syntyy kahden tai useamman eri tyyppisen kaasumolekyylin ollessa kaasumaisessa olomuodossa. Kaasujen palamisreaktiot tapahtuvat yleensä tässä muodossa. Tietämyksemme mukaan esimerkiksi silaanin (SiH_4) ja hapen (O_2) välinen reaktio on aina homogeeninen. Mikäli tällaisia reaktioita siis on valmistusprosessissa, prosessissa käytettäviä paineita ja reagoivien aineiden pitoisuuksia on valvottava tarkkaan liiallisten reaktioiden välttämiseksi.

3.1.2 Heterogeeniset reaktiot

Heterogeeniset reaktiot edellyttävät kiinteätä pintaa, jotta niitä voisi syntyä. Toisin sanoen jotkin kaasumolekyylit reagoivat ainoastaan adsorboituessaan jollekin pinnalle, mutta eivät reagoi kaasufaasissa alhaisessa paineessa. Tämantyyppinen reaktio on ihanteellinen tietyissä prosesseissa, koska se minimoi prosessikammiossa tapahtuvien reaktioiden vaikutuksia ja vähentää hiukkasten syntymistä sekä kontaminaation todennäköisyyttä.

Useimmista heterogeenisistä reaktioista tulee homogeenisiä korkeassa paineessa, yleensä reilusti alle ilmakehän paineessa. Se merkitsee sitä, että tapa, jolla kaasut reagoivat prosessikammiossa, ei välttämättä vastaa sitä tapaa, jolla ne reagoivat tyhjöpumppun puristamina.

3.2 Epänormaaleihin reaktioihin liittyvät ongelmat

Epänormaaleja reaktioita voi syntyä siinä tapauksessa, että kemikaalit joutuvat kosketuksiin sellaisten kaasujen tai muiden aineiden kanssa, joita järjestelmän suunnittelija ei ole ennakoanut. Näin voi käydä esimerkiksi vuodon syntyessä, jolloin järjestelmään voi päästä ilmakehässä olevia kaasuja tai järjestelmästä voi vuotaa ilmakehään myrkyllisiä, syttyviä, räjähtäviä tai muita vaarallisia kaasuja.

Mainitunlaisten reaktioiden syntymisen estämiseksi järjestelmässä on säilytettävä vuototiiviys paineen ollessa 1×10^{-3} mbar l s^{-1} (1×10^{-1} Pa l s^{-1}) tai vähemmän. Korkeaa alipainetta hyödyntävissä käyttötarkoituksissa vuototiiviuden tulee säilyä paineen ollessa 1×10^{-5} mbar l s^{-1} (1×10^{-3} Pa l s^{-1}) tai vähemmän. Lisäksi on varmistettava, että kaikki järjestelmän venttiilit ovat tiiviisti kiinnittyneinä.

Kaasut, jotka eivät normaalisti tule toistensa kanssa kosketuksiin prosessin aikana, saattavat sekoittua pumppausjärjestelmässä ja poistoputkistoissa.

Prosessikammioon voi jäädä vesihöyryä tai puhdistusaineliuoksia rutiininomaisten huoltotoimien jälkeen. Näin voi käydä vielä sen jälkeen, kun prosessikammio on huuhdeltu ja

puhdistettu. Vesihöyryä voi myös päästä järjestelmään poistokanavista ja kaasunpuhdistimista.

Jos prosessin aikana kerääntyviä kerrostumia huuhdellaan pois tyhjöjärjestelmästä liuottimilla, on tärkeätä varmistaa, että valitut liuottimet sopivat käytettäviksi yhdessä kaikkien tyhjöjärjestelmässä olevien prosessiin liittyvien aineiden ja materiaalien kanssa.

3.3 Räjähdyksvaarat

Räjähdyksvaarojen aiheuttajat voidaan tavallisesti luokitella seuraaviin kategorioihin:

- Oksidantit
- Syttyvät/räjähtävät aineet
- Pyroforiset aineet
- natriumatsidi.

Huomaa, että Euroopan unionin maissa (ja joissain muissa maissa) prosesseissa käytettävien aineiden valmistajia vaaditaan lakiin perustuen julkistamaan myymiensä aineiden fyysisten ja kemiallisten ominaisuuksien tiedot (tavallisesti käyttöturvallisuustiedotteiden avulla). Ainetta koskeviin tietoihin on sisällytettävä ylempi ja alempi räjähdyksraja, mikäli soveltuu, aineen fyysiset ja termodynaamiset ominaisuudet sekä kaikki mahdolliset aineen käyttöön liittyvät terveysvaarat. Katso mainittuja tietoja tarvittaessa.

3.3.1 oksidantit

Tyhjöjärjestelmissä pumpataan usein oksidantteja, kuten happea (O₂), otsonia (O₃), fluoria (F₂), typpitrifluoridia (NF₃) ja volframiheksafluoridia (WF₆). Oksidantit reagoivat herkästi monien aineiden ja materiaalien kanssa, ja tällainen reaktio tuottaa yleensä lämpöä ja saa kaasun paineen nousemaan. Mahdolliset vaarat ovat siten pumppu- ja/tai poistojärjestelmän sisällä syttyvä tulipalo ja järjestelmään syntyvä ylipaine.

Mainittuja aineita pumpattaessa on noudatettava kaasuntoimittajan turvallisuusohjeita sekä seuraavia ohjeita:

- Käytä aina PFPE-pohjaisia (perfluoropolyeetteripohjaisia) voiteluaineita pumpuissa, joilla pumpataan happea sen pitoisuuden ollessa yli 25 % tilavuudesta inerttikaasussa.
- Käytä PFPE-pohjaista voiteluainetta pumpuissa, joilla pumpataan sellaisia kaasuja, joiden happipitoisuus on tavallisesti alle 25 % tilavuudesta, mutta joiden happipitoisuus saattaa nousta yli 25 %:iin laitteiston vikatiloissa. Jos pumpaat muita oksidantteja kuin happea, tarkasta voiteluaineen toimittajalta kyseisen oksidantin suosituspitoisuudet.
- PFPE-pohjaiset voiteluaineet ovat suositeltavia voiteluaineita, mutta myös hiilivetyypohjaisia voiteluaineita voi käyttää, jos järjestelmässä on sopiva inerttikaasun poistokanava, joka takaa, että öljy ei altistu oksidantin vaarallisen tasoille pitoisuuksille.

Tavallisissa käyttöolosuhteissa PFPE-pohjaiset voiteluaineet eivät hapetu eivätkä hajoa öljytiivisteillä varustetuissa kiertosiipi- tai mäntäpumpun öljykoteloissa tai vaihdelaatikoissa, joten ne pienentävät räjähdyksvaaraa.

Huomaa, että PFPE-pohjaisten voiteluaineiden hajoaminen on mahdollista lämmöstä johtuen lämpötilan ollessa 290 °C tai enemmän ja kun niiden lähellä on ilmaa ja rautametalleja. Lämmöstä johtuva hajoaminen alkaa kuitenkin jo 260 °C:ssa, jos lähetyvillä on titaania, magnesiumia, alumiinia tai niiden seoksia.

Ellei öljytiivisteillä varustetuissa siivellisissä tai männällisissä tyhjöpumpuissa haluta käyttää PFPE-pohjaisia voiteluaineita, oksidanttia voi laimentaa pitoisuuteen, jossa sitä on turvallista käyttää yhdessä inerttikaasun, kuten kuivan typen, kanssa. Tällainen toimenpide on järkevää ainoastaan hitaasti virtaavien hapettavien kaasujen ollessa käytössä. Järjestelmään on asennettava turvalaitteita, joiden avulla varmistetaan, että vaadittavan inertin laimennuskaasun minimaalinen virtaus oksidantin pitoisuuden vähentämiseksi turvalliselle tasolle on aina saatavilla ja että oksidantin virtaus ei ylitä suurinta sallittua virtausnopeutta. Järjestelmä on suunniteltava siten, että oksidantin virtaus pysähtyy välittömästi, mikäli edellä esitetyt ehdot eivät täyty.

Oksidanttien pumppaukseen suositellaan Edwardsin kuivapumppuja (katso [Edwardsin kuivapumput](#) sivulla 28). Kuivapumppujen puristustilassa ei ole tiivistysnesteitä, joten räjähdysvaaran todennäköisyys on huomattavasti vähäisempi, kun oksidanttien prosessointiin käytetään kuivapumppua. Edwards suosittelee laakereiden ja vaihdelaatikon painehuuhtelua inerttikaasulla, jos käytetään hiilivety-pohjaista voiteluainetta.

3.3.2 syttyvät/räjähtävät aineet

Monet kaasut ja pölyt, kuten vety (H_2), asetyleeni (C_2H_2), propaani (C_3H_8) ja hienojakoinen silikonipöly ovat oksidantissa syttyviä ja/tai räjähtäviä tietyssä pitoisuudessa, jos lähellä on sytytyslähde. Sytytyslähde voi helposti toimia esimerkiksi paikallisesti kasvava kuumuus. Katso osio [Sytytyslähteet](#) sivulla 24.

Räjähdysvaara voidaan välttää varmistamalla, että mahdollisesti syttyvän seoksen pitoisuus pidetään syttymisen mahdollistavan pitoisuuden alapuolella. Katso [Syttymisalttiiden kohtien välttäminen](#) sivulla 21, jossa on esitetty asiaa koskevia yksityiskohtia.

Toinen mahdollinen menetelmä räjähdysvaaran vähentämiseksi on sytytyslähde eliminoiminen. Katso [Syttymislähteet](#) [Sytytyslähteet](#) [Sytytyslähteet](#) sivulla 24, jossa on esitetty asiaa koskevia yksityiskohtia.

Ellei syttymisalttiin pitoisuuden syntyminen voida välttää, on varmistettava, että laitteiston rakenne on sellainen, että se kestää mahdolliset räjähdykset murtumatta ja päästämättä tulta leviämään ympäröivään ilmaan. Katso [Palosuojausten perustuvien suojausjärjestelmien käyttö](#) sivulla 24, jossa on esitetty asiaa koskevia yksityiskohtia. Jos tyhjäjärjestelmän ulkoinen ympäristö on vaarallinen, on varmistettava, että kaikilla laitteistoilla on tähän sopiva luokitus.

Euroopan unionin ATEX-direktiivi antaa selkeät ohjeet mahdollisesti räjähtävissä ympäristöissä käytettävien laitteiden rakenteesta.

Jos pumppaamista voidaan välttää räjähdysalttiissa ilmatilassa kaikissa olosuhteissa, syttyvien kaasujen ja höyryjen pumppaamiseen voidaan käyttää kaikenlaisia Edwardsin tyhjöpumppuja.

3.3.3 Pyroforiset aineet

Pyroforiset kaasut, kuten silaani (SiH_4) ja fosfiini (PH_3), tai pyroforiset pölyt ovat useimmissa olosuhteissa spontaanisti syttyviä ilmassa ilmakehän paineessa, joten tällaisten kaasujen ja pölyn palaminen on mahdollista niiden päästessä kosketuksiin ilman tai jonkin muun oksidantin kanssa paineen ollessa tarpeeksi korkea tukemaan palamista. Näin voi käydä, jos ilmaa vuotaa järjestelmään tai jos järjestelmän poistokanavisto joutuu kosketuksiin ilmakehän kanssa. Oksidantin ja pyroforisen kaasun reaktiosta syntyvä lämpö voi toimia räjähtävien aineiden sytytyslähde.

