



Vaakumpump ja vaakumsüsteemid

OHUTUSJUHEND

Autoriõiguse märged

©Edwards Limited 2019. Kõik õigused on kaitstud.

Sisukord

1. Sissejuhatus.	5
1.1 Dokumendi käsitusala.	5
1.2 Plahvatusohud.	5
2. Ohud.	7
2.1 Kavandamine.	7
2.2 Konstrueerimine.	7
2.3 Käitamine/kasutuselevõtt.	8
2.4 Hooldus / kasutuselt kõrvaldamine.	8
3. Keemilised ohuallikad.	9
3.1 Keemilised reaktsioonid ja plahvatused.	9
3.1.1 Homogeensed reaktsioonid.	9
3.1.2 Heterogeensed reaktsioonid.	9
3.2 Probleemid abnormsete reaktsioonidega.	9
3.3 Plahvatusohud.	10
3.3.1 Oksüdandid.	10
3.3.2 Tule- ja plahvatusohtlikud materjalid.	11
3.3.3 Pürofoorsed materjalid.	11
3.3.4 Naatriumasiid.	12
3.4 Toksilised või korrodeerivad materjalid.	12
3.4.1 Toksilised materjalid.	12
3.4.2 Korrosiivsed materjalid.	13
3.5 Kokkuvõte: keemilised ohuallikad.	13
4. Füüsilised ohuallikad.	15
4.1 Ülerõhu ohutüübid.	15
4.2 Ülerõhu alla sattunud pumba väljalase.	15
4.3 Kaitse väljalaske ülerõhu eest.	15
4.4 Sisselaske ülerõhk.	16
4.4.1 Surugaasivarustus ja vasturõhk.	16
4.4.2 Pumba väärtalitlus.	16
4.5 Kokkuvõte: füüsilised ohuallikad.	17
5. Ohuanalüüs.	18
6. Süsteemi kavand.	19
6.1 Süsteemi piirõhu väärtused.	19
6.2 Liikumate mahtude kõrvaldamine.	19
6.3 Heitgaaside väljutussüsteemid.	20
6.4 Potentsiaalselt plahvatusohtlike gaasi- või aurusegude allikad.	20

6.5	Tuleohtliku tsooni vältimine.	21
6.6	Süsteemi ühtsuse tasemed.	23
6.7	Leegikustutite kaitsesüsteemide kasutamine.	24
6.8	Süüteallikad.	24
6.9	Kokkuvõte: süsteemi kavandamine.	26
7.	Õigete seadmete valimine.	27
7.1	Õliga suletud rotatsioon- ja kolbpumbad.	27
7.2	Edwardsi kuivpumbad.	28
7.3	Torustiku kavandamine.	28
7.3.1	Sülfoonid.	28
7.3.2	Elastne torustik.	28
7.3.3	Ankrupunktid.	29
7.3.4	Tihendid.	29
7.4	Füüsiline ülerõhukaitse.	29
7.4.1	Rõhuvabastus.	29
7.4.2	Ülerõhualarm/-vabasti.	29
7.4.3	Rõhuregulaatorid.	29
7.4.4	Leegikustutid.	30
7.5	Läbipuhumissüsteemid.	30
7.6	Kokkuvõte: õigete seadmete valimine.	30
8.	Töötoimingud ja väljaõpe.	31
9.	Kokkuvõte.	32

Edwards Ltd loobub igasugustest kohustustest ega anna garantiid siin toodud teabe, toimingute või kasutusala täpsuse, rakendamise, ohutuse ja tulemuste kohta. Edwards Ltd ei võta mingit vastutust siin toodud teabele tuginemisest tingitud kahju või kahjustuse eest ega siin sisalduva teabe õigsuse või terviklikkuse eest. Pöörake tähelepanu sellele, et see dokument on üksnes informatiivne, ja kuigi Edwards saab anda ohtlike materjalide kasutamisega kaasnevate võimalike ohtude kohta suuniseid, kuuluvad konkreetsele rakendusale ja keskkonnale spetsiifilise riskihindamise/ohuanalüüsi tegemine ning riiklike määruste järgimine lõppkasutaja vastutusalasse.

1. Sissejuhatus

1.1 Dokumendi käsitusala

Dokument sisaldab vaakumpumpade ja -süsteemide tehniliste andmete, kavandamise, töö ning hooldusega seotud ohutusteavet.

Dokumendis kirjeldatakse tekkida võivaid potentsiaalseid ohte ja antakse suuniseid, mis aitavad ohuolukordade tõenäosust vähendada ning tagada seda, et ohuolukorra tekkimisel järgitakse nõuetekohaseid meetmeid.

Dokumendi peavad läbi lugema kõik, kes tegelevad vaakumpumpade ja -süsteemide tehniliste näitajate, kavandamise, paigaldamise, kasutamise või hooldamisega. Soovitame juhendit lugeda koos järgmiste dokumentidega.

- Seadmete tarnekomplekti kuuluvad kasutusjuhendid
- Protsessigaaside ja kemikaalide tarnijate dokumentatsioon
- Teie tööohutuse osakonna dokumendid.



HOIATUS.

Selles juhendis ja vastava pumba kasutusjuhendis sisalduvate ohutussuuniste eiramisega võivad kaasnedä rasked tervisekahjustused või surm.

Kui vajate lisateavet Edwardsi toodete sobivuse kohta teie rakendusprotsessi tarbeks või teie vaakumpumpade/-süsteemide ohutusandmete kohta, võtke palun ühendust oma edasimüüja või Edwardsiga.

1.2 Plahvatusohud

Märkus.

Saadavalolevad Edwardsi pumbad vastavad Euroopas vastu võetud ATEX-direktiivile, mis käsitleb potentsiaalselt plahvatusohtlikus keskkonnas kasutatavaid seadmeid.

Eranditult põhjustab ootamatuid plahvatusi ohutussuunistest kõrvalekaldumine. Sellest hoolimata on mõned plahvatused olnud äärmiselt võimsad ning oleksid võinud lõppeda tõsiste kehavigastuste või surmaga.

Vaakumsüsteemi mõne osa võimsa purunemise sagedasteks põhjusteks on tuleohtlike materjalide süttimine ning pumba väljalaske ummistumine või piiramine. Ohtude vältimiseks pöörake tähelepanu järgmistele nõuannetele, mis aitavad tagada vaakumpumpade ja süsteemide talitusohutust.

- Kui süsteem ei ole ette nähtud materjali pumpamiseks kontsentratsioonidel, mille korral see võib vaakumpumbas süttida, peate jälgima, et tuleohtlike ainete ja oksüdantide segud jääksid tuleohtlikust ulatusest väljapoole. Üks võimalus selle tagamiseks on kasutada inertgaasiga läbipuhumist. Vt jaotist [Tuleohtliku tsooni vältimine](#) lk 21.
- Jälgige, et kasutamisel ei tekiks mehaanilistest osadest (nt klappidest või toorikutest) või torustikku, filtritesse ja muudesse väljalaske osadesse kogunevatest protsessimaterjalidest või kõrvalsaadustest tingitud väljalaske ummistusi, kui süsteemi konstruktsioon ei taga nende kõrvaldamist.

- Kasutage hapniku või muude oksüdantide suurte kontsentratsioonidega kokku puutuvates pumbamehhanismides ainult perfluoropolüeteerõlisid (PFPE-õlisid). Muud tüüpi „mittesüttiva“ õlina müüdavad õlid võivad kasutamiseks sobida vaid juhul, kui oksüdantide kontsentratsioon moodustab mahuprotsendist kuni 30%.
- Veenduge, et tahtlikult suletud ja isoleeritud vaakumsüsteemis ei saaks tekkida juhuslikku ülerõhku (nt rõhuregulaatori või läbipuhumise juhtimissüsteemi rikke tõttu).
- Kui pumbatav saadus võib veega kokkupuutel ägedalt reageerida, soovitame jahutusahelas vee asemel mõnda muud jahutusmaterjali kasutada (nt soojust juhtivat vedelikku). Palun pöörduge nõu saamiseks Edwardsi poole.

2. Ohud

Potentsiaalsed ohud rakenduvad süsteemi kasutusea kõigile faasidele. Need faasid on järgmised.

- Kavandamine
- Konstrueerimine
- Käitamine/kasutuselevõtt
- Hooldus / kasutuselt kõrvaldamine

Igas etapis tekkida võivad probleemid on välja toodud järgmises tekstis. Kõigil juhtudel peate arvestama sellega, et saate süsteemis ohte minimeerida vaid siis, kui omate põhjalikke teadmisi seadmest ja süsteemi talitlusest/rakendusest. Kui teil on kahtlusi, pöörduge lisateabe või nõuannete saamiseks oma tarnijate poole.

2.1 Kavandamine

Oma süsteemi kavandades peate valima seda tüüpi seadmed, mis sobivad teie rakendusega. Kaaluge järgmiseid tegureid.