Jos toisten prosessien poistokaasuja tuuletetaan yhteisen poistojärjestelmän kautta, seurauksena voi olla aineiden palaminen ja/tai räjähtäminen. Pyroforisia aineita pumpattaessa on siis suositeltavaa käyttää erillisiä poistojärjestelmiä.

Prosesseissa, joissa käytetään fosforia, tyhjöjärjestelmään tai poistokanavistoon voi kondensoitua kiinteätä fosforia. Fosfori voi syttyä yhtäkkiä palamaan ja tuottaa myrkyllisiä kaasuja, jos sen lähettyvillä on ilmaa ja se joutuu alttiiksi edes vähäiselle mekaaniselle tärinälle (esim. venttiilin aktivoinnin tai paine-erosta johtuvan pumpun pyörimisen vaikutuksesta). On suositeltavaa käyttää pumppuja inerttikaasuhuuhelulla ja käyttää niitä riittävän kuumina, jotta fosforin kondensoituminen pystytään minimoimaan.

PFPE-pohjaiset voiteluaineet voivat imeä käyttökaasuja, jotka – pyroforisten aineiden ollessa kyseessä – voivat aiheuttaa näiden paikallisen syttymisen siinä tapauksessa, että voiteluaine altistuu ilmalle. Tämä vaara voi suurentua huomattavasti huoltotoimien aikana tai jos oksidanttia pumpataan järjestelmän läpi pyroforisen kaasun tai pölyn jälkeen. Vaaraa voidaan vähentää valitsemalla Edwardsin kuivapumppu, jonka puristustilassa ei ole voiteluaineita. Varmista, että kaikki pyroforinen aine on passivoitu ennen sen tuulettamista tai käsittelyä.

3.3.4 Natriumatsidi

Natriumatsidia käytetään toisinaan kylmäkuivaukseen menevien tuotteiden valmistelussa ja muissa valmistusprosesseissa. Natriumatsidi voi tuottaa typpivetyhappoa. Typpivetyhappohöyryt voivat reagoida raskasmetallien kanssa siten, että niistä muodostuu epävakaita metalliatsideja. Tällaiset atsidit saattavat räjähtää yhtäkkiä.

Raskasmetalleihin kuuluvat:

- | | | |
|---|------------|-----------|
| • barium | • kadmium | • cesium |
| • kalsium | • kupari | • lyijy |
| • litium | • mangaani | • kalium |
| • rubidium | • hopea | • natrium |
| • strontium | • tina | • sinkki |
| • kupari- ja sinkkiseokset (kuten messinki) | | |

Messinkiä, kuparia, kadmiumia, tinaa ja sinkkiä käytetään yleisesti monissa tyhjöpumppujen, lisälaitteiden ja putkistojen osissa. Mikäli prosessilaitteistossa käytetään tai se tuottaa natriumatsidia, on varmistettava, ettei prosessilaitteiston kaasukanava sisällä raskasmetalleja.

3.4 Myrkylliset tai syövyttävät aineet

Monissa tyhjösovelluksissa käsitellään myrkyllisiä tai syövyttäviä aineita, mikä edellyttää erityisiä varotoimia.

3.4.1 Myrkylliset aineet

Myrkylliset aineet ovat luonnostaan vaarallisia terveydelle. Vaaran luonne riippuu kuitenkin kustakin aineesta ja sen suhteellisesta pitoisuudesta. Niitä käsiteltäessä on noudatettava aineen toimittajan antamia erityisiä käsittelyohjeita ja sovellettavaa lainsäädäntöä.

Tällöin tulee ottaa huomioon myös seuraavat seikat:

- **Kaasun laimennus** – Saatavissa on laitteita, joilla voidaan laimentaa myrkyllisiä käyttökaasuja niiden kulkiessa tyhjöpumppun lävitse poistokanavistoon. Laimennusta voidaan käyttää vähentämään pitoisuutta alle myrkyllisen rajan. Suosittelemme seuraamaan laimennuskaasun syöttöä, jotta syötön mahdollinen

vikaantuminen huomataan. Katso erityisesti öljytiivisteellä varustettujen pumppujen kohdalla pumpun käyttöohjeista, tarvitaanko mahdollisia öljynpaluuseroja.

- **Vuotojen havaitseminen** – Edwardsin tyhjölaitteistot on yleisesti ottaen suunniteltu tiiviiksi painearvoon $< 1 \times 10^{-3}$ mbar l s-1 ($< 1 \times 10^{-1}$ Pa l s-1) saakka. Ne eivät kuitenkaan takaa läheisten järjestelmien vuototiiviyttä. Tyhjö- ja poistojärjestelmän ehjyys on varmistettava käyttämällä soveltuvaa vuotojenhavaitsemismenetelmää (esimerkiksi heliumin painoon perustuvaa spektrometriaa).
- **Akselin tiivistys (Edwardsin kuivapumput)** – Monissa kuivissa tyhjäpumpuissa on kaasunpoistojärjestelmä, joka takaa sen, että käyttökaasut eivät pääse vaihdelaatikkoon ja laakereihin ja siten mahdollisesti tyhjöjärjestelmää ympäröivään ilmakehään. Myrkyllisiä aineita käsiteltäessä on varmistettava tällaisen kaasujärjestelmän ehjyys. Ilmanpainetta alentamattomia säätimiä on käytettävä yhdessä takaiskuventtiilin kanssa, katso [Paineensäätimet](#) sivulla 30.
- **Akselin tiivistys (Edwardsin muut pumput)** – Öljyvirtausta käyttävät akselintiivisteet (kuten esimerkiksi mekaaniset EH-syöttöpumput ja EM-kiertosiihipumput) minimoivat prosessin aikaisten kaasuvuotojen riskin (ja ilman sisään pääsemisen riskin) ja voivat antaa hälytysmerkin (öljyvudon tai öljytason vähentymisen varoituksen) ennen vaaratilanteen syntymistä. Muunlaiset tiivisteet eivät välttämättä anna riittävää varoitusta vikatilanteen sattuessa.
- **Magneettitoimilaitteet** – Jos järjestelmässä on tarpeen käyttää täyttä tiivistystä, Edwardsin EDP-tyhjäpumput voidaan varustaa magneettitoimilaitteella ja keraamisella säiliöllä, joka poistaa moottorin käyttöakselin tiivistyksen tarpeen.

Jos liiallisen paineen poistoon käytetään paineenalennusventtiileitä tai murtolevyjä, on varmistettava, että niiden poistoilma kulkee sopivaan poistojärjestelmään, joka estää myrkyistä johtuvat vaarat.

Palautettaessa myrkyllisiä aineita likaantuneita tyhjölaitteita Edwardsille huoltoa tai kunnossapitoa varten on noudatettava erityisiä lomakkeessa HS1 mainittuja menettelyjä ja täytettävä vastaava vakuutuslomake HS2. Lomakkeet ovat laitteiston mukana toimitetussa käyttöoppaassa.

3.4.2 Syövyttävät aineet

Kun pumppaat syövyttäviä aineita Edwardsin tyhjäpumpuilla, huomioi seuraavat seikat:

- **Kosteuden sisään pääseminen** – Noudata erityistä varovaisuutta, jotta kostean ilman sisäänpääsy estetään, sillä tämä voi kiihdyttää syövyttäviä vaikutuksia. Sammutusmenetelmään tulee kuulua inerttikaasua käyttävä poistolaite, joka huuhtelee syövyttävät aineet pois järjestelmästä ennen järjestelmän sammuttamista.
- **Laimennus** – Syövyttävien aineiden kondensoituminen estetään ja sen myötä syntyvää korroosiota lievennetään käyttämällä sopivaa inerttiä laimennuskaasua.
- **Lämpötila** – Vesihöyryn kondensoituminen estetään ja sen myötä syntyvää korroosiota lievennetään nostamalla pumpun ja poistoputkiston lämpötilaa. Joissain tapauksissa korkeammat lämpötilat voivat vauhdittaa korroosiota, ks. alla oleva kappale.
- **Turvalaitteiden korroosio** – Jos turvalaitteet (kuten palosuojaelementit, lämpötila-anturit tms.) voivat vaurioitua käyttökaasun virtauksessa olevien syövyttävien aineiden vaikutuksesta, niiden rakennusmateriaalit on valittava siten, että tämä vaara eliminoituu.

- **Faasiin muutokset** – Faasiin suunnitteleman muuttuminen voi johtaa kondensaatioon. Tämän vaaran välttämiseksi on huomioitava lämpötilan ja paineen muutokset.
- **Suunnittelematon reaktiot** – Suunnittelematon kemialliset reaktiot voivat johtaa syövyttävien sivutuotteiden muodostumiseen. Ristikontaminaation mahdollisuus on otettava huomioon, jos laitteistoa käytetään useampaan kuin yhteen käyttötarkoitukseen.

Jotkin syövyttävät aineet, kuten fluori, kloori, muut halogeenit tai halidit ja hapettavat aineet, kuten otsoni, tai pelkistimet, kuten rikkivety, voivat aiheuttaa korroosiota aineissa, joiden kanssa ne ovat kosketuksissa. Tämä ei vaadi minkään nesteen läsnäoloa. Näissä tapauksissa korroosiota aiheuttavan aineen osapaine on minimoitava käyttämällä sopivaa laimennuskaasua. Tyhjöjärjestelmän rakennusmateriaalit ja pumppumalli on valittava niin, että ne ovat yhteensopivia kyseisen kaasun ja sen odotettavissa olevien pitoisuuksien kanssa. Korkeat lämpötilat voivat kiihdyttää korroosiota ja siksi ne on pyrittävä minimoimaan, jos prosessin muut huomioon otettavat seikat sallivat tämän. Huoltovälejä on tarkasteltava ottaen huomioon syövyttävien aineiden vaikutuksen järjestelmään.

3.5 Yhteenveto – kemikaaleista johtuvat vaaratilanteet

- Kaikki järjestelmän sisällä mahdollisesti syntyvät kemialliset reaktiot on otettava huomioon.
- Lisäksi on huomioitava epätavalliset kemialliset reaktiot, mukaan lukien ne, joita voi syntyä laitteiston vikatilaisissa.
- Prosessissa käytettävien aineiden aiheuttamia potentiaalisia vaaroja arvioitaessa tulee katsoa tuoteturvallisuustiedotteessa esitettyjä tietoja.
- Oksidanttien ja syttyvien aineiden kanssa syntyviä reaktioita voidaan minimoida käyttämällä sopivia laimennustekniikoita.
- EU:ssa, jossa syttymisaltis kohta on määritetty, on käytettävä sopivaa sertifioitua ATEX-tyhjöpumppua. Kaikilla muillakin alueilla Edwards suosittelee mahdollisuuksien mukaan käytettäväksi pumppuja, jotka on sertifioitu ATEX-direktiivin mukaisesti.
- Pumpussa tulee käyttää oikeantyyppistä voiteluainetta, kun sillä pumpataan oksidantteja. Pumpuksi kannattaa tällöin valita kuivapumppu.
- Prosessilaitteiston kaasukanavistossa ei pidä käyttää raskasmetalleja, mikäli prosessissa käsitellään tai sen myötä syntyy natriumatsidia.
- Myrkyllisten, syövyttävien ja epävakaiden aineiden käsittelyssä on oltava erityisen varovaisia.

4. Fysikaalisista seikoista johtuvat vaaratilanteet

4.1 Ylipaineen aiheuttamien vaarojen tyypit

Tyhjöjärjestelmän osiin kohdistuva ylipaine saattaa johtua mistä tahansa seuraavassa luetelluista syistä:

- korkeapaineisen kaasun syöttö järjestelmään
- kaasun puristuminen järjestelmän voimasta
- haihtuvan kaasun yhtäkkinen lämmön nousu järjestelmän sisällä
- kiinteään aineen kerääntyminen johtuen faasin muuttumisesta
- tyhjöjärjestelmän sisäinen reaktio
- tukkeutunut poistojärjestelmä.

Myös muut syyt ovat mahdollisia.

4.2 Ylipaineistettu pumpun poistojärjestelmä

Yleinen syy ylipaineistettuun poistojärjestelmään on poistojärjestelmässä oleva tukos tai rajoite. Tämä voi johtaa pumpun tai muiden järjestelmän osien toimintahäiriöön.

Tyhjöpumpit ovat kompressoreita, jotka on suunniteltu toimimaan erityisesti suurilla ulostulosta sisääntuloon -puristussuhteilla.

Pumpun toiminnan mahdollisesti tuottaman ylipaineen lisäksi kokoon puristettu kaasu (kuten poisto- tai laimennuskaasu) voi ylipaineistaa järjestelmän, mikäli poistojärjestelmä on rajoittunut tai tukkeutunut.

Kun poistopuolelle on asennettu palosuojilla varustettu pumppu tai muuta laitteistoa, kuten suodattimia tai lauhduttimia, on tärkeää, ettei poistoaineiden vastapaine ylitä tyhjöjärjestelmän käyttöoppaassa mainittua suurinta sallittua arvoa. Tähän liittyen on laadittava sopiva huolto-ohjelma, jolla taataan, etteivät prosessin aikana muodostuvat kerääntymät pääse tukkimaan poistojärjestelmää ja estämään palosuojan toimintaa. Ellei sellaista voida käytännössä toteuttaa, järjestelmässä tulee käyttää paineanturia, joka sijoitetaan pumpun ja palosuojan väliin havaitsemaan tukkeutumia. Samat huomiot koskevat muita poistolaitteita, kuten suodattimia ja lauhduttimia.

Sublimoituminen tai muu olomuodon muuttuminen voi johtaa kiinteiden jäämien aiheuttamaan prosessilaitteiston putkiston tukkeutumiseen tai ylipaineen vaaraan.

Kaikkien poistojärjestelmän komponenttien, tyhjöpumppu mukaan lukien, suurimmat sallitut ja suositeltavat jatkuvan vastapaineen arvot löytyvät tyhjöpumppun mukana toimitetusta käyttöoppaasta. Suunnittele järjestelmä siten, että raja-arvoja voidaan noudattaa.

Katso jatkuvan käytön raja-arvot pumpun käyttöohjeista.

4.3 Suoja poistokanaviston ylipainetta vastaan

On suositeltavaa käyttää pumppuja siten, että poistoputkisto liitetään erikseen tuuletettavaan poistojärjestelmään. Poistojärjestelmässä voi kuitenkin olla komponentteja, jotka saattavat aiheuttaa järjestelmän toiminnan rajoittumista tai tukkeutumia. Mikäli näin on, siinä on käytettävä suojana sopivia keinoja ylipaineen varalta. Tällaisia keinoja ovat esimerkiksi:

Osa	Suojakeino
venttiili poistoputkistossa	venttiilin lukitus siten, että se pysyy aina auki pumpun käydessä
	ohitusventtiilin liittäminen paineen alentamiseksi
kaasupesuri	ohitusventtiilin liittäminen paineen alentamiseksi
	paineensäätimen liittäminen järjestelmään ja kytkeminen pumppuun siten, että pumppu on pysähdyksissä poistopaineen ollessa liian suuri
palosuoja	poistopaineen mittaus
	paine-eron mittaus
öljysumusuodatin	paineenalentimen liittäminen

Yhteenvetona voidaan sanoa, että jos poistojärjestelmän paine lähenee suurinta sallittua painetta:

- painetta on vähennettävä käyttämällä kaasukanavassa olevaa paineenalenninta samalla kun poistetaan rajoite tai tukkeuma
- painetta on vähennettävä painelähteessä. Pumppu on pysäytettävä tai paineistetun kaasun syöttö on sammutettava.

4.4 Syöttöpuolen ylipaine

4.4.1 Painekaasun syöttö ja vastapaine

On melko tavallista aliarvioida tyhjöjärjestelmän ja pumpun väliseen putkistoon tarvittava paineluokitus uskoen, ettei putkistoon tule kohdistumaan ilmakehän painetta suurempaa painetta. Käytännössä tämä on totta ainoastaan normaaleissa suunnitelluissa käyttöolosuhteissa. Tarvittava paineluokitus tulee kuitenkin arvioida siten, että suuremmat paineet ovat mahdollisia epätavallisissa olosuhteissa tai laitteiston vikatiloissa.

Yleinen syy ylipaineen syntymiseen pumpun syöttöputkistossa on painekaasujen (kuten poistokaasujen) syöttö pumpun ollessa pysähdyksissä. Elleivät syöttöputkiston osat kestä tuloksena olevaa painetta, putkistoon tulee murtumia, ja käyttökaasut pääsevät vuotamaan ulos järjestelmästä. Myös kaasujen virtaus järjestelmästä takaisin painetta kestävämpään prosessikammioon aiheuttaa murtumia ja vuotoja.

Kun olet kytkemässä painekaasujen syöttöjä järjestelmään, asenna paineensäätimet, joiden tarkoituksena on pitää virtauksen paine matalana ja painearvot järjestelmän luokituksen mukaisina.

Usein käytetyt ilma-aukottomat paineensäätimet saavat paineen nousemaan järjestelmässä säätimeen menevän syöttökaasun paineeseen, jos niitä käytetään olosuhteissa, joissa käyttökaasu ei virtaa järjestelmän lävitse. Ylipaineen välttämiseksi on sen takia käytettävä jompaakumpaa seuraavista menetelmistä:

- vähennettävä painetta, annettava kaasujen ohittaa pumpun ja virrata erikseen tuuletettavaan poistojärjestelmään
- valvottava järjestelmän painetta ja käytettävä täysin sulkeutuvaa sulkuventtiiliä painekaasun syötön estämiseksi ennalta asetetulla painetasolla.

4.4.2 Pumpun väärä käyttö

Pumpun oikean käytön varmistamiseksi on vakiinnutettava erityisiä menettelytapoja.

Jos pumpun kiertosuunta on väärä ja pumppu käy syöttökanavan ollessa rajoittuneena tai tukkeutuneena, pumppu synnyttää syöttöputkistoon korkean paineen. Tämä voi aiheuttaa pumppuun, putkistoon ja/tai johonkin putkistossa sijaitsevaan osaan murtuman.

Pumpun syöttöön on aina kiinnitettävä peitelevy löysästi ruuveilla ennen kuin ollaan varmistuttu siitä, että pumpun kiertosuunta on oikein.

Suurilla kierroksilla pyörittäminen voisi aiheuttaa pumpun rikkoutumisen. Pumppua ei saa käyttää suurimman sallitun nopeuden ylittävillä kierroksilla; tämä on erityisen tärkeää silloin, kun nopeuden valvontaan käytetään taajuusmuuttajia.

4.5 Yhteenveto – fysikaalisista seikoista johtuvat vaaratilanteet

- Turvallisuuslaskelmia suoritettaessa on varmistettava, että järjestelmän kaikkien komponenttien turvalliset käyttöpaineet tulevat huomioiduiksi.
- Lisäksi on varmistettava, että pumpun poistoputkisto ei voi tukkeutua tai rajoittua.
- Siinä tapauksessa, että tyhjöjärjestelmän minkään osan paine on vaarassa kohota yli nimellispaineen, suosittelemme liittämään järjestelmään paineen mittauslaitteiston sille sopivaan paikkaan. Tämä on kytkettävä ohjausjärjestelmään, jotta järjestelmä toimii turvallisesti myös silloin, jos ylipainetila havaitaan.
- Tyhjöjärjestelmän ja pumpun komponenttien riittävää paineluokitusta arvioitaessa on huomioitava epätavalliset olosuhteet ja laitteiston vikatilat.
- Järjestelmään on liitettävä oikeanlainen paineenalennin, jonka arvot vastaavat käyttötarkoituksen edellyttämiä arvoja.
- Painekaasun syöttöä on säädettävä ja valvottava asianmukaisesti. Syöttö on kytkettävä pois toiminnasta, mikäli pumppu sammutetaan.
- Mikäli mahdollista, on varmistettava, että kaikkiin säädeltäviin poistokanaviin menevä syöttöpaine on alhaisempi kuin järjestelmän suurin sallittu staattinen paine. Vaihtoehtoisesti voidaan varmistaa, että paineen alentaminen on mahdollista myös järjestelmän laitteiden vikatilojen aikana.

5. Vaara-analyysi

Vaara-analyysimenetelmä merkitsee systemaattista lähestymistapaa järjestelmän normaalissa käytössä sekä yksittäisten vikojen ja vikatilojen yhteydessä ilmenevien vaarojen tunnistamiseksi ja analysoimiseksi. Menetelmä merkitsee mahdollisuutta hallita vaaroja; ja tällaisen menetelmän käyttäminen voi toisinaan olla laissa säädetty vaatimus. Jotta vaara-analyysit olisivat mahdollisimman kattavia, niiden laatiminen on aloitettava jo järjestelmän suunnitteluvaiheessa ja sitä on jatkettava asennusvaiheen aikana aina järjestelmän käyttöön, huoltoon ja käytöstä poistamiseen saakka.

Perusteellinen selitys vaara-analyysin laatimisesta ei ole mahdollista tämän julkaisun puitteissa. Muista lähteistä on kuitenkin saatavissa yksityiskohtaista tietoa monista eri vaara-analyysimenetelmistä. Esimerkkinä kemikaaleihin liittyvässä prosessiteollisuudessa yleisesti käytetystä menetelmästä on HAZOP-menetelmä (Hazard and Operability Study – tutkimus vaaroista ja käytettävyydestä). Kyseessä on vaara-analyysimenetelmä, jonka painopisteenä on potentiaalisten vaarojen ja käyttöongelmien tunnistaminen.

Tavallisesti vaara-analyysien perusteella saadaan tietoa vaarojen tyypeistä, vakavuudesta ja esiintymistodennäköisyyksistä. Tätä tietoa voidaan käyttää päätettäessä, mikä on paras keino lieventää mainitut vaarat hyväksyttävälle tasolle. Vaaran alkuperästä riippuen saattaa olla mahdollista eliminoida vaara tai vähentää sen vakavuutta ja/tai esiintymistodennäköisyyttä. On kuitenkin harvinaista, että vaarat pystyttäisiin eliminoimaan kokonaan.