- Seadmete tehnilised andmed
- Seadmete konstrueerimiseks kasutatavad materjalid
- Seadmetega kasutatavad kulumaterjalid (nt määrded ja töövedelikud)
- Protsessi tingimused ja materjalid

Lisaks peate kaaluma seadmete üldist sobivust teie rakendusega ja tagama selle, et seadmeid kasutatakse alati vaid neile määratud kindlate töötingimuste juures.

Peate looma kavandustoimingud, mis aitavad tagada kavandusvigade viimise miinimumini. Sellised toimingud peaksid hõlmama sõltumatu kolmanda poole tehtavat projekteerimisaruannete kontrolli ja projekteerimisparameetrite kooskõlastamist.

Kavandusanalüüs peab alati sisaldama ka ohuanalüüsi. Paljusid potentsiaalseid ohte saab vältida, kui oma süsteemi seadmete kasutamise eelnevalt põhjalikult läbi mõtlete.

2.2 Konstrueerimine

Konstrueerimisel tekkida võivate ohtude tõenäosuse vähendamiseks kasutage vastavate oskustega kvalifitseeritud personali ja järgige kvaliteedi tagamise toiminguid. Väljaõppinud personal suudab tuvastada kokkupaneku ajal vajalikke osasid ning leiab ka vigased või kehva tootmiskvaliteediga osad ja seadmed. Kvaliteedi tagamise toimingud aitavad tuvastada ja parandada kehvast töö kvaliteedist tingitud probleeme ning tagavad selle, et projekteerimise käigus määratud tehnilisi andmeid on rangelt järgitud.

Personal peab olema eriti ettevaatlik ja järgima kõiki ohutusalasid ettevaatusabinõusid, kui uusi seadmeid paigaldatakse süsteemi, kuhu on pumbatud toksilisi, korrodeerivaid, tuleohtlikke, hapnikku välistavaid, pürofoorseid või teisi ohtlikke aineid, kui need süsteemis tekivad või kui neid võib süsteemis leiduda.

Elektriseadmeid tohib paigaldada vastavate oskustega / kvalifitseeritud personal, järgides kõiki asjakohaseid kohalikke ja riiklikke elektrieskirju.

2.3 Käitamine/kasutuselevõtt

Töö ajal võivad ilmnedada seadmete ja osade tõrgetest tingitud ohud, mis on põhjustatud seadmete ja osade vanusest, väärkasutamisest või kehvast hooldamisest. Selliste ohtude tõenäosust vähendab seadmete nõuetekohast kasutamist (ja hooldust) käsitlev väljaõpe. Kui see osutub vajalikuks, tutvuge Edwardsi ja teie teiste tarnijate pakutava lisateabega (kasutusjuhendid, väljaõpe ja müügijärgne teenindus).

2.4 Hooldus / kasutuselt kõrvaldamine

Selleks et vältida personali kokkupuudet ohtlike ainetega, tuleb olla eriti ettevaatlik ja järgida kõiki ohutusabinõusid, kui hooldatakse süsteemi, kuhu on pumbatud toksilisi, korrodeerivaid, tuleohtlikke, pürofoorseid, hapnikku välistavaid või teisi aineid või kui need tekivad süsteemis.

Tähelepanu tuleb pöörata ka plaanilise hoolduse programmile ning selliste osade ohutule kõrvaldamisele, mis võivad olla ohtlike ainetega saastunud. Järgige ohutu ja usaldusväärse talitluse tagamiseks kõigi seadmete kasutusjuhendites sisalduvaid hooldussoovitusi. Üldjuhul kohalduvad ATEX-direktiivile vastavatele süsteemidele lisanõuded.

3. Keemilised ohuallikad

3.1 Keemilised reaktsioonid ja plahvatused

Teil tuleb hoolikalt kaaluda kõiki võimalikke keemilisi reaktsioone, mis võivad teie vaakumsüsteemis tavakasutuse, väärkasutuse ja tõrke tingimustes igal hetkel ilmned. Erilist tähelepanu tuleb pöörata gaaside ja aurudega seotud reaktsioonidele, millega võib kaasneda plahvatus. On toimunud plahvatusi, millega seonduvad materjalid, mida süsteemi kavandaja polnud esialgselt arvesse võtnud ning mille seadmete sellist tõrget polnud arvesse võetud.

3.1.1 Homogeensed reaktsioonid

Homogeensed reaktsioonid toimuvad gaasi faasis kahte või enamat tüüpi gaasimolekulide vahel. Gaasi süttimisreaktsioonid esinevad tavaliselt sellisel kujul. Näiteks meie andmetel on silaani (SiH_4) ja hapniku (O_2) reaktsioon alati homogeenne. Nii et kui teie tootmisprotsessis esineb selliseid reaktsioone, peate protsessi rõhku ja reagenti kontsentratsioone hoolikalt kontrolli all hoidma, et liiga suuri reaktsiooniiruseid vältida.

3.1.2 Heterogeensed reaktsioonid

Heterogeensed reaktsioonid eeldavad tahket pinda – mõned gaasimolekulid reageerivad ainult pinnale adsorbeerituna, kuid ei reageeri gaasi faasis madalal rõhul. Seda tüüpi reaktsioon sobib ideaalselt teatud protsessidele, sest see minimeerib protsessikambris toimuvate reaktsioonide mõju, vähendab tahkete osakeste teket ja vähendab saastumise tõenäosust.

Enamik heterogeenseid reaktsioone muutub kõrgemal rõhul homogeenseteks (tavaliselt toimub see märgatavalt alla atmosfääri rõhu väärtust). See tähendab, et gaasid ei reageeri protsessikambris ilmtingimata samal viisil nagu vaakumpumbaga tihendamise korral.

3.2 Probleemid abnormsete reaktsioonidega

Abnormsed reaktsioonid võivad tekkida siis, kui kemikaalid puutuvad kokku gaaside või materjalidega, mida süsteemi kavandaja ei ole ette näinud. See võib juhtuda näiteks siis, kui esineb leke, mis võimaldab atmosfääri gaasidel süsteemi lekkida või toksilistel, tuleohtlikel, plahvatusohtlikel või muudel ohtlikel gaasidel keskkonda lekkida.

Selliste reaktsioonide tekkimise vältimiseks peate süsteemis tagama lekkekindluse, mille väärtus on 1×10^{-3} mbar l s^{-1} (1×10^{-1} Pa l s^{-1}) või väiksem. Kõrgvaakumrakendustes on üldjuhul nõutav lekkekindlus, mille väärtus on 1×10^{-5} mbar l s^{-1} (1×10^{-3} Pa l s^{-1}) või väiksem. Lisaks peate kindlustama selle, et kõik süsteemi klapid on lekkekindlad.

Gaasid, mis protsessitsükli vältel üksteisega tavaliselt kokku ei puutu, võivad omavahel seguneda pumpamisüsteemis ja väljalasketorustikus.

Võib juhtuda, et pärast plaanilisi hooldustoiminguid leidub protsessikambris veeauru või pesemislahuse jääke. See võib juhtuda pärast protsessikambri loputamist ja puhastamist. Veeaur võib süsteemi siseneda ka väljalaskekanalite ja väljalaske gaasipuhastite kaudu.

Kui protsessisademed uhutakse vaakumsüsteemist välja lahustite abil, tuleb hoolitseda selle eest, et valitud lahusti sobib kasutamiseks vaakumsüsteemi kõigi protsessimaterjalidega.

3.3 Plahvatusohud

Plahvatusohtude allikas pärineb tavaliselt ühest järgmistest kategooriatest.

- Oksüdandid
- Tule- ja plahvatusohtlikud materjalid
- Pürofoorsed materjalid
- Naatriumasiid

Pöörake tähelepanu sellele, et Euroopa Liidu riikides (ja teatavates teistes riikides) on protsessimaterjalide tarnijatel seadusest tulenev kohustus avaldada müüdavate materjalide füüsikalised ja keemilised andmed (tavaliselt materjali ohutuskaartide kujul). Kui see on kohaldatav, peab ohutuskaart sisaldama materjali ülemist ja alumist plahvatuspiiri, materjali füüsikalisi ja termodünaamilisi omadusi ja kõiki materjali kasutamise seonduvaid terviseriske. Tutvuge vastava teabega.

3.3.1 Oksüdandid

Vaakumsüsteemides pumbatakse tihti oksüdante, nagu hapnik (O_2), osoon (O_3), fluor (F_2), lämmastiktrifluoriid (NF_3) ja volframheksafluoriid (WF_6). Oksüdandid reageerivad kergesti paljude ainete ja materjalidega ning reaktsiooni käigus tekib tihti kuumus ja suureneb gaasi rõhk. Potentsiaalsete kaasuvate ohtude hulka kuuluvad tulekahju ja ülerõhk pumpas ja/või väljalaskesüsteemis.

Ohutuse tagamiseks selliste gaaside pumpamisel tuleb järgida gaasi tarnija ohutussuuniseid ja alljärgnevat soovitusi.