Kun harkitaan, mikä on paras keino vaarojen hallitsemiseen, on otettava huomioon vaarojen kaikki mahdolliset vaikutukset. Esimerkiksi pienikokoinen kuuma pinta voi merkitä vähäistä vaaraa laitteiston käyttäjälle, koska siitä voisi aiheutua palovamma. Palovamman syntymisen todennäköisyyden vähentämiseksi järjestelmän suunnittelijan tulee asettaa näkyvä varoitus kuumalla pinnalle tai suojus kuuman pinnan ympärille. Järjestelmään kohdistuvasta vaara-analyysistä voi kuitenkin käydä ilmi, että mainittu kuuma pinta voi merkitä sytytyslähdettä syttyville höyryille; mikä puolestaan voisi johtaa räjähdykseen tai myrkyllisen höyrypilven muodostumiseen. Syttymistodennäköisyyden pienentämiseksi järjestelmän suunnittelijan on alennettava kuumen pinnan lämpötilaa tai varmistettava, että syttyvät höyryt eivät voi päästä kosketuksiin kyseisen pinnan kanssa.

6. Järjestelmän suunnittelu

6.1 Järjestelmän paineluokitukset

Tyhjöjärjestelmien putkistot ja osat on suunniteltu toimimaan sisäisessä paineessa, joka on alle ilmakehän paineen, katso [Fysikaalisista seikoista johtuvat vaaratilanteet](#) sivulla 15. Käytännössä on kuitenkin tavallisesti välttämätöntä suunnitella järjestelmä siten, että se toimii yhtä hyvin sisäisen paineen ylittäessä ilmankehän paineen. Järjestelmään on tarvittaessa asennettava paineenalentimia ylipaineen estämiseksi.

On tärkeätä, ettei syöttöputkien ja muiden syöttöjärjestelmän osien anneta muodostaa järjestelmän heikointa lenkkiä olettaen, että ne toimivat aina alipaineella, myös laitteiston ollessa vikatilassa.

Poistojärjestelmät on aina suunniteltava siten, että niistä aiheutuu pienin mahdollinen pumppuun kohdistuva vastapaine käytön aikana. On kuitenkin tärkeätä suunnitella poistojärjestelmä siten, että sen paineluokitus on riittävä; sen on pystyttävä toimimaan paineilla, joita pumppu ja esimerkiksi järjestelmään syötettävä painekaasu voivat tuottaa, sekä sovittava yhteen käytössä olevien ylipainesuojien kanssa.

Vaara-analyysejä tehtäessä on aina otettava huomioon:

- ulkoiset sisääntulot, kuten inerttikaasujen liitännät
- lähteiden eristykset ja kuristukset, erityisesti poistoputkistoissa olevat
- käyttökaasujen väliset reaktiot.

On huomattava, että mikäli jokin säiliöstä sisältää haihtuvaa nestettä ja se voidaan eristää muusta järjestelmästä, ulkoisen lämpölähteen (esimerkiksi tulen) käyttö voi saada aikaan sen, että sisäinen paine kasvaa suuremmaksi kuin säiliön suunniteltu paine on. Tällaisessa tapauksessa on harkittava sopivan paineenalentimen asentamista.

6.2 Virtaamattomien kohtien eliminointi

Virtaamaton kohta on mikä tahansa tyhjöputkiston kohta tai osa, jossa ei ole kaasun läpivirtausta. Esimerkkejä tällaisista kohdista ovat mekaanisen syöttöpumpun vaihdelaatikko tai mittauslaitteen mittauskärki. Myös venttiileillä varustetuista putkistoista ja typpikaasun syöttöputkista voi tulla virtaamattomia kohtia, mikäli ne eristetään.

Virtaamattomat kohdat on otettava huomioon mietittäessä sellaisten käyttökaasujen seoksia ja reaktioita, joita ei normaalisti ole prosessikammiossa samanaikaisesti. Putket, pumput ja prosessikammiot kuljettavat kaasuja yleensä lineaarisesti niin, että yhtä kaasua tai kaasuseosta seuraa toinen. Tällä tavalla lineaarisesti siirtyvät kaasut eivät tavallisesti sekoitu keskenään, ellei poistokaasun virtausnopeus vähene rajoitteen tai tukkeuman takia. Järjestelmä ei tyhjennä virtaamatonta kohtaa, ja se voi täytyä käyttökaasuista järjestelmän paineen suurentumisen ja pienentymisen myötä. Näin kaasut, jotka normaalisti kulkevat järjestelmän läpi, saattavat jäädä prosessilaitteistoon prosessin tietyssä vaiheessa. Ne voivat sitten reagoida prosessin seuraavan vaiheen kaasujen kanssa. Kammion perinpohjainen tyhjentäminen yhteensopimattomien kaasujen käytön välillä on sopiva suojakeino räjähdysvaaran pienentämiseksi.

Erityistä huolellisuutta on noudatettava virtaamattomien kohtien ristikontaminaatiota arvioitaessa ja silloin, jos kaasut ovat räjähdysalttiita. Tässä yhteydessä on huomioitava erityisesti järjestelmän sisään asennettujen suodattimien, erottimien ja muiden osien aiheuttamia vaaroja. Ristikontaminaation todennäköisyyden pienentämiseksi tulee käyttää hyvin eristettyjä, inertin poistokaasun jatkuvia virtauksia soveltuvuuden mukaan.

Pumpattaessa syttyviä aineita on mahdollista, että virtaamattomat kohdat täyttyvät räjähdysalttiista kaasuista tai höyryistä, joita järjestelmän tavallinen poistotoiminto ei pysty tyhjentämään. Mikäli järjestelmässä on vielä sytytyslähde, virtaamattomiin kohtiin on harkittava erityistä puhdistuslaitetta.

6.3 Poistokaasujen poistojärjestelmät

Prosessissa on tärkeää käyttää oikeanlaista poistokaasujen poistojärjestelmää. Kuten edellä todettiin, poistojärjestelmän rakenteen on oltava sellainen, että se kestää laitteiston käyttöpainetta ja – mikäli laitteistolla käsitellään tai tuotetaan vaarallisia aineita – on riittävän vuototiivis sisältääkseen prosessissa tarvittavia käyttöaineita ja niiden sivutuotteita eikä siten tuota vaarallisia päästöjä ilmakehään.

6.4 Räjähdysalttiiden kaasu- ja höyryseosten lähteet

Jos syttyvä kaasu tai höyry sekoittuu tiettyyn happipitoisuuteen tai muuhun sopivaan oksidanttiin, se muodostaa mahdollisesti räjähtävän seoksen, joka syttyy, jos lähettyvillä on sytytyslähde.

Edwardsin kokemuksen mukaan on olemassa tiettyjä olosuhteita, joita ei monesti oteta huomioon prosessijärjestelmää suunniteltaessa ja joissa kuitenkin muodostuu räjähdysaltista seosta, jos laitteistoon pumpattava aine on mahdollisesti räjähdysherkkää. Kaikki laitteiston mahdollisesti synnyttämien potentiaalisesti räjähdysherkkien seosten prosessiolosuhteet ja lähteet on tunnistettava. Joitakin esimerkkejä on mainittu alla, mutta tätä luetteloa ei voida missään tapauksessa pitää kaikenkattavana:

- **Ristikontaminaatio** – Jos tyhjäpumpua käytetään eri tarkoituksiin, on mahdollista, että sen käyttö on turvallista yksittäisten aineiden kyseessä ollessa, mutta ellei pumpua tyhjenetä ennen toisen aineen syöttämistä, ristikontaminaation ja sen myötä odottamattomien reaktioiden syntyminen on mahdollista.
- **Puhdistusnesteet** – Käyttökohdetta voidaan pitää vaarattomana, mutta syttyvien puhdistusnesteiden käyttö ja niiden käytön jälkeinen kuivaus tyhjentämällä aineet tyhjäpumpulla voi tuottaa räjähdysherkän seoksen.
- **Odottamattomataineet** – ”Koko talon tyhjötoimia” suoritettaessa eli käytettäessä tyhjäpumpua tuottamaan laajalle levitettyä tyhjäjärjestelmää on mahdollista, että sillä pumpataan syttyviä aineita, joita ei ole otettu huomioon järjestelmää suunniteltaessa. Tällaisten aineiden itsestäänsyttymislämpötila voi olla alhaisempi kuin tyhjäpumpun sisäiset lämpötilat tai lämpötilaluokitus.
- **Purkautuneethöyryt** – Tällaisia voi syntyä prosessikäytön aikana ja huolellisuutta on noudatettava, jotta prosessille valitaan oikea sisäinen lämpötilaluokitus. Kemiallisten prosessien alalla tämä sisältyy useimmiten ATEX-vaatimuksiin.
- **Ilmavuodot** – Ilman tai muun oksidantin yhtäkkinen pääseminen järjestelmään voi saada syttyvän kaasun tai höyryn pitoisuuden muuttumaan ja siten synnyttää räjähdysalttiin seoksen.
- **Syttyvästiivistysnesteet** – Jos syttyvää nestettä käytetään tiivistysnesteinä tyhjäpumpun nesterenkaassa, ilmaan sisään pääseminen tuottaa laitteiston sisälle räjähdysherkän seoksen.
- **Tiivistyneet prosessissa käytettävät aineet** – Jos syttyvät aineet voivat tiivistyä järjestelmän sisään, ota huomioon, että ne voivat synnyttää reaktion prosessin muiden vaiheiden oksidanttien tai ilman kanssa (esimerkiksi poistojärjestelmässä). Tämä voidaan välttää sopivalla lämpötilalla tai osapaineen säätimellä.

6.5 Syttymisalttiiden kohtien välttäminen

Syttyvä aine muodostaa räjähdysriskin ilmatilan ainoastaan siinä tapauksessa, että se yhdistyy ilman tai hapen tai muun oksidantin kanssa ja että sen pitoisuus on alemman syttymisrajan (LFL-rajan) (tai alemman räjähdysrajan eli LEL-rajan) ja ylemmän syttymisrajan (UFL-rajan) (tai ylemmän räjähdysrajan eli UEL-rajan) välillä. Huomaa, että kirjallisuudessa viitataan useimmiten syttymisrajaan ilmassa, ts. silloin, kun oksidanttina toimii happi. Seuraavassa annetut tiedot perustuvat tälle olettamukselle.

Räjähdysriskyys edellyttää myös sitä, että happipitoisuuden on ylitettävä vähimmäishappipitoisuuden raja (MOC-raja) (tai rajahappipitoisuus eli LOC-raja). Useimpien syttyvien kaasujen vähimmäishappipitoisuus (rajahappipitoisuus) on 5 tilavuusprosenttia tai suurempi. (Huomaa: tämä ei päde sellaisiin pyroforisiin aineisiin, jotka edellyttävät erityisiä varotoimia.)