- Pumpades, mida kasutatakse hapniku pumpamiseks kontsentratsioonidel, mis moodustavad inertgaasi mahust enam kui 25%, tuleb alati kasutada perfluoropolüeteermäärdeid (PFPE-määrdeid).
- Kasutage perfluoropolüeteermäärdeid pumpades, mida kasutatakse selliste gaaside pumpamiseks, mille mahust on hapniku protsentuaalne osakaal üldjuhul alla 25%, kuid see võib rikke tingimuste korral tõusta tasemele, mis on suurem kui 25%. Kui pumbatav oksüdant ei ole hapnik, võtke oksüdandi soovitatava taseme kindlaks tegemiseks ühendust määrde tarnijaga.
- Perfluoropolüeteermäärdeid on eelistatavad määrded, kuid kasutada võib ka süsivesinikel põhinevaid määrded, kui kasutate läbipuhumist sobiva inertgaasiga, mis tagab selle, et õli ei puutu kokku ohtlikul tasemel oksüdandiga.

Tavatingimustel PFPE-määrdeid õliga suletud rotatsioon- või kolbpumba õlikarbis või käigukastis ei oksüdeeru ega lagune ning see vähendab plahvatuse toimumise tõenäosust.

Pidage meeles, et PFPE-määrdeid lagunemine võib toimuda temperatuuril 290 °C (või sellest kõrgemal temperatuuril), kui need puutuvad kokku õhu või raudmetallidega. Kui esineb kokkupuude titaani, magneesiumi, alumiiniumi või nende sulamitega, langeb termaalne lagunemistemperatuur väärtusele 260 °C.

Kui te ei soovi PFPE-määrdeid õliga suletud rotatsioon- või kolbvaakumpumbas kasutada, võite oksüdandi inertgaasi (nt lämmastiku) abil ohutule kontsentratsioonile lahjendada. Selline lahendus on võimalik oksüdantide gaaside väikese voolukiiruse juures. Süsteem peab olema varustatud ohutusfunktsioonidega, mis tagavad alati oksüdandi kontsentratsiooni ohutule tasemele vähendamiseks vajaliku inertse lahendusgaasi minimaalse voolu ja selle, et oksüdandi vool ei ületaks maksimaalset lubatud voolukiirust. Peate oma süsteemi kavandama sellisena, et oksüdandi vool katkeb viivitamatult, kui need tingimused ei ole täidetud.

Soovitame oksüdantide pumpamiseks kasutada ettevõtte Edwards kuivpumpa (vt Ettevõtte Edwards kuivpumbad Edwardsi kuivpump [Edwardsi kuivpumbad](#) lk 28). Kuivpumpade töömaht ei sisalda sulgevedelikke, mistõttu on oksüdantide töötlemiseks kuivpumba kasutamisel plahvatuse oht oluliselt väiksem. Kui kasutate süsivesinikel põhinevaid määreid, soovib Edwards puhuda inertgaasi läbi laagrite käigukasti.

3.3.2 Tule- ja plahvatusohtlikud materjalid

Paljud gaasid ja tolmut (nt vesinik (H_2), atsetüleen (C_2H_2), propaan (C_3H_8) ja silikooni peentolm) on süüteallika olemasolul oksüdandis teatavate kontsentratsioonide korral tule- ja/või plahvatusohtlikud. Süüteallikas võib tekkida näiteks lokaliseeritud kuumuse kogunemisel. Teemat käsitletakse jaotises [Süüteallikad](#) lk 24

Jälgige plahvatusohu vähendamiseks, et potentsiaalselt tuleohtliku segu kontsentratsioon oleks tuleohtlikust tsoonist väljaspool. Lisateavet leiate jaotises [Tuleohtliku tsooni vältimine](#) lk 21.

Teine võimalus plahvatusohu vähendamiseks on kõrvaldada süüteallikas. Lisateavet leiate jaotises [Süüteallikad](#) lk 24.

Kui tuleohtliku tsooni vältimine pole võimalik, peate tagama sellise seadme konstruktsiooni, mille puhul on võimaliku plahvatuse korral välistatud purunemine või leegi kandumine välisatmosfääri. Leegikustutite kasutamise teabega tutvumiseks vt jaotist [Leegikustutite kaitseüsteemide kasutamine](#) lk 24. Kui vaakumsüsteemi välisatmosfäär on ohtlik, peate tagama selle, et kõigi seadmete nimiandmed vastaksid nõuetele.

Euroopa Liidus annab ATEX-direktiiv selgeid suuniseid potentsiaalselt plahvatusohtlikus keskkonnas kasutatava seadme konstruktsiooni kohta.

Kui kõigis tingimustes on võimalik potentsiaalselt plahvatusohtlikes keskkondades pumpamist vältida, võib tuleohtlike aurude või gaaside pumpamiseks kasutada mis tahes tüüpi ettevõtte Edwards vaakumpumpasid.

3.3.3 Pürofoorsed materjalid

Enamikus tingimustes reageerivad pürofoorsed gaasid (nt silaan (SiH_4) ja fosfiin (PH_3)) või pürofoorsed tolmut õhuga atmosfäärirõhul iseeneslikult, mistõttu võib süttimine toimuda, kui need gaasid puutuvad õhu või muu oksüdandiga kokku siis, kui rõhk on süttimise soodustamiseks piisavalt kõrge. See võib juhtuda siis, kui süsteemi lekib õhku või kui süsteemi väljalase puutub kokku atmosfääriga. Oksüdandi ja pürofoorse gaasi reaktsioonil tekkiv kuumus võib kujutada endast plahvatusohtlike materjalide süüteallikat.

Kui erinevatest protsessidest pärinevad heitgaasid ventileeritakse ühise väljutussüsteemi kaudu, võib sellega kaasneda süttimine ja/või plahvatus. Seetõttu on pürofoorsete materjalide pumpamisel soovitatav kasutada eraldi väljutussüsteeme.

Kui protsessides kasutatakse fosforit, võib tahke fosfor vaakumsüsteemis või selle väljalaskes kondenseeruda. Õhu ja isegi kerge mehaanilise mõjuriga kokkupuutel (nt rõhuerinevusest tingitud klapi aktiveerimise või pumba pöörlemise korral) võib fosfor iseeneslikult süttida ja toksilisi gaase eraldada. Pumpade kasutamisel on fosfori kondenseerumise minimeerimiseks soovitatav inertgaasiga läbipuhumine ja käitamine piisaval temperatuuril.

PFPE-määrded suudavad adsorbeerida gaase, mis võib pürofoorsete materjalide puhul lõppeda lokaalse süttimisega seal, kus määre õhuga kokku puutub. See oht on eriti suur hoolduse ajal või siis, kui oksüdanti pumbatakse pärast pürofoorset gaasi või tolmu läbi süsteemi. Seda ohtu aitab vähendada määreid mittesisaldava töömahuga Edwardsi kuivpumpade kasutamine. Enne ventileerimist või käitlemist peab kogu pürofoorne materjal olema kindlasti passiveeritud.

3.3.4 Naatriumasiidid

Naatriumasiidi kasutatakse kohati saaduste külmuivatamise lihtsustamiseks ning teistes tootmisprotsessides. Naatriumasiidid võivad moodustada vesinikasiidi. Vesinikasiidi aurud võivad raskemetallidega reageerides ebastabiilseid metallasiidide moodustada. Need asiidid võivad iseeneslikult plahvatada.

Sellised metallid on järgmised.

• Baarium	• Kaadmium	• Tseesium
• Kaltsium	• Vask	• Plii
• Liitium	• Mangaan	• Kaalium
• Rubiidium	• Hõbe	• Naatrium
• Strontsium	• Tina	• Tsink
• Vase ja tsingi sulamid (nt messing)		

Messing, vask, kaadmium, tina ja tsink on kasutusel paljudes vaakumpumpade osades, lisatarvikutes ja torudes. Kui teie töötlussüsteemis kasutatakse või toodetakse naatriumasiidi, peate hoolitsema selle eest, et gaasi liikumistee teie töötlussüsteemis ei sisalda raskmetalle.

3.4 Toksilised või korrodeerivad materjalid

Paljud vaakumrakendused hõlmavad toksiliste ja korrodeerivate materjalide töötlemist ning käitlemist ja eeldavad eriliste toimingunõuete järgimist.

3.4.1 Toksilised materjalid

Toksilised materjalid on juba oma olemuselt tervisele ohtlikud. Ometi oleneb ohu olemus materjalist ja selle suhtelisest kontsentratsioonist. Järgige nõuetekohase käitlemise toimingutele kohalduvaid materjali tarnija suuniseid ning kohaldatavaid õigusakte.

Lisaks peaksite arvestama järgmiseid punkte.

- **Gaasi lahjendamine:** on olemas seadmed, mis võimaldavad toksiliste protsessigaaside lahjendamist, kui need läbi vaakumpumba väljalaskesse liiguvad. Võite selle lahjendusvõimaluse abil kontsentratsiooni alla toksilisuspiiri lahjendada. Soovitame lahjendusgaasivarustust jälgida, mis võimaldab etteandetõrke korral õigel ajal reageerida. Õliga suletud pumpade korral vaadake nõutavaid õlitagastuskomplekte puudutava teabega tutvumiseks pumba kasutusjuhendit.
- **Lekketuvastus:** ettevõtte Edwards vaakumsüsteemide konstruktsioon tagab üldjuhul lekkekindluse tasemeni $< 1 \times 10^{-3}$ mbar l s⁻¹ ($< 1 \times 10^{-1}$ Pa l s⁻¹). Ometigi ei ole võimalik tagada kõrvalsüsteemide lekkekindlust. Vaakum- ja väljalaskesüsteemi ühtsuse kindlustamiseks peate kasutama sobivat lekketuvastuse meetodit (nt heeliumi massispektromeetriaal põhinevat lekketuvastust).
- **Võlli tihendamine (ettevõtte Edwards kuivpumbad):** paljudes kuiivaakumpumpades kasutatakse gaasiga läbipuhumise süsteemi, mis tagab selle, et protsessigaasid ei sisene käigukasti ja laagritesse ning seeläbi vaakumsüsteemi ümbritsevasse atmosfääri. Toksilisi materjale käideldes tuleb teil tagada selle gaasivarustuse ühtsus. Mittevõllitihendavaid regulaatoreid tuleb kasutada koos tagasilöögiklapiga, nagu on kirjeldatud jaotises Surveregulaatorid Rõhuregulaatorid [Rõhuregulaatorid](#) lk 29
- **Võlli tihendamine (ettevõtte Edwards muud pumbad):** õliga üleujutatud võllitihendiga konstruktsioonid (nt mehaanilistel survetõstepumpadel EH ja rotatsioonpumpadel EM) minimeerivad protsessigaasi lekkimise (või õhu

sisselekkimise) ohtu ning võivad anda enne ohu teket visuaalse (õlilekke või õlitaseme vähenemise) hoiatuse. Teistsugused tihendid ei pruugi tõrke puhul piisavat hoiatust anda.

- **Magnetajamid:** kui vajalik on täiesti hermeetiline tihendamine, saab ettevõtte Edwards kuivvaakumpumbad EDP varustada magnetajamiga, mille keraamilise kaitsemahuti tõttu pole võlli tihendamine mootori sisendvõllil vajalik.

Kui liigse rõhu väljutamiseks kasutatakse rõhuvabastusklappe või purunevaid membraane, hoolitsege selle eest, et rõhk väljutatakse sobivasse väljalaskesüsteemi, vältides seega toksilisuse ohtu.

Saastunud vaakumseadmeid ettevõttele Edwards remondiks või hooldamiseks tagasi saates peate järgima kindlaid toiminguid (vorm HS1) ning täitma deklaratsiooni (vorm HS2), mille leiате seadme komplekti kuuluvast kasutusjuhendist.

3.4.2 Korrosiivsed materjalid

Kui pumpate Edwardsi vaakumpumpadega korrodeerivaid materjale, pöörake tähelepanu alljärgnevale.

- **Niiskuse sissepääs:** olge eriti ettevaatlik, et vältida niiske õhu sissepääs, mis võiks korrosiooni teket kiirendada. Seiskamisprotsessi osana tuleb kasutada inertgaasiga läbipuhumist, mis aitab korrodeerivaid aineid enne süsteemi seiskamist süsteemist välja uhta.
- **Lahjendamine:** kasutage korrodeerivate ainete kondenseerumise ja sellega kaasneva korrosiooni vältimiseks sobivat inertset lahjendusgaasi.
- **Temperatuur:** tõstke pumba ja väljalasketoru temperatuuri, et vältida veeauru kondensatsiooni ning piirata seeläbi korrosiooni. Teatud juhtudel võib kõrgem temperatuur korrosiooni teket kiirendada, vaadake alljärgnevat lõiku.
- **Ohutuseadmete korrosioon:** kui kriitilise tähtsusega ohutuseadmed (nt leegikustutuselemendid, temperatuuriandurid jms) võivad protsessi gaasivoolus leiduvate korrosiivsete saaduste tõttu kahjustada saada, tuleb valida ehitusmaterjalid, mis seda ohtu väldivad.
- **Faasimuutused:** plaanivälised faasimuutused võivad põhjustada kondensatsiooni. Selle ohu vältimiseks tuleb arvesse võtta temperatuuri ja rõhu muutuseid.
- **Plaanivälised reaktsioonid:** plaanivälised keemilised reaktsioonid võivad lõppeda korrodeerivate saaduste tekkega. Kui seadmeid kasutatakse mitmel eesmärgil, tuleb hoolikalt arvestada ka ristsaastumise võimalusega.

Teatavad korrodeerivad materjalid (nt fluor, kloor, teised halogeenid või halogeniidid) ning oksüdeerivad ained (nt osoon) või redutseerivad ained (nt vesiniksulfiid) võivad rünnata materjale, millega nad kokku puutuvad, ilma et oleks vajalik vedeliku olemasolu. Neil juhtudel tuleb korrodeeriva materjali osarõhu minimeerimiseks kasutada sobivat lahjendusgaasi. Vaakumsüsteemis ja pumba mudelis kasutatavate materjalide valimisel tuleb lähtuda sobivusest konkreetse gaasiga eeldatavatel kontsentratsioonidel. Kõrged temperatuurid võivad korrosiooni teket kiirendada ning seega tuleb neid minimeerida, kui muud protsessikaalutlused seda lubavad. Hooldusintervallid tuleb üle vaadata nii, et arvestatud oleks korrodeerivate materjalide toimega süsteemile.

3.5 Kokkuvõte: keemilised ohuallikad

- Võtke arvesse kõiki teie süsteemis esinevaid keemilisi reaktsioone.
- Arvestage ka abnormsete keemiliste reaktsioonidega (sh nendega, mis võivad ilmneda rikke tingimustes).

- Kasutatavate protsessimaterjalidega seonduda võivate ohtude hindamisel võtke arvesse ka materjalide ohutuskaartides toodud andmeid.
- Kasutage oksüdantide ja tuleohtlike materjalidega esineda võivate reaktsioonide ohu minimeerimiseks lahjendusmeetodeid.
- Euroopa Liidus, kus on määratud tuleohtlik tsoon, tuleb kasutada sobivat ATEX-direktiivile vastava sertifikaadiga vaakumpumpa. Kõigis teistes piirkondades soovib Edwards kasutada võimaluse korral pumpasid, mis on ATEX-direktiivi kohaselt sertifitseeritud.
- Kasutage oksüdantide pumpamiseks kasutatavas pumbas õiget määret ning kaaluge kuivpumba kasutamist.
- Kui teie protsessis kasutatakse või kui selle käigus tekib naatriumasiidi, ärge kasutage oma töötlussüsteemis gaasi liikumisteel raskmetalle.
- Olge toksiliste, korrodeerivate või ebastabiilsete materjalide käitlemisel eriti ettevaatlik.

4. Füüsikalised ohuallikad

4.1 Ülerõhu ohutüübid

Vaakumsüsteemi osade ülerõhk võib tekkida järgmistel põhjustel.

- Süsteemi satub kõrgrsurvegaasi
- Süsteemis esineb gaasi kompressioon
- Süsteemis oleva lenduva gaasi temperatuuri järsk tõus
- Tahke saaduse depositsiooni tingiv faasimuutus
- Vaakumsüsteemis esinev reaktsioon
- Blokeerunud väljalase

Võimalikud on ka muud põhjused.

4.2 Ülerõhu alla sattunud pumba väljalase

Väljalaske ülerõhu alla sattumise saged põhjus on väljalaskesüsteemi ummistumine või piiramine. Sellega võib kaasneda pumba või süsteemi teiste osade tõrge.

Vaakumpumbad on kompressorid, mis on spetsiaalselt konstrueeritud kasutamiseks välja- ja sisselaske suure surveastme juures.

Kui väljalaskesüsteem on piiratud või ummistunud, võib süsteem ülerõhu alla sattuda nii pumba töö tõttu tekkiva potentsiaalse ülerõhu kui ka surugaasi (nt läbipuhumis- või lahjendusgaasi) lisamise tõttu.

Kui pumba väljalase on varustatud leegikustutite või muude seadmetega (nt filtrite või kondensaatoritega), on äärmiselt oluline, et väljalaske vasturõhk ei ületaks vaakumsüsteemi kasutusjuhendis esitatud maksimaalset piirangut. Kasutada tuleb sobivat hooldusprogrammi, mis aitab tagada selle, et protsessi käigus tekkivad sadestised ei blokeeriks väljalaskesüsteemi ega leegikustutit. Kui selline lahendus pole praktiline, tuleks ummistuse tuvastamiseks paigutada pumba ja leegikustuti vahele rõhuandur. Sarnaseid suuniseid tuleb võtta arvesse muude väljalaskeseadmete (nt filtrite või kondensaatorite) korral.

Sublimatsioon või faasimuutus võib põhjustada protsessi torustiku tahketest sadestistest tingitud ummistumise ja ülerõhu ohtu.

Vaadake kõigi väljalaskeosade (muu hulgas vaakumpumba) maksimaalse ja soovitusliku pideva vasturõhuga tutvumiseks vaakumpumbasüsteemiga kaasasolnud kasutusjuhendeid. Väljalaskesüsteemi konstruktsioon peab tagama vastavuse neile piirangutele.