Kaasuseosten käyttämistä syttymisalttiissa kohdissa voidaan välttää lukuisilla eri keinoilla. Keinon valitseminen riippuu riskiarvioinnin (vaara-analyysin) tuloksista koskien prosessia ja pumppausjärjestelmää:

- **Syntyvän kaasun pitoisuuden pitäminen alimman syttymisrajan (alimman räjähdysrajan) alapuolella**

Syntyvän kaasun tahattomasti syttymisalttiiseen kohtaan pääsemisen riski minimoidaan asettamalla alemmaa syttymisrajaa (alempaa räjähdysrajaa) varten turvamarginaali.

Turvamarginaalin määrittää käyttäjä riskiarvion perusteella. Jotkin viranomaistahot suosittavat pitoisuuden pitämistä 25 % alimman syttymisrajan (alimman räjähdysrajan) alapuolella.

Yleisesti käytetty menetelmä pitoisuuden säilyttämiseksi asianmukaisesti alimman syttymisrajan (alimman räjähdysrajan) alapuolella on laimentaa sitä inertillä poistokaasulla (esim. typellä), jota syötetään pumpun syöttökanavaan ja/tai poistoliitäntöihin. Laimennusjärjestelmän ja hälyttimien tai lukituslaitteiden laitteistoon asentamisen tarve riippuu laitteiston vaarallisesta kohdasta, joka muodostuisi siinä tapauksessa, että laimennusjärjestelmä ei toimisi.

 **Huomaa:**

Varmista, että asianmukaisia varotoimia noudatetaan tukehtumisriskin välttämiseksi.

- **Happipitoisuuden säilyttäminen vähimmäishappipitoisuuden rajan (rajahappipitoisuuden rajan) alapuolella**

Tämä toimintatila edellyttää pumpattavien kaasujen happipitoisuuden valvontaa turvallisen käytön takaamiseksi. Syntyvän kaasun tahattomasti syttymisalttiiseen kohtaan pääsemisen riski minimoidaan asettamalla vähimmäishappipitoisuutta (rajahappipitoisuutta) varten turvamarginaali. Alan standardeissa esitetään, että kun happipitoisuutta valvotaan jatkuvasti, se on säilytettävä 2 tilavuusprosenttia alle kaasuseoksen ilmoitetun vähimmäishappipitoisuuden (rajahappipitoisuuden). Ellei vähimmäishappipitoisuus (rajahappipitoisuus) ole alle 5 %, happipitoisuus on pidettävä arvossa, joka ei ylitä 60 % vähimmäishappipitoisuudesta (rajahappipitoisuudesta). Mikäli valvonta perustuu ainoastaan rutiinomaisiin happitason tarkastuksiin, happitaso ei pidä antaa ylittää 60 %:a ilmoitetusta vähimmäishappipitoisuudesta (rajahappipitoisuudesta), ellei vähimmäishappipitoisuus (rajahappipitoisuus) ole alle 5 %, jolloin happipitoisuus on pidettävä alle 40 %:ssa vähimmäishappipitoisuudesta (rajahappipitoisuudesta).

Suosittelava keino happitason pitämiseksi ilmoitetun alimman vähimmäishappipitoisuuden (rajahappipitoisuuden) alapuolella on ilman ja hapen perusteellinen poissulkeminen prosessista ja pumppujärjestelmästä sekä pumpatun kaasun laimentaminen inertillä poistokaasulla (kuten typellä), jota syötetään tarvittaessa pumpun syöttökanavaan ja/tai poistoliitäntöihin. Ilman ja hapen poissulkemiskeinojen ja hälyttimien tai lukituslaitteiden laitteistoon asentamisen tarve riippuu laitteiston vaarallisesta kohdasta, joka muodostuisi siinä tapauksessa, että poissulkeminen epäonnistuisi ja laimennusjärjestelmä ei toimisi. Ilman perusteellinen prosessista ja pumppujärjestelmästä poissulkeminen edellyttää tiettyjä varokeinoja, jotka on kuvattu tämän kappaleen lopussa.

- **Syttyvän kaasun pitoisuuden pitäminen ylimmän syttymisrajan (ylimmän räjähdysrajan) yläpuolella**

Mikäli syttyvien kaasujen pitoisuudet ovat korkeita, käyttö ylimmän syttymisrajan (ylimmän räjähdysrajan) yläpuolella voi olla sopivampaa. Riski, joka liittyy aineen tunkeutumiseen laitteiston syttymisalttiiseen kohtaan, minimoidaan asettamalla ylempää syttymisrajaa (ylempää räjähdysrajaa) varten turvamarginaali. On suositeltavaa säilyttää kaasuun jäävän hapen pitoisuus alle 60 %:ssa absoluuttisesta happipitoisuudesta, joka normaalisti vallitsee syttyvän kaasun pitoisuudessa, kun tätä on ylempään syttymisrajan (ylempään räjähdysrajan) verran. Suositeltava keino happitason pitämiseksi määritetyn turvamarginaalin alapuolella on ilman ja hapen perusteellinen poissulkeminen prosessista ja pumppujärjestelmästä. Lisäksi voi olla tarpeen laimentaa pumpattua kaasua inertillä poistokaasulla (kuten

typellä) tai ylimääräisellä syttyvällä kaasulla ("täytekaasulla"), jota syötetään pumpun syöttökanavaan ja/tai poistoliitäntöihin. Ilman poissulkemiskeinojen, poistokaasun syöttämisyjärjestelmän ja hälyttimien tai lukituslaitteiden laitteistoon asentamisen tarve riippuu laitteiston vaarallisesta kohdasta, joka muodostuisi siinä tapauksessa, että poissulkeminen epäonnistuisi ja laimennusjärjestelmä ei toimisi.

- **Syttyvän kaasun pitoisuuden pitäminen vähimmäisräjähdyspaineen alapuolella**

Jokaisella syttyvällä aineella on vähimmäispaine, jonka alapuolella räjähdystä ei voida ylläpitää. Jos tyhjöpumpun syöttöpuolen paine pystytään pitämään turvallisesti tämän painerajan alapuolella, tyhjöpumpun sisällä alkaneet palot eivät pääse leviämään syöttöpuolelle. Tyhjöpumpun poistopuolella on kuitenkin ryhdyttävä varotoimiin.

Ilman perusteellinen poissulkeminen prosessista ja pumppujärjestelmästä edellyttää tavallisesti seuraavia varotoimia:

- **Ilmavuotojen eliminointi**

Tähän käytetään vuotoilmaisinta tai paineennousutestiä. Ennen kuin syttyviä aineita päästetään prosessikammioon voidaan suorittaa testi, jolla saadaan selville, onko tyhjöjärjestelmään vuotava ilmamäärä (happimäärä) sallittujen rajojen sisäpuolella.

Paineennousutesti toteutetaan tyhjentämällä prosessikammio paineeseen, joka on hieman normaalin käyttöpaineen alapuolella, ja eristämällä se sitten tyhjöpumpusta. Prosessikammion painetta seurataan tämän jälkeen määritetyn ajanjakson ajan. Koska prosessikammion tilavuus ja suurin sallittu ilmavuoto ovat tiedossa, on mahdollista laskea suurin sallittu paineennousu, joka voi ilmetä määritetyn ajanjakson aikana. Mikäli suurin sallittu paineraja ylittyy, prosessikammioon pääsevä ilmavuoto (happivuoto) on tiivistettävä; testi on sen jälkeen suoritettava uudelleen hyväksyttävien tuloksin ennen kuin prosessikammioon päästetään syttyviä aineita.

Tietyissä tapauksissa on mahdollista käyttää tyhjöjärjestelmän kykyä saavuttaa hyvä peruspaine osoittamaan järjestelmän vuototiiviys.

- **Järjestelmästä on poistettava kaikki ilma ennen prosessin käynnistämistä**
Järjestelmä tulee tyhjentää täysin ilmasta käyttämällä tarvittaessa inerttikaasua (kuten typpeä) ennen kuin prosessilaitteistoon syötetään syttyviä kaasuja. Toimenpide tulee toistaa prosessin päätyttyä ja kaikki syttyvä kaasu poistaa ennen kuin järjestelmä tuuletetaan ilmalla.
- **Kuivat tyhjäpumput**
Akselintiivistyskaasut tai kaasuhuuhtelun tiivistyskaasut eivät saa joutua kosketuksiin ilman kanssa missään tilanteessa ja kaikkien kaasukuormitteisten liitännöiden on oltava joko tiivistettyjä tai sitten niitä on käytettävä ainoastaan inerttikaasun syöttöön.
- **Märät tyhjäpumput (öljytiivisteiset kiertosiipi- tai kiertomäntäpumput)**
Akselintiivisteitä on käytettävä täysin valmistajan ohjeita noudattaen, ja öljypaineen putoamisen varalta laitteistossa on oltava pumpputoiminen paineistettu ja hälytystoiminnolla varustettu öljyä levittävä voitelujärjestelmä. Järjestelmään voi kuulua painekatkaisimella varustettu ulkoinen lisälaitte, joka tuottaa suodatettua ja paineistettu voiteluöljyä. Kaikkien kaasukuormitteisten porttien on joko oltava tiivistettyjä tai sitten niitä on käytettävä ainoastaan inerttikaasun syöttämiseen. Öljykoteloon on syötettävä sopivaa inerttikaasua ilman poistamiseksi ennen prosessin käynnistämistä.
- **Rootin alipainetehostinpumput**
Ensiöakselin tiivistettä tulee käyttää täysin valmistajan ohjeita noudattaen, ja kaikkia poisto- tai huohotinliitännöitä tulee käyttää ainoastaan inertin kaasun syöttämiseen.
- **Takaisinvirtaus**
Järjestelmää on suojattava käyttöön liittyvin menettelytavoin ja laittein ilman takaisinvirtaukselta, jota voisi tapahtua, jos pumppuun tulisi toimintahäiriö. Pumpatut syttyvät kaasut on hävitettävä turvallisesti pumpun poistojärjestelmän viimeisessä vaiheessa. Lisäksi on varmistettava, ettei poistoputkistossa voi muodostua syttyviä kaasuseoksia, käyttämällä sopivaa inerttiä poistokaasua putkistossa ennen syttyvien kaasujen käytön aloittamista sekä niiden käytön lopettamisen jälkeen samoin kuin käytön aikana tarkoituksena estää ilmaa virtaamasta takaisin poistoputkistoa pitkin ja sekoittumasta muihin kaasuihin.

6.6 Järjestelmän suojaustaso

Inerttikaasulla aikaansaataavaa laimennusta on jo käsitelty suojauskeinona edellisissä kappaleissa. Keino perustuu siihen, että käyttökaasuihin sekoitetaan inerttikaasua (tavallisesti typpeä) tarkoituksena laimentaa niitä pitoisuuteen, jossa räjähdystä tai muuta reaktiota ei voi sattua. Jos pääasiallisesti suojauskeinoksi räjähdystä vastaan valitaan kaasalaimennus, saattaa olla välttämätöntä asentaa laitteistoon kattava hälytys- ja lukitusjärjestelmä, joka estää laitteiston käytön, mikäli kaasunlaimennusjärjestelmä on pois toiminnasta. Kaasunlaimennusjärjestelmän suojaustehoa tulee miettiä riskien arvioinnin (vaara-analyysin) yhteydessä, ja se riippuu laitteiston sisäisistä vaarallisista kohdista (eli kulloisestakin riskitasosta), joita voisi syntyä, mikäli laimennusjärjestelmä ei toimisi. Riskiarvioinnissa tulee aina ottaa huomioon ajankohtainen paras käytäntö määritettäessä, mikä on järjestelmään tarvittava suojaustaso.

Jos laimennusjärjestelmää on esimerkiksi käytetty pitämään syttyvän kaasun pitoisuus syttymisalttiin kohdan ulkopuolella ja laimennusjärjestelmän vika johtaisi siihen, että pumpattu kaasu olisi syttymisalttiissa kohdassa jatkuvasti tai pitkiä aikoja (ATEX 0 -kohdassa

tyypillinen vaatimus olisi >50 %), laimennusjärjestelmän on täytettävä jokin seuraavista ehdoista:

- Sen on oltava turvallinen myös harvinaisen toimintahäiriön sattuessa
- Sen on oltava turvallinen, vaikka laitteistossa olisi kaksi eri vikaa
- Sen on koostuttava kahdesta erillisestä laimennuskaasun syöttöjärjestelmästä.

Vaihtoehtona on, että jos laimennusjärjestelmän toimintahäiriö aiheuttaisi sen, että pumpattua kaasua olisi syttymisalttiissa kohdassa satunnaisesti (tyypillisesti ATEX 1 -kohdan ehto), laimennusjärjestelmän on täytettävä jokin seuraavista ehdoista:

- Sen on oltava turvallinen myös odotettavissa olevan toimintahäiriön sattuessa
- Sen on oltava turvallinen, vaikka laitteistossa olisi jokin vika.

Jos laimennusjärjestelmän toimintahäiriö aiheuttaisi sen, että pumpattua kaasua ei todennäköisesti pääsisi syttymisalttiiseen kohtaan, tai niin voisi käydä vain hetkittäin (tyypillisesti ATEX 2 -kohdan ehto), laimennusjärjestelmän on oltava turvallinen normaalissa käytössä.

6.7 Palosuojaan perustuvien suojausjärjestelmien käyttö

Jos pumpattujen kaasujen ja höyryjen seos on syttyvää (katso [Syttymisalttiiden kohtien välttäminen](#) sivulla 21) jatkuvasti tai pitkiä aikoja (ts. 0-kohdan ehto) ja jos on olemassa riski, että sytytyslähde (katso [Sytytyslähteet](#) sivulla 24) aktivoituu normaalissa käytössä tai ennakoitavan toimintahäiriön johdosta, ensiöpumppuun on asennettava vaadittavat palosuojat (katso myös [Palosuojat](#) sivulla 30). Ulkopuolinen taho on myöntänyt sertifikaatin Edwardsin tyhjöpumpuille käytettyinä yhdessä tiettyjen palosuojien kanssa, mikä osoittaa niiden kyvyn estää liekkien leviäminen prosessilaitteiston putkistoa pitkin tai ympäröivään ilmakehään.

Jos syttyvää seosta on läsnä pitkiä aikoja, hyväksytyt ja testatut lämpötilalähetin on asennettava syöttöpuolen palosuojaan, jotta jatkuva syttyminen voidaan havaita. Jos jatkuva syttyminen havaitaan, pumppu on sammutettava ja eristettävä polttoainelähteestä. Ota yhteys Edwardsiin ja pyydä tietoa hyväksytyistä palosuojista ja lämpötilalähtetä. Jotta palosuoja ja pumppu voidaan suojata termisesti pumpun harvinaisissa vikatilanteissa (0-kohta), lämpötilalähetin on asennettava myös pumpun poistojärjestelmään. Sammutuspisteet määräytyvät pumppujärjestelmän mukaan. Tutustu kullekin pumpulle sopivaan ATEX-oppaaseen.

Jos toinen lämpötilalähetin (syöttöpuolen tai poistojärjestelmän) saavuttaa enimmäisrajan vikatilan merkiksi, on ryhdyttävä asianmukaisiin toimiin. Strategia riippuu laitteistosta, mutta siihen voivat kuulua seuraavat:

- **Polttoaineen syötön pysäyttäminen** – Sulkemalla tyhjöpumpun syöttöpuolen venttiili estetään polttoaineen syöttö tyhjöpumppuun
- **Sytytyslähteen eliminointi** – Pumppu saadaan pysäytettyä katkaisemalla moottoriin tuleva virta
- **Inerttikaasun syöttäminen palokohtaan** – Liekit saadaan tukahdutettua lisäämällä nopeasti inerttikaasua palokohtaan (joka sijaitsee tyypillisesti, mutta ei aina, pumpun poistoputkistossa). Huomaa, että liekki voi roihahtaa uudelleen, ellei sytytyslähdeä eliminoida.

6.8 Sytytyslähteet

Kun tyhjöpumppuja käytetään syttyvien seosten pumppaamiseen, kaikki mahdolliset sytytyslähteet on huomioitava. Alle on koottu joitakin huomioitavia seikkoja, joita voidaan

käyttää tilanteen tarkastelun lähtökohtina. Prosessista riippuen joko osa tai kaikki sytytyslähteet voidaan pystyä eliminoimaan. Jos sytytyslähde ei pystytä eliminoimaan prosessin tilan tai järjestelmävaatimuksen vuoksi, järjestelmä on suunniteltava tämän mukaisesti.

 **Huomaa:**

Ulkopuolinen taho on myöntänyt joillekin Edwardsin pumpuille sertifiointin, joka osoittaa että ne kestävät (oikein käytettyinä) sisäisen räjähdysriskin.

- **Mekaaninen kontakti** – Pyörien tai paikallaan olevien osien mekaaninen kontakti tyhjäpumpun ja järjestelmän sisällä voi toimia sytytyslähteenä. Kaikki Edwardsin tyhjäpumput on suunniteltu ja valmistettu säilyttämään asianmukaiset välykset pumpun sisällä kaikissa käyttötiloissa. Jotta sytytyslähteen syntyminen vältetään, on tärkeää välttää aineiden kerrostuminen pumpun sisäpinnoille tai huolehtia pumpun puhdistamisesta. Laakerit on pidettävä hyvässä kunnossa, niitä on voideltava riittävästi ja sopivaa huuhtelukaasua on käytettävä, jotta vältetään kontaktilta käyttökaasujen kanssa. Laakereiden suositeltuja huoltovälejä on noudatettava, jotta taataan turvallinen ja luotettava käyttö.
- **Hiukkasten sisäänpääseminen** – Kaikkien pumppausmekanismien sisään voi mahdollisesti päästä hiukkasia, joita syntyy prosessin aikana tai jotka johtuvat laitteiston valmistusprosessista. Ne saattavat tuottaa lämpöä, kun ne hiertyvät liikkuvan pinnan ja paikoillaan olevan pinnan välissä. Sopiva syöttöpuolen verkko tai suodatin estää hiukkasten pääsyn tyhjäpumppuun ja pienentää hiukkasten kokoa ja määrää turvalliselle tasolle. Syöttöpuolen verkko on huollettava sille sopivia huoltovälejä noudattaen.
- **Pölyn muodostuminen** – Laitteiston sisällä oleviin välyksiin voi muodostua hienojakoista pölyä, mikäli pumppausmekanismia käytetään pölyä tuottavassa prosessissa. Vaikka laitteiston syöttöpuolella olisi käytössä pölynsuodattimia, on siltikin mahdollista, että pumppuun joutuu pieniä pölyhiukkasia. Lämpötilan muutosten myötä muuttuvien pienten mittasuhteiden muutokset voivat aiheuttaa sen, että hienojakoinen pöly koskettaa jotakin liikkuvaa pintaa ja tuottaa kuumuutta.
- **Puristuslämpö (itsestäänsyttyminen)** – Minkä tahansa kompressorin sisällä tapahtuvan puristuksen aiheuttama lämpö on huomioitava suhteessa pumpattavien kaasujen tai höyryjen itsestäänsyttymislämpötilaan. Varmista, että pumpun lämpötilaluokitus on vähintään sama tai korkeampi kuin pumpattavien kaasujen.
- **Kuumat pinnat** – Jos syttyvien kaasujen tai höyryjen annetaan päästä kosketuksiin kuuman pinnan kanssa, ne voivat syttyä siinä tapauksessa, että niiden itsestäänsyttymislämpötilan raja ylittyy. Huomaa: Edwardsin pumppuja ja palosuojia ei pidä lämpöeristää, jos se voi aiheuttaa itsestäänsyttymiseen johtavaan laitteiston sisäpuolella (ja ulkopuolella) olevien pintojen lämpötilojen nousuun.
- **Ulkopuolelta tuleva lämpö** – Ulkopuolelta voi tulla lämpöä laitteistoon esimerkiksi välittömästi tyhjäjärjestelmän lähetyksellä syttyvän tulipalon yhteydessä. Tällaisessa tilanteessa on mahdollista, että sisäinen paine ylittää järjestelmän suurimman sallitun staattisen paineen ja että lämpötila ylittää itsestäänsyttymislämpötilan. Asia on otettava huomioon järjestelmää koskevassa vaara-analyysissä.
- **Kaasuvirtaus kuumassa prosessissa** – Syötettävien kaasujen korkeat lämpötilat voivat aiheuttaa sen, että laitteiston sisäpuolella (ja ulkopuolella) olevien pintojen lämpötilat ylittävät pumpattavien aineiden itsestäänsyttymislämpötilojen rajat. Korkeat syöttökaasun lämpötilat voivat johtaa myös roottorin/ staattorin

kiinnileikkaamiseen. Katso tyhjäpumpun käyttöohjeista suurimmat sallitut sisäisten kaasujen lämpötilat. Pyydä lisätietoja Edwardsilta.

- **Katalyyttiset reaktiot** – Tiettyjen aineiden läsnäolo voi johtaa katalyyttiseen syttymiseen. Kaikkia tyhjäjärjestelmään kuuluvia rakenneosia on tarkasteltava tältä kannalta suhteessa pumpattaviin kaasuihin tai höyryihin.
- **Pyroforinen reaktio** – Jos ilmaa tai oksidanttia joutuu laitteiston sisään ja se sytyttää pyroforisen aineen palamaan, tästä aiheutuva lämpö voi toimia minkä tahansa syttyvän materiaalin sytytyslähteenä. Katso [Pyroforiset aineet](#) sivulla 11.
- **Staattinen sähkövaraus** – Laitteistossa voi syntyä olosuhteet, joissa muodostuu staattinen sähkövaraus eristettyihin komponentteihin ennen kuin varaus purkautuu kipinän muodossa. Staattisen varauksen muodostumisen mahdollisuus on huomioitava suunniteltaessa järjestelmän rakennetta.
- **Salamointi** – Jos laitteisto sijaitsee ulkotiloissa, salamanisku voi tuottaa syttymiseen tarvittavan energian. Tällaisen tilanteen mahdollisuus on huomioitava suunniteltaessa järjestelmän rakennetta.

6.9 Yhteenveto – järjestelmän suunnittelu

Turvallista tyhjäpumpppujärjestelmää suunniteltaessa on huomioitava seuraavat seikat. Myös muita, käyttökohteen mukaan määräytyviä huomioitavia asioita voi olla.