Vaadake pidevkäitamisele kohalduvate piirangutega tutvumiseks pumba kasutusjuhendit.

4.3 Kaitse väljalaske ülerõhu eest

Üldjuhul soovitame töötavate pumpade väljalaske ühendada vabalt ventileeritavasse väljalaskesüsteemi. Ometigi võib teie väljalaskesüsteem sisaldada osi, mis võivad põhjustada süsteemi piiramist või ummistumist. Sellisel juhul peate rakendama sobivaid meetmeid, millega süsteemi ülerõhu eest kaitsta. Säärased meetodid on muu hulgas näiteks järgmised.

Osa	Kaitsemeetod
Klapp väljalasketorustikus	Blokeerige klapp nii, et see oleks pumba töö ajal alati avatud.

Osa	Kaitsemeetod
	Paigaldage rõhuvabastusega möödavooluklapp.
Väljalaske gaasipuhasti	Paigaldage rõhuvabastusega möödavooluklapp.
	Ühendage rõhu monitor ning sünkroniseerige see pumbaga nii, et pump lülitatakse välja, kui väljalaskerõhk liiga suureks muutub.
Leegikustuti	Väljalaskerõhu mõõtmine.
	Rõhkude vahe mõõtmine.
Õliudu filter	Ühendage rõhuvabastusseade.

Kokkuvõtvalt võib öelda, et kui väljalaskesüsteemi rõhk läheneb maksimaalsele lubatud rõhule, tuleb toimida järgmiselt.

- Kasutage rõhu alandamiseks seadet gaasi liikumisteel, mis on piirangu või ummistusega paralleelne.
- Vähendage rõhu allikat. Seisake pump või sulgege surugaasivarustus.

4.4 Sisselaske ülerõhk

4.4.1 Surugaasivarustus ja vasturõhk

Pumpa ja vaakumsüsteemi ühendava torustiku nõutavat piirrõhku alahinnatakse sageli, kuna usutakse, et antud torustik ei satu atmosfäärirõhust suurema surve alla. Praktikas vastab see arvamus tõeale vaid tavaliste kavandatud töötingimuste puhul. Peaksite hindama nõutavat piirrõhku, et arvesse võtta ka abnormsetes või rikke tingimustes tekkivaid suuremaid rõhke.

Pumba sisselasketorustikus tekkiva ülerõhu sage põhjus on surugaaside (nt läbipuhumisgaaside) sattumine süsteemi siis, kui pump ei tööta. Kui sisselasketorustiku osad ei pea torustikus tekkivale rõhule vastu, siis torustik puruneb ning protsessigaasid lekivad süsteemist välja. Gaaside tagasivool süsteemist protsessikambrisse, mis ei suuda tekkivale rõhule vastu pidada, põhjustab samuti purunemist ja lekkeid.

Kui ühendate surugaasivarustuse süsteemiga rõhuregulaatorite abil, mille eesmärk on tagada vool madalrõhul, veenduge, et rõhk vastaks süsteemi nimiaandmetele.

Kui süsteemi kasutatakse tingimustes, kus protsessigaas ei voola läbi süsteemi, põhjustavad tavaliselt kasutatavad mitteventileerivad rõhuregulaatorid süsteemis rõhu suurenemise gaasivarustuse poolt reguleeritud avaldatava rõhuni. Seetõttu peate ülerõhu tekkimise vältimiseks kasutama ühte kahest järgmisest meetodist.

- Alandage rõhku ning võimaldage gaasidel pumbast mööda ja vabalt ventileeritud väljalaskesse voolata
- Jälgige süsteemi rõhku ja kasutage positiivset sulgeventiili, et surugaasivarustus ettemääratud rõhutasel katkestada.

4.4.2 Pumba väärtalitus

Kuni selle hetkeni, mil tõendatakse pumba nõuetekohane talitus, tuleb rakendada spetsiaalseid ettevaatusabinõusid.

Kui pumba pöörlemis-suund on vale ja pump töötab ummistunud või piiratud sisselaskega, tekib pumba sisselasketorustikus kõrgrõhk. Sellega võib kaasneda pumba, torustiku ja/või torustiku osade purunemine.

Kasutage pumba sisselaske ees alati lõdvalt kruvidega kinnitatud sulgurplaati, kuni olete veendunud, et pumba pöörlemis-suund on õige.

Suurel pöörlemiskiirusel toimuv töö võib viia pumba purunemiseni. Ärge töötage pumbaga pöörlemiskiirustel, mis on suuremad kui maksimaalne kavandatud pöörlemiskiirus; see on eriti oluline siis, kui kiiruse juhtimiseks kasutatakse sagedusinverteereid.

4.5 Kokkuvõte: füüsilised ohuallikad

- Ohutusarvutusi tehes võtke kindlasti arvesse süsteemi kõigi osade lubatud tööõhu väärtuseid.
- Pumba väljalase ei tohi ummistuda ega kitseneda.
- Kui on oht nominaalsest rõhust kõrgema rõhu tekkeks vaakumsüsteemi mis tahes osas, soovitame süsteemi varustada sobiva paigutusega rõhumõõtmisseadmega. See tuleb ühendada juhtimissüsteemiga, et ülerõhu tuvastamisel oleks võimalik aktiveerida süsteemi ohutust tagav funktsioon.
- Võtke vaakumsüsteemi ja pumba osade nõutava nominaalse rõhu hindamisel arvesse abnormseid ja rikke tingimusi.
- Veenduge, et lisaksite õiget tüüpi rõhuvabastusseadme ja et see sobiks teie rakendusega kasutamiseks.
- Veenduge, et surugaasivarustust reguleeritakse ja jälgitakse nõuetekohaselt. Pumba väljalülitamisel tuleb varustus välja lülitada.
- Võimaluse korral hoolitsege selle eest, et etteanderõhk jääks iga reguleeritud läbipuhumise korral süsteemi maksimaalsest lubatavast staatilisest rõhust madalamaks. Teise võimalusena hoolitsege selle eest, et süsteemi mõne osa tõrke korral oleks võimalik rõhk vabastada.

5. Ohuanalüüs

Ohuanalüüsi võtted võimaldavad struktureeritult tuvastada ja analüüsida süsteemi tavakasutuse ajal esinevaid ohtusid ning selliseid ohtusid, mis võivad tekkida rikke ja tõrke oludes. Sellised võtted võimaldavad ohujuhtimist; teatud oludes võib selliste võtete kasutamine olla ka seadusest tulenev / juriidiline kohustus. Tõeliselt tõhus ohuanalüüs peab algama süsteemi esmasest projekteerimisest ning käsitlema ka süsteemi paigaldamist ja käitamist ning selle hooldust ja kasutuselt kõrvaldamist.

Ohuanalüüsi võtete üksikasjad ei kuulu selle dokumendi käsitlusalasse. Sellest hoolimata leidub ohuanalüüsi võtete kohta mujalt piisavat teavet. Kemikaalitööstuses sageli kasutatava võtte näiteks on riskihindamise meetod HAZOP (Hazard and Operability Study). Tegu on ohuanalüüsi toiminguga, milles keskendutakse võimalike ohtude ja tööprobleemide tuvastamisele.

Tavaliselt annab ohuanalüüs üldteavet ohtude tüübi, nende raskusastme ja nende ilmnemise tõenäosuse kohta. Seda teavet saab kasutada otsustamiseks, milline on parim viis ohtude mõju lubatavale tasemele vähendamiseks. Ohuallikast olenevalt võib võimalik olla ohu kõrvaldamine, ohu raskusastme vähendamine ja/või ohu ilmnemise tõenäosuse langetamine. Ohtude täielik kõrvaldamine osutub võimalikuks väga harva.

Enne ohujuhtimiseks parima lahenduse valimist peate kindlasti kaaluma ohu kõiki võimalikke mõjusid. Väike kuum pind võib endast näiteks seadme kasutajale väikest põletusohu kujutada. Põletuse esinemise tõenäosuse vältimiseks võib süsteemi kavandaja tähistada kuuma pinna näiteks visuaalse hoiatusega või kuuma pinna kaitsmega ümbritseda. Süsteemi ohuanalüüs võib viidata aga sellele, et seesama kuum pind võib kujutada endast selliste tuleohtlike aurude süüteallikat, mille süttimisega võib kaasneda plahvatus või toksiliste aurude pilve väljumine süsteemist. Süttimise tõenäosuse vähendamiseks peab süsteemi kavandaja vähendama kuuma pinna temperatuuri või tagama selle, et tuleohtlikud aurud ei saa kuuma pinnaga mingil juhul kokku puutuda.

6. Süsteemi kavand

6.1 Süsteemi piirõhu väärtused

Jaotises Ohtude füüsilised allikad Füüsikalised ohuallikad *Füüsikalised ohuallikad* lk 15 toodud ülevaate põhjal peab vaakumsüsteemi torustike ja osade kasutamisel jääma siserõhk atmosfäärirõhust madalamale tasemele. Kuid praktikas on tavaliselt vaja kavandada süsteem kasutamiseks ka sellistel siserõhu väärtustel, mis on atmosfäärirõhust suuremad. Vajaduse korral peate süsteemiga liitma rõhuvabastusseadmed, et ülerõhu tekkimist vältida.