- Jos laitteistolla halutaan pumpata vaarallisia aineita, se on suunniteltava siten, että se on turvallinen myös vikatilassa.
- Pumpuissa tulee käyttää PFPE-pohjaisia (perfluoripolyeetteripohjaisia) voiteluaineita, kun niillä pumpataan oksidanteja.
- Jos inerttikaasua käytetään laimentamaan syttyvän kaasun pitoisuus alle alemman räjähdys- tai syttymisrajan tai alle pienimmän tai alemman oksidanttipitoisuuden, inerttikaasun syötön toimivuus on taattava.
- Pitoisuus voidaan myös pitää ylemmän räjähdys- tai syttymisrajan yläpuolella, mutta silloin on otettava käyttöön asianmukaiset varotoimet, joilla taataan, ettei pitoisuus pääse syttyvälle alueelle.
- Järjestelmät ja laitteet on testattava vuotojen varalta vuototiiviiden takaamiseksi ennen niiden käyttöä.
- Pyroforiset kaasut on laimennettava turvalliseen pitoisuuteen inerttikaasulla ennen kuin ne poistetaan järjestelmästä ilmakehään tai ennen kuin niihin sekoittuu hapettavia kaasuja.
- Natriumatsidi ja raskasmetallit eivät saa missään kaasujärjestelmän vaiheessa joutua kosketuksiin keskenään.
- Järjestelmän suurimman sallitun paineen ei saa antaa ylittää järjestelmän minkään yksittäisen laitteen turvallista tasoa.
- Turvallisuustiedot on aina luettava niiden aineiden osalta, joita aiotaan pumpata.
- Mikäli puristustilassa olevaan öljyyn liittyy vaaroja, käyttöön kannattaa valita pikemminkin kuivapumppuja kuin öljytiivisteellä varustettuja kiertosiipi- tai mäntäpumppuja.
- Jos Edwardsin tyhjäpumpuilla pumpataan mahdollisesti syttyviä seoksia, kaikki mahdolliset sytytyslähteet ja mahdollisen räjähdysten seuraukset on otettava huomioon.

7. Laitteiston valitseminen oikein

Käyttötarkoitukseen valitaan sopiva laitteisto ottamalla huomioon rajat, joiden puitteissa järjestelmän halutaan toimivan. Edwardsin laitteistojen tekniset tiedot ovat nähtävissä tuoteluettelosta, markkinointijulkaisuista ja laitteiston käyttöoppaista. Useimmissa tapauksissa lisätietoa on saatavilla pyynnöstä; käänny Edwardsin puoleen, mikäli tarvitset asiassa neuvontaa.

Tyhjöjärjestelmää suunniteltaessa on otettava huomioon seuraavat olennaiset pumppuihin liittyvät mekaaniset tekijät:

- suurin sallittu staattinen paine (syöttö- ja poistopuoli)
- suurin sallittu käytön aikainen syöttöpaine
- suurin sallittu käytön aikainen poistopaine
- syöttö- ja poistopuolen osien sähkönjohtavuus
- muiden pumppuun asennettujen osien painearvot
- paineenvalvonta siinä tapauksessa, että poistoputkisto tukkeutuu.

Öljytiivisteellä varustettujen kiertosiipi- ja mäntäpumppujen osalta on myös otettava huomioon esimerkiksi:

- kaasukuormituksen virtausnopeus
- öljykotelon poistovirtauksen nopeus
- öljykoteloon jäävät kaasut ja höyryt
- öljykotelossa olevaan öljyyn imeytyvät kaasut ja höyryt.

Suurin sallittu staattinen paine ilmaisee maksimaalisen paineen, jolle pumpun syöttö- tai poistoliitäntä voi altistua, kun pumppu ei ole toiminnassa. Paine riippuu pumpun mekaanisesta rakenteesta.

Öljytiivisteellä varustetut kiertosiipi- ja mäntäpumput on suunniteltu toimimaan syöttöpaineella, joka on yhtä suuri tai pienempi kuin ilmakehän paine. Vaikka suurin sallittu staattisen paineen luokitus saattaa olla suurempi kuin ilmakehän paine, pumpun suurin sallittu syöttöpaine pumpun ollessa käynnissä ei saa ylittää ilmakehän painetta. Jotkut valmistajat rajoittavat pumppujensa jatkuvan syötön paineen alle ilmakehän paineen. Suurinta sallittua syöttöpainetta pumpun ollessa toiminnassa kutsutaan suurimmaksi sallituksi käyttöpaineeksi.

Suurimman sallitun käyttöpaineen rajoitus ei välttämättä liity pumpun mekaaniseen kestävyYTEEN. Suurin sallittu paine määritetään yleensä suhteessa pumpun teholuokitukseen pumpun ollessa suuren syöttöpaineen alaisena, ja sillä on yhteys pumpun tai sähkömoottorin mekaanisten komponenttien ylikuumenemisvaaraan.

Samankaltaisista syistä on suositeltavaa säilyttää tyhjöpumppun poistopaine mahdollisimman alhaisena, tyyppillisesti arvossa 0,15 baaria tai alle ($1,15 \times 10^5$ Pa jatkuvassa käytössä). Pumput on suunniteltu toimimaan rajoittamattomilla poistojärjestelmillä ja 0,15 baarin (suhteellinen paine) ($1,15 \times 10^5$ Pa) poistopaine on yleensä riittävä työntämään poistokaasut poistojärjestelmän ja käsittelylaitteiston läpi.

7.1 Öljytiivisteellä varustetut kiertosiipi- ja mäntäpumput

Edwardsin öljytiivisteellä varustettuihin kiertopumppuihin lasketaan E1M-, E2M-, ES- ja RV-sarjojen kiertosiippumput sekä öljytiivisteellä varustetut Stokes Microvac -malliston mäntäpumput. Yleisesti ottaen kaikki tyhjöpumput on suunniteltu toimimaan ilmakehän

paineen alittavilla syöttöpaineilla ja siten, että pumpun poistokaasut pääsevät vapaasti ilmakehään.

Öljiivisteellä varustetut kiertosiipi- ja mäntäpumput ovat syrjäytyspumppuja, jotka voivat tuottaa hyvin suuria poistopaineita poistoputkiston ollessa rajoittuneena tai tukkeutuneena. Tällaisessa tapauksessa paine voi ylittää pumpun öljykotelon turvallisen staattisen paineen ja usein myös järjestelmän jäljempänä olevien laitteiden (kuten polypropyleenistä valmistettujen puhdistimien tai tyhjiön O-renkaiden liitosten) turvalliset staattiset paineet. Siksi Edwards kehottaa asentamaan varmasti toimivan poistopaineanturin pumpun poistoputkistoon.

Kaasumäärää voidaan lisätä turvallisen pitoisuuden saavuttamiseksi öljykotelon tyhjennyslaitteella (mikäli sellainen on käytettävissä), joka on kytketty pumpussa olevaan öljykoteloon. Kaasumäärän ja öljykotelon tyhjennysnopeuden lisääminen saa poistojärjestelmään kulkevan öljymäärän suurentumaan.

Kaikissa Edwardsin öljyivisteellä varustetuissa pumpuissa on huomattavan suurikokoinen öljykotelo, joka kestää syttyvien ja räjähtävien kaasujen seoksia. Öljykotelossa oleva öljy pystyy imemään itseensä tehokkaasti höyryä ja kaasumaisia sivutuotteita, tai ne voivat kondensoitua. Öljyyn jäävät höyryt ja kaasut voivat olla pyroforisia tai myrkyllisiä. Turvallisuus on siis taattava huoltotoimien ajaksi erityisin käsittelymenetelmin.

7.2 Edwardsin kuivapumput

Suurimman sallitun käyttöpaineen rajallisuus johtuu samoista tekijöistä, jotka vaikuttavat myös öljyivisteellä varustettuihin pumppuihin (toisin sanoen pumpun tai sähkömoottorin mekaanisten osien ylikuumentumisvaarasta).

Edwardsin kuivapumput ovat syrjäytyspumppuja, ja ne voivat tuottaa hyvin suuria poistopaineita. Jos tällaisia pumppuja yhdistetään järjestelmään, jonka prosessi voi tuottaa kiinteitä sivutuotteita (jolloin poistoputkisto saattaa tukkeutua), Edwards kehottaa asentamaan laitteistoon tehokkaan poistopaineen valvontalaitteen. Katso pumppujen käyttöoppaasta, mille käyttöpaineelle kytkimet tulee säätää.

Edwardsin kuivapumput mahdollistavat suuren kaasun läpivirtauksen. Laimennuskaasun, kuten typen, lisääminen voi tapahtua pumpun mekanismien avulla reaktioiden vaimentamiseksi. Katso kaasuhuuhtelun virtausnopeudet pumpun käyttöohjeista.

7.3 Putkiston suunnittelu

7.3.1 Palkeet

Palkeet ovat lyhyitä, ohutseinämäisiä rakenneosia, joissa on syviä poimuja. Niitä käytetään vähentämään tyhjöjärjestelmään välittyvää pumpun tärinää.

Palkeet tulee aina asentaa suoraan linjaan ja molemmat päät tiukasti paikoilleen. Kun ne on asennettu oikein, ne kestävät pientä sisäistä painetta (katso lisätietoja palkeiden mukana toimitetusta käyttöoppaasta). Palkeita ei pidä käyttää kuivapumppujen poistopuolella; vaan tällöin tulee käyttää palkeiden sijaan taipuisia putkia (katso [Taipuisat putket](#) sivulla 28).

Palkeiden väsymisestä johtuva rikkoutuminen on otettava huomioon, mikäli niitä käytetään usein prosessin aikana.

7.3.2 Taipuisat putket

Taipuisissa putkissa on paksummat seinämäosat ja lievempi poimutus kuin paljerakenteisissa putkissa. Taipuisat putket ovat sopiva keino liittää tyhjöjärjestelmän eri osat yhteen ja siten

kompensoida jäykkien tyhjöputkien erilinjaisuudet ja pienet liikkeet. Taipuisat putket voi asentaa verrattain voimakkaasti taivuttaen, ja ne pysyvät asennossa, johon ne on taivutettu.

Taipuisat putket on tarkoitettu asennettaviksi staattisiin järjestelmiin. Ne eivät sovellu tarkoituksiin, joissa tapahtuu toistuvaa taivuttamista, koska se aiheuttaisi niiden rikkoutumisen väsymisen takia.

Käytettäessä taipuisia putkia tulee valita mahdollisimman lyhyt mitta ja välttää tarpeettomia taivutuksia. Punospäällysteisiä, taipuisia putkia on käytettävä käyttökohteissa, joissa poistopaineet voivat nousta korkeiksi.

Punospäällysteiset, taipuisat putket ovat rakenteeltaan paljemaisia, ja niiden ulkopuolen suojakerros koostuu ruostumattomasta teräksestä valmistetusta punoksesta. Asennettaessa punospäällysteisiä, taipuisia putkia paikoilleen on noudatettava punospäällysteisten, taipuisten putkien mukana toimitetussa käyttöoppaassa ilmoitettua vähimmäistaivutussädettä.

7.3.3 Kiinnityskohdat

Putket ja putkien osat on kiinnitettävä oikein. Jos esimerkiksi palkeet kiinnitetään väärin, ne eivät vähennä pumpun aiheuttamaa tärinää, ja tämä voi johtaa putkien väsymiseen.