On väga tähtis, et te ei kavandaks sisselasketorusid ja teisi sisselaske osi süsteemi nõrgimaks osaks eeldusel, et need töötavad alati vaakumi tingimustes ka rikke olukorras.

Väljalaskesüsteemide konstruktsioon peab tagama selle, et need avaldaksid pumbale käitamisel väikseimat võimalikku vasturõhku. Oluline on jälgida seda, et väljalaskesüsteemi konstruktsioon tagaks vastavuse piisavale nominaalsele rõhule. See peab sobima kasutamiseks pumba genereeritava ja näiteks süsteemi surugaasi sisenemisel tekkiva rõhu juures. Lisaks peab see ühilduma kasutatavate ülerõhu kaitsemeetmetega.

Ohutaset analüüsides võtke alati arvesse järgmiseid punkte.

- Välised sisselasked, näiteks inertgaasi ühendused
- Kõigi allikate (eriti väljalasketorude) eraldatus ja piiratus
- Reaktsioonid protsessigaaside vahel

Ei tohi unustada, et kui mahuti sisaldab lenduvat vedelikku ja seda on võimalik ülejäanud süsteemist isoleerida, võib sellele mõjuv väline (nt tulekahjust põhjustatud) kuumus tuua kaasa mahuti arvutuslikust rõhust suurema siserõhu. Sellisel juhul peate kaaluma sobiva rõhuvabasti paigaldamist.

6.2 Liikumatu mahtude kõrvaldamine

Liikumatu maht on igasugune maht vaakumtorus või osas, mida ei mõjuta gaasi läbivool. Selleks on näiteks mehaanilise survetõstepumba käigukast või instrumendi mõõteotsak. Kui klappidega torustikud ja lämmastikgaasi sisselasketorud on isoleeritud, võivad ka need liikumatuteks mahtudeks muutuda.

Liikumatu mahtusid peab arvestama ka siis, kui kaalute selliste protsessigaaside segunemist ja reageerimist, mis tavaliselt koos protsessikambri ei satu. Torud, pumbad ja protsessikambriid transpordivad gaase tavaliselt lineaarselt ning ühele gaasisegule järgneb teine. Sellise lineaarse voolu põhimõttel transporditavad gaasid tavaliselt ei segune (välja arvatud juhul, kui heitgaasi liikumiskiirus piirangu või ummistuse tõttu väheneb). Liikumatu mahtu läbipuhumine ei mõjuta ning see võib süsteemi rõhu tõusmisel ja langemisel protsessigaasidega täituda. Seetõttu võivad protsessi mingis etapis läbi süsteemi liikuvad gaasid süsteemi ikkagi alles jääda. Sellised gaasid võivad seejärel reageerida protsessi hilisemates faasides liikuvate gaasidega. Plahvatuse ohtu aitab vältida kambri põhjalik tühjendamine sobimatute gaaside sisselaske vahel.

Olge eriti ettevaatlik, kui võtate arvesse ristsaastumist liikumatutes mahtudes ja kui gaasid on potentsiaalselt plahvatusohtlikud. Võtke kindlasti arvesse filtritesse, separaatoritesse ja muudesse osadesse kogunemisega kaasnevat ohtu. Kui see osutub vajalikuks, kasutage ristsaastumise tõenäosuse vähendamiseks ühtset ja pidevat inertgaasiga läbipuhumist.

Tuleohtlikke aineid pumbates võib juhtuda, et seisvad mahud täituvad potentsiaalselt plahvatusohtlike gaaside või aurudega, mida pole võimalik tavalise läbipuhumisega

eemaldada. Kui seejuures võib eksisteerida ka süüteallikas, tuleb kaaluda spetsiaalset seisvate mahtude läbipuhumist.

6.3 Heitgaaside väljutussüsteemid

On tähtis, et kasutaksite oma protsessis õiget heitgaaside väljutussüsteemi. Nagu eespool öeldud, peab väljutussüsteem olema kavandatud nii, et see suudaks vastu pidada töö käigus tekkivale rõhule. Kui toodetakse või töödeldakse ohtlikke materjale, peab väljutussüsteem olema piisavalt lekkekindel, et vältida ohtlike protsessimaterjalide ja nende kõrvalsaaduste sattumist atmosfääri.

6.4 Potentsiaalselt plahvatusohtlike gaasi- või aurusegude allikad

Kui tuleohtlik gaas või aur seguneb õigel kontsentratsioonil hapniku või mõne muu sobiva oksüdandiga, moodustub potentsiaalselt plahvatusohtlik segu, mis võib süüteallika olemasolul süttida.

Kuigi üldiselt on selge, kas pumbatav materjal on potentsiaalselt plahvatusohtlik, esineb Edwardsi kogemuste põhjal siiski teatavaid olukordi, kus potentsiaalselt plahvatusohtlik segu tekib tingimuste tõttu, mida süsteemi projekteerimisel arvesse ei võetud. Peate tegema kindlaks kõik võimalikud protsessi tingimused ja seadmes tekkida võivate potentsiaalselt plahvatusohtlike segude allikad. Mõned Edwardsi kogemustel põhinevad näited on toodud järgmises tekstis, kuid loetelu pole täielik.

- **Ristsaastumine:** kui vaakumpumpa kasutatakse mitmeks ülesandeks, võib juhtuda, et individuaalsed materjalid on ohutud, ent kui pumpa enne teise materjaliga kasutamist läbi ei puhuta, võib esineda ettenägematuid reaktsioone põhjustav ristsaastumine.
- **Puhastusvedelikud:** rakendus võib esmapilgul tunduda ohutu, kuid tuleohtlike puhastusvedelike kasutamine ja sellele järgnev kuivatamine (tühjendamine läbi vaakumpumba) võib tekitada potentsiaalselt plahvatusohtliku segu.
- **Ettekavandamatamaterjalid:** „omatarbevaakumi” rakenduste korral, kus vaakumpumpa kasutatakse jaotatud vaakumsüsteemi loomiseks, võib juhtuda, et pumbatakse tuleohtlike materjale, millega süsteemi projekteerimisel ei arvestatud. Selliste materjalide isesüttimistemperatuurid võivad olla vaakumpumba sisetemperatuuridest või nominaalsest temperatuurist väiksemad.
- **Lahustunudaurud:** need võivad töötlemisel tekkida ja tähelepanu tuleb pöörata sellele, et protsessile oleks valitud õige nominaalne sisetemperatuur. Kemikaalide töötlemisel kajastab ATEX-direktiiv üldjuhul vastavaid nõudeid.
- **Õhuleke:** juhuslikult süsteemi pääsenud õhk või oksüdandid võivad muuta tuleohtliku gaasi või auru kontsentratsiooni ja moodustada potentsiaalselt plahvatusohtliku segu.
- **Tuleohtlikusulgevedelikud:** kui vesirõngas-vaakumpumba sulgevedelikuna kasutatakse tuleohtlikku vedelikku, võib süsteemi pääsenud õhk tekitada potentsiaalselt plahvatusohtliku siseseгу.
- **Kondenseerunud protsessimaterjalid:** kui on oht tuleohtliku materjali kondenseerumiseks süsteemis, peate arvestama sellega, et need võivad reageerida protsessi teiste etappide oksüdantide või õhuga (nt väljalaskes). Seda aitab vältida sobiv temperatuur või osarõhu reguleerimine.

6.5 Tuleohtliku tsooni vältimine

Tuleohtlik materjal tekitab potentsiaalselt plahvatusohtliku keskkonna vaid siis, kui see puutub kokku õhu, hapniku või muu oksüdandiga ning kui selle kontsentratsioon jääb alumise (Lower Flammability Limit; LFL) (või alumise plahvatuspiiri (Lower Explosion Limit; LEL)) ja ülemise süttivuspiiri (Upper Flammability Limit; UFL) (või ülemise plahvatuspiiri (Upper Explosion Limit; UEL)) vahele. Pöörake tähelepanu sellele, et enamik kirjanduses sisalduvatest andmetest viitab süttivuspiiridele õhus ehk olukorrale, kus oksüdandiks on hapnik. Allpool toodud teave põhineb sellel eeldusel.

Potentsiaalse plahvatusohu tekkimiseks peab hapnikukontsentratsioon olema suurem minimaalsest hapnikukontsentratsioonist (Minimum Oxygen Concentration; MOC) (ehk hapniku piirkontsentratsioonist (Limiting Oxygen Concentration; LOC)). Enamiku tuleohtlike gaaside puhul on minimaalne hapnikukontsentratsioon (hapniku piirkontsentratsioon) mahust 5% või rohkem. (Märkus. See ei kehti eriettevaatusabinõusid eeldavate pürofoorsete materjalide puhul.)

On olemas mitmeid strateegiaid, kuidas vältida sellist tööprotsessi, mille käigus satuvad gaasid tuleohtlikku tsooni. Strateegia valik sõltub töötus- ja pumpamissüsteemi riskianalüüsi (ohuanalüüsi) tulemustest.

- **Hoidke tuleohtliku gaasi kontsentratsioon alla LFL-i (LEL-i)**

Tuleohtliku gaasi juhusliku tuleohtlikku tsooni sattumise ohu minimeerimiseks tuleb kasutada alumisest süttivuspiirist (alumisest plahvatuspiirist) madalamale jäävat kindlusvaru.

Kasutaja peab kindlusvaru määrama pärast riskihindamist. Mõned organid soovitavad hoida kontsentratsiooni alumisest süttivuspiirist (alumisest plahvatuspiirist) 25% võrra madalamal tasemel.

Sageli kasutatakse sobiva kontsentratsiooni alumisest süttivuspiirist (alumisest plahvatuspiirist) madalamal hoidmiseks lahjendamist pumba sisselaskesse ja/või läbipuhumisühendustesse lisatava inertgaasi läbipuhumisega. Lahjendussüsteemi ning alarmide või blokeeringute nõutav ühtsus sõltub ohutsoonist, mis pärast lahjendussüsteemi tõrget tekiks.

- **Märkus.**

Hapniku välistamise ohu minimeerimiseks tuleb rakendada sobivad ettevaatusabinõud.

- **Hoidke hapniku kontsentratsioon alla MOC (LOC)**

See töörežiim eeldab talitusohutuse tagamiseks pumbatavate gaaside hapnikukontsentratsiooni jälgimist. Tuleohtliku gaasi juhusliku tuleohtlikku tsooni sattumise ohu minimeerimiseks tuleb kasutada alumisest minimaalsest hapnikukontsentratsioonist (hapniku piirkontsentratsioonist) madalamale jäävat kindlusvaru. Saadavalolevad tööstusstandardid osutavad sellele, et hapnikukontsentratsiooni pideval jälgimisel tuleb seda hoida tasemel, mis moodustab gaasise gule kohalduvast madalaimast avaldatud minimaalsest hapnikukontsentratsioonist (hapniku piirkontsentratsioonist) vähem kui 2 mahuprotsenti. Kui minimaalne hapnikukontsentratsioon (hapniku piirkontsentratsioon) ei ole vähem kui 5%, ei tohi hapnikukontsentratsioon olla suurem kui 60% minimaalsest hapnikukontsentratsioonist (hapniku piirkontsentratsioonist). Kui hapnikutaset jälgitakse vaid korralisel hapnikutaseme kontrollimisel, ei tohi hapnikutase moodustada madalaimast avaldatud minimaalsest hapnikukontsentratsioonist (hapniku piirkontsentratsioonist) rohkem kui 60%, ning kui minimaalne hapnikukontsentratsioon (hapniku

piirkontsentratsioon) on vähem kui 5%, peab hapnikukontsentratsioon moodustama vähem kui 40% minimaalsest hapnikukontsentratsioonist (hapniku piirkontsentratsioonist).

Eelistatud meetod hapnikutaseme madalaimast avaldatud minimaalsest hapnikukontsentratsioonist (hapniku piirkontsentratsioonist) madalamal tasemel hoidmiseks on õhu ja hapniku põhjalik kõrvaldamine protsessist ja pumbasüsteemist ning pumbatava gaasi lahjendamine inertse läbipuhumisgaasiga (nt lämmastikuga), mis lisatakse vajaduse korral pumba sisselaskesse ja/või läbipuhumisühendustesse. Õhu/hapniku tõrjemeetmete ning alarmide või blokeeringute nõutav ühtsus sõltub ohutsoonist, mis pärast tõrje- ja lahjendussüsteemi tõrget tekiks.

Ettevaatusabinõud, mis rakenduvad üldjuhul õhu protsessist ja pumbasüsteemist rangelt kontrollitud tõrjumisele, on toodud selle osa lõpus.

- **Hoidke tuleohtliku gaasi kontsentratsioon üle UFL-i (UEL-i)**

Kui tuleohtliku gaasi kontsentratsioon on suur, võib sobivam olla kasutamine ülemisest süttivuspiirist (ülemisest plahvatuspiirist) kõrgemal tasemel. Tuleohtliku gaasi juhusliku tuleohtlikku tsooni sattumise ohu minimeerimiseks tuleb kasutada ülemisest süttivuspiirist (ülemisest plahvatuspiirist) kõrgemale jäävat kindlusvaru. Soovitav on hoida jääkhapniku taset gaasis tasemel, mis moodustab vähem kui 60% absoluutsest hapnikutasemest, mis tuleohtliku gaasi ülemise süttivuspiiri (ülemise plahvatuspiiri) kontsentratsiooni juures üldjuhul kohaldub.

Eelistatud meetod, kuidas hoida hapniku tase ohutuspiirist allpool, on õhu ja hapniku rangelt kontrollitud tõrjumine töötlus- ja pumbasüsteemist. Vajalikuks võib osutada ka pumbatava gaasi lahjendamine inertse läbipuhumisgaasiga (nt lämmastikuga) või täiendada tuleohtliku gaasiga („polstergaasiga”), mis lisatakse vajaduse korral pumba sisselaskesse ja/või läbipuhumisühenduste kaudu." Kõigi õhutõrjemeetmete, läbipuhumisgaasi sisselaskesüsteemide ning alarmide või blokeeringute nõutav ühtsus sõltub ohutsoonist, mis pärast tõrje- ja lahjendussüsteemi tõrget tekiks.

- **Tuleohtliku gaasi kontsentratsiooni minimaalsest plahvatusrõhust madalamal hoidmine**

Igal plahvatusohtlikul materjalil on miinimumrõhk, millest madalamal tasemel ei ole plahvatus võimalik. Kui vaakumpumba sisselaskerõhku hoitakse ohutult sellest rõhust madalamal tasemel, ei saa vaakumpumbas alguse saanud süttimine sisselaskesse levida. Vaakumpumba väljalaske korral tuleb siiski rakendada ettevaatusabinõusid.

Ettevaatusabinõud õhu rangelt kontrollitud tõrjumiseks protsessist ja pumbasüsteemist on järgmised.

- **Õhulekete kõrvaldamine**

Kasutage lekkedetektorit või tehke rõhu tõusukiiruse test. Enne tuleohtlike materjalide protsessikambrisse sisestamist saab teha testi, et teha kindlaks, kas vaakumsüsteemi lekkiv õhk (hapnik) jääb lubatud piiridesse.

Rõhu tõusukiiruse testi tegemiseks tuleb tühi protsessikamber viia rõhule, mis jääb tavalisest töö rõhust veidi madalamale tasemele, ja isoleerida seejärel vaakumpumbast. Seejärel mõõdetakse protsessikambri rõhku kindla ajaperioodi vältel. Kuna protsessikambri maht ja maksimaalne lubatav õhuleke on teada, saab välja arvutada maksimaalse lubatava rõhutõusu, mis võib kindla ajaperioodi vältel esineda. Kui see maksimaalne rõhupiir ületatakse, tuleb protsessikambrisse õhu (hapniku) lekkimise põhjus kõrvaldada; seejärel tuleb testi enne protsessikambrisse tuleohtlike materjalide sisestamist korrata, kuni tulemused vastavad nõuetele.

Teatud juhtudel saab süsteemi lekkekindluse kontrollimiseks kasutada vaakumsüsteemi head baasrõhu saavutamise võimet.

- **Eemaldage süsteemist enne protsessi käivitamist kogu õhk**
Enne tuleohtliku gaasi laskmist süsteemi tuleb süsteem täielikult tühjendada ja/või inertgaasiga (nt lämmastikuga) läbi puhuda, et kogu õhk süsteemist eemaldada. Protsessi lõppedes korrake seda toimingut, et eemaldada enne süsteemi lõplikult õhku ventileerimist kõik tuleohtlikud gaasid.
- **Kuivvaakumpumpade puhul**
Veenduge, et võlli või läbipuhumise tihendusgaasi ei saaks mitte mingil juhul koos õhuga edastada või et see ei saaks õhuga saastuda, ja hoolitsege selle eest, et gaasiballasti port oleks suletud või seda kasutatakse ainult inertgaasi sisselaskmiseks.
- **Märgvaakumpumpe (nt õliga suletud rotatsioon- või kolbpumpe) puhul**
Hoidke võllitihendid tootja juhiste vastavas seisundis ja kasutage pumbatud ning rõhu all olevat õlimäärdesüsteemi, millel on õlirõhu vähenemise alarm. See süsteem võib sisaldada rõhulülitiga välist lisaseadet, mis tagab filtreeritud ja rõhu all oleva määrdõli. Veenduge, et kõik ballastgaasi pordid oleksid kas suletud või et neid kasutatakse ainult inertgaasi sisselaskmiseks. Tagage õlikarbi piisav läbipuhumine inertgaasiga, et õhk enne protsessi algust eemaldada.
- **Roots-tüüpi vaakum-survetõstepumpade puhul**
Hooldage peamise veovõlli tihendit tootja juhiste kohaselt ja veenduge, et kõiki läbipuhumis- või õhutusportide ühendusi saaks kasutada vaid inertgaasi sisselaskmiseks.
- **Pöördvool**
Veenduge, et süsteemi töötoimingud ja -seadmed kaitseksid süsteemi õhu pöördvoolu eest, mis võib tekkida pumba tõrkest. Veenduge, et kõik pumbatud tuleohtlikud gaasid kõrvaldatakse ohutult pumba väljalaske viimasel ventileerimisel. Tagage, et tuleohtlikud gaasid ei saaks väljalasketorustikus tekkida, kasutades selle tagamiseks enne tuleohtliku gaasi protsessi algust ja lõppu torustiku sobivat läbipuhumist inertgaasiga ning rakendades töö ajal sobivat inertgaasiga läbipuhumist, mis väldiks õhu tormilise tagasisegunemise piki väljalaset.