7.3.4 Tiivisteet

Jos tyhjöjärjestelmän jostain osasta voi aiheutua painetta (myös vikatiloissa), laitteistossa on käytettävä sopivia tiivisteitä ja materiaaleja, jotka kestävät odotettavissa olevan tyhjiön ja paineen.

7.4 Fyysinen ylipainesuoja

Kuten aiemmin kerrottiin, ylipaine voi johtua järjestelmään tai johonkin sen osaan kohdistuvasta rajoitteesta tai tukkeutumisesta. Ylipainetta voi syntyä painekaasun virratessa pumpusta tai ulkoisesta painekaasun syötöstä (kuten laimennusjärjestelmään käytettävästä syötöstä). Järjestelmän voi suojata ylipaineelta kahdella tapaa: paineen vapautuksella ja ylipainehälytys- tai turvalaukaisujärjestelmällä. Nämä kuvataan seuraavissa kappaleissa.

7.4.1 Paineen vapautus

Ylipaineen poistoon voi käyttää murtolevyjä tai paineenalennusventtiileitä. Laitteen käyttöpaineen on oltava alhaisempi kuin järjestelmän mitoituspaineluokitus. Tällaiset laitteet on liitettävä sopivin putkin sellaiseen paikkaan, johon on turvallista päästää käyttökaasut ja jossa ei ole tuuletukseen liittyviä rajoituksia. Mikäli prosessissa syntyy kiinteitä sivutuotteita, paineenalennimet on tarkastettava säännöllisesti, jotta voidaan olla varmoja siitä, etteivät ne ole tukkeutuneet tai ettei niiden toiminta ole rajoittunutta. Murtolevyjä ja turvaventtiileitä valittaessa on otettava huomioon vaikutukset, joita painesykyksillä on tällaisten turvalaitteiden käyttöikänsä.

7.4.2 Ylipainehälytys- ja turvalaukaisujärjestelmä

Edwards on ottanut tämän suojakeinon yleiseen käyttöön. Mainittua suojausta suositellaan kaikkiin laitteistoihin, mutta se ei välttämättä sovellu järjestelmiin, joissa syntyy kiinteitä sivutuotteita.

7.4.3 Paineensäätimet

Paineensäätimiä on pääasiassa kahta eri tyyppiä: poistoaukollisia ja poistoaukottomia.

Poistoaukolliset säätimet päästävät kaasua ilmakehään tai erilliseen poistokanavaan säilyttääkseen tasaisen poistopaineen silloin, kun virtausta ei ole. Poistoaukollisia säätimiä käytetään yleensä silloin, kun putkiston toimivuus on ensiarvoisen tärkeää.

Poistoaukottomat säätimet pystyvät säilyttämään tasaisen poistopaineen ainoastaan virtauksen aikana.

Kun virtausta ei ole, joidenkin säätimien poistopaine saattaa nousta syöttöpaineen tasolle. Paineennousun nopeus riippuu säätimen ominaisuuksista ja sen tilan tilavuudesta, johon poistopuoli on liitetty. Paineennousu voi kestää muutamasta minuutista moneen kuukauteen.

Paineensäätimiä ei ole suunniteltu sulkuventtiileiksi, ja niitä on pakko käyttää yhdessä sopivan eristyslaitteen (kuten esimerkiksi magneettiventtiilin) kanssa, mikäli eristys on välttämätöntä. Liiallista painetta voi päästää pois turvallisesti myös muilla keinoilla, mutta paineenpoistosta on välttämätöntä huolehtia.

7.4.4 Palosuojat

Palosuojat eivät ole räjähdystä estäviä laitteita. Ne on suunniteltu estämään liekkien leviäminen putkea tai kanavaa pitkin (katso [Palosuojaan perustuvien suojausjärjestelmien käyttö](#) sivulla 24). Palosuojissa on laaja pinta ja liekkirintamaa varten tehtyjä pieniä aukkoja, jotka tukahduttavat liekit. Palosuojat soveltuvat yleisesti ottaen ainoastaan sellaisiin järjestelmiin, joissa käytetään puhtaita kaasuja tai höyryjä.

Kaasuseosten räjähtävä energia kasvaa paineen myötä. Useimmat palosuojat on kehitetty suojaamaan tiloja, joiden sisäinen paine ei ylitä ilmakehän painetta. Niitä valittaessa on varmistettava, että palosuojan johtavan poistojärjestelmän käyttöpaine ei voi ylittää enimmäiskäyttöpainetta. Jos on kyse palosuojista, jotka on sertifioitu käytettäväksi Edwardsin kemikaaleille tarkoitettujen kuivatyhjäpumpujen kanssa, tarkasta sallitut enimmäispaineet ATEX-käyttöohjeista. Ota huomioon myös tyhjäpumpun suurin sallittu vastapaine.

Palosuojat toimivat poistamalla palamisesta syntyvää kuumuutta liekkirintamasta, ja niiden käyttölämpötila on sen takia mahdollisimman turvallinen. Tämän lämpötilan ei saa antaa ylittyä johtumislämmön, eristyksen eikä sen lävitse kulkevan kaasuvirtauksen lämpötilan vaikutuksesta.

Palosuojan kyky pidättää liekit riippuu liekkirintaman etenemisnopeudesta, joka puolestaan riippuu sen etäisyydestä sytytyslähteeseen nähden. Palosuojat tulee liittää tiukasti syöttö- ja poistopuolelle, kun niitä aiotaan käyttää yhdessä Edwardsin kemikaaleille tarkoitettujen tyhjäpumpujen kanssa. Kulma- ja T-kappaleiden käyttö pumpun ja palosuojan välillä on hyväksyttävää tietyissä olosuhteissa tiettyjen pumppumallien kohdalla. Käänny Edwardsin puoleen, mikäli tarvitset asiassa neuvontaa.

7.5 Poistojärjestelmät

Inerttikaasun käyttöön perustuvia poistojärjestelmiä voidaan asentaa laitteistoon, jotta sen sisään jääneet käyttökaasut saadaan poistettua prosessin päätyttyä.

Poistojärjestelmän oikealla käytöllä varmistetaan, että laitteistosta saadaan puhdistettua syövyttävät aineet, ja estetään niitä siten vaurioittamasta pumppua ja ennen kaikkea suojausjärjestelmiä, kuten palosuoja. Lisäksi poistamalla käyttökaasut taataan se, ettei prosessin eri vaiheissa käytettävien erilaisten aineiden välillä pääse syntymään ei-toivottuja ja mahdollisesti vaarallisia kemiallisia reaktioita.

7.6 Yhteenveto – laitteiston valitseminen oikein

- Käyttötarkoitusta varten on valittava sopivanlainen laitteisto.
- Järjestelmään on liitettävä kaikki soveltuvat ja välttämättömät suojalaitteet turvallisuuden takaamiseksi myös vikatilassa.
- Virtaamattomia kohtia tulee välttää.
- Järjestelmä on tarkastettava ja säädettävä sopivalla tavalla.
- Laitteistoon tulee liittää paineenrajoittimia, mikäli se on tarkoituksenmukaista.
- Laitteistoon tulee tarvittaessa asentaa palosuojia.
- Järjestelmä ja laitteet on testattava vuotojen varalta ennen niiden käyttöä.

8. Käyttömenetelmät ja koulutus

Laitteiston käyttöturvallisuus edellyttää asianmukaista koulutusta, selkeitä ja johdonmukaisia ohjeita ja säännöllistä huoltoa. On tärkeää, että kaikki tyhjölaitteistoa käyttävät henkilöt saavat asianmukaisen koulutuksen, he ovat päteviä ja että heidän toimintaansa valvotaan tarvittaessa.

Käänny Edwardsin puoleen ja pyydä neuvoa, mikäli olet epävarma Edwardsin valmistaman laitteen käyttöön tai turvallisuuteen liittyvästä seikasta.

9. Yhteenveto

- Tee vaara-analyysi, jossa kaikki vaarat tunnistetaan ja jossa ne mahdollisuuksien mukaan eliminoidaan tai niitä ainakin pienennetään. Tämä on tehtävä tyhjöjärjestelmää suunniteltaessa ja valmistettaessa, sekä järjestelmän käyttöönoton, käytön, huollon ja käytöstä poistamisen yhteydessä.
- Kaikki järjestelmän sisällä mahdollisesti syntyvät kemialliset reaktiot on otettava huomioon. Lisäksi on huomioitava epätavalliset kemialliset reaktiot, mukaan lukien ne, joita voi syntyä laitteiston vikatilissa.
- Prosessissa käytettävien aineiden aiheuttamia potentiaalisia vaaroja, kuten itsestäänsyttymistä, arvioitaessa tulee katsoa tuoteturvallisuustiedotteessa esitettyjä tietoja.
- Oksidanttien ja syttyvien aineiden kanssa syntyviä reaktioita voidaan minimoida käyttämällä sopivia laimennustekniikoita.
- Pumpussa on käytettävä oikeanlaisia voiteluaineita, kun sillä pumpataan oksidantteja ja pyroforisia aineita.
- Pumppauslaitteiston kaasukanavistossa ei pidä käyttää raskasmetalleja, mikäli prosessissa syntyy tai siinä käytetään natriumatsidia.
- Turvallisuuslaskelmia suoritettaessa on varmistettava, että järjestelmän kaikkien komponenttien turvalliset käyttöpaineet tulevat huomioiduiksi. Myös kaikki epätavalliset olosuhteet ja vikatilat on huomioitava.
- Järjestelmään on liitettävä oikeanlaisia paineenalentimia, joiden arvot vastaavat käyttötarkoituksen edellyttämiä arvoja.
- Lisäksi on varmistettava, ettei poistoputkisto voi tukkeutua.
- Laimennuskaasujen syöttöä on säädettävä ja valvottava asianmukaisesti.
- Jos laitteistolla halutaan pumpata vaarallisia aineita, se on suunniteltava siten, että se on turvallinen myös vikatilassa.
- Pumpuissa tulee käyttää PFPE-pohjaisia (perfluoropolyeetteripohjaisia) öljyjä ja voiteluaineita, kun niillä pumpataan oksidantteja.
- Laimenna syttyvät ja pyroforiset kaasut turvallisiin pitoisuuksiin käyttämällä inerttikaasua tai varmista, että pitoisuus pysyy ylemmän syttymis-/räjähdysrajan yläpuolella ja ota huomioon kaikki asiaankuuluvat turvallisuustekijät kaikissa laitteiston käyttötiloissa vikatilat mukaan lukien.
- Järjestelmän suurimman sallitun paineen ei saa antaa ylittää järjestelmän minkään yksittäisen laitteen suurinta sallittua paineluokitusta.
- Mikäli puristustilassa olevaan öljyyn liittyy vaaroja, käyttöön kannattaa valita pikemminkin kuivapumppuja kuin öljytiivisteellä varustettuja pumppuja.
- Virtaamattomia kohtia tulee välttää.
- Järjestelmä on tarkastettava ja säädettävä sopivalla tavalla.
- Laitteistoon tulee tarvittaessa asentaa palosuoja.
- Järjestelmä ja laitteet on testattava vuotojen varalta ennen niiden käyttöä.