6.6 Süsteemi ühtsuse tasemed

Inertgaasiga lahjendamise kaitsemeetodeid on käsitletud eelmistes osades. Meetodi põhimõtteks on see, et inertgaas (tavaliselt lämmastik) segatakse protsessigaasidega, lahjendades need seega tasemele, kus plahvatused ja reaktsioonid ei saa toimuda. Kui kasutate gaasiga lahjendamist peamise ohutussüsteemina kaitseks plahvatuste eest, vajate võib-olla ka ülimalt ühtset alarm- ja blokeerimissüsteemi, mis väldiks süsteemi töö, kui gaasilahjendussüsteem hetkel ei tööta. Gaasilahjendussüsteemi funktsionaalsust tuleb kaaluda riskianalüüsi (ohuanalüüsi) käigus ja see sõltub sisemisest tsoonimisest (riskiastmest), mis lahjendussüsteemi tõrkega kaasneks. Süsteemi ühtsuse nõutavate tasemete määramiseks tuleks riskianalüüsis alati järgida hetkel parimaks peetavaid tavasid.

Kui lahjendussüsteemi kasutatakse näiteks tuleohtliku gaasi kontsentratsiooni hoidmiseks väljaspool tuleohtlikku tsooni ning lahjendamise tõrke korral oleks pumbatav gaas tuleohtlikus tsoonis pidevalt või pikemal ajaperioodil (ATEX-direktiivi tsooni 0 tingimuse kohaselt üldjuhul > 50%), peab lahjendussüsteem vastama ühele järgmistest nõuetest.

- See peab olema tõrkekindel ka harvade rikete korral.
- See peab olema ohutu kahe samaaegse rikke korral.

- See peab koosnema kahest iseseisvast lahjenduse varustussüsteemist.

Kui lahjendussüsteemi tõrke korral oleks pumbatav gaas tuleohtlikus tsoonis aeg-ajalt (üldjuhul ATEX-direktiivi tsooni 1 tingimus), peab lahjendussüsteem vastama ühele järgmistest nõuetest.

- See peab olema tõrkekindel ka eeldatava rikke korral.
- See peab olema ühe rikke korral.

Kui pumbatav gaas ei satu lahjendussüsteemi tõrke tagajärjel tõenäoliselt tuleohtlikku tsooni või võib sinna sattuda väga lühikesteks perioodideks (üldjuhul ATEX-direktiivi tsooni 2 tingimus), peab lahjendussüsteem olema tavalistel tööttingimustel ohutu.

6.7 Leegikustutite kaitse süsteemide kasutamine

Kui pumbatavate gaaside ja aurude segu on tuleohtlik (vt [Tuleohtliku tsooni vältimine](#) lk 21) pidevalt või pikematel ajaperioodidel (st tsooni 0 tingimus) ja on oht süüteallika (vt [Süüteallikad](#) lk 24) tekkeks tavakasutusel või prognoositava rikke korral, tuleb primaarpump varustada leegikustutitega (vt ka [Leegikustutid](#) lk 30). Koos ettevõtte Edwards vaakumpumpadega spetsiifiliste leegikustutite kasutamist puudutav kolmanda osapoole sertifikaat tõendab, et need suudavad takistada leegi edasikandumist piki protsessi torustikku või ümbritsevasse keskkonda.

Kui süsteemis on pikematel ajaperioodidel tuleohtlik segu, tuleb sisselaske leegikustutile pidevpõlemise tuvastamiseks paigaldada heaks kiidetud ja kontrollitud temperatuuriandur. Pidevpõlemise tuvastamisel tuleb pump välja lülitada ja kütuseallikast isoleerida. Võtke heaks kiidetud leegikustuteid ja temperatuuriandureid puudutava teabe saamiseks ühendust ettevõttega Edwards. Pumba harvade tõrgete (tsooni 0) korral leegikustuti ja pumba termilise kaitse tagamiseks tuleb pumba väljalaskele paigaldada väljalaske temperatuuriandur. Väljalülitamiskohad olenevad pumpamissüsteemidest. Vaadake pumba ATEX-direktiivile vastavuse juhendit.

Kui sisse- või väljalaske temperatuuriandur on jõudnud maksimumpiirini, osutades rikke tingimusele, tuleb võtta asjakohased meetmed. See on konkreetsest rakendusest, kuid võib hõlmata järgmist.

- **Kütuseetteande peatamine:** vaakumpumba sisselaskel asuva klapi sulgemine katkestab vaakumpumba varustamise kütusega.
- **Süüteallika kõrvaldamine:** lülitage vaakumpumba seiskamiseks mootori toide välja.
- **Põlenguala inertiseerimine:** inertgaasi kiire lisamine põlengualasse (tavaliselt, kuid mitte alati, asub see pumba väljalaskekollektoris) kustutab leegi. Pidage meeles, et leek võib uuesti süttida, kui süüteallikat ei eemaldata.

6.8 Süüteallikad

Kui vaakumpumpasid kasutatakse tuleohtlike segude pumpamiseks, peate pöörama tähelepanu kõigile võimalikele süüteallikatele. Järgnevalt on välja toodud mõned punktid, mida saate üldanalüüsis kasutada. Protsessist olenevalt võib olla võimalik mõne või kõigi süüteallikate vältimine. Kui süüteallika vältimine ei ole protsessi tingimuste või süsteemi nõuete tõttu võimalik, peate süsteemi selle kohaselt projekteerima.

Märkus.

Mõnel Edwardsi pumbal on kolmanda osapoole sertifikaat, mis tõendab, et (nõuetekohasel kasutamisel) piirdub potentsiaalne plahvatus sisemusega.

- **Mehaaniline kokkupuude:** vaakumpumba ja süsteemi sees olevate pöörlevate ning statsionaarsete osade mehaanilisel kokkupuutel võib tekkida süüteallikas. Kõigi Edwardsi vaakumpumpade konstruktsioon tagab kõigil kasutustingimustel pumba sees nõuetekohase töövahe. Selle süüteallika tekkimise ärahoidmiseks tuleb vältida materjalide sadestumist sisepindadele või puhastada pumba. Laagrid peavad olema nõuetekohases seisundis ja piisavalt määritud ning vajalik on sobiv läbipuhumisgaas, mis välistab kokkupuute protsessigaasidega. Ohutu ja usaldusväärse talitluse tagamiseks tuleb järgida laagrite hooldussoovitusi.
- **Osakeste neeldumine:** kõigi pumpamismehhanismide puhul on võimalik, et neis neelduvad osakesed, mis on tekkinud kas protsessi käigus või süsteemi tootmisprotsessi tõttu. Kui need rulluvad liikuva ja seisva pinna vahel, võib selle käigus kuumus tekkida. Sobiv sisselaske sõel (võrk) või filter takistab osakeste sissepääsu vaakumpumba ning vähendab osakeste suuruse ja koguse ohutule tasemele. Pöörake tähelepanu sisselaske sõela nõuetekohasele hooldusele.
- **Tolmu kogunemine:** peene tihendatud tolmu kogunemine siseõnarustesse võib toimuda siis, kui mõni pumpamismehhanism tegeleb tolmu tekitava protsessiga. Isegi sisselaske tolmufiltrite kasutamise korral võivad pumba pääseda väikesed tolmuosakesed. Termiliste muutuste käigus tekkinud väikeste mõõtmemuutuste tõttu võib tihendatud tolmu liikuva pinnaga kokku puutuda ja kuumust tekitada.
- **Tihenduskuumus (isesüttimine):** iga kompressori sisemist tihenduskuumust tuleb kaaluda seoses kõigi pumbatavate gaaside või aurude isesüttimistemperatuuriga. Veenduge, et pumba temperatuuriklassifikatsioon oleks pumbatavate gaaside omaga vähemalt sama või kõrgem.
- **Kuumad pinnad:** kui tuleohtlikud gaasid või aurud puutuvad kokku kuuma pinnaga, võivad need süttida, kui isesüttimistemperatuur seejuures ületatakse. Märkus. Edwardsi pumpasid ja leegikusteid ei tohiks soojustada, kuna see võib põhjustada pinnatemperatuure seesmiselt (ja väliselt) tõsta, põhjustades isesüttimist.
- **Väliselt avalduv kuumus:** väliselt avalduv kuumus võib ilmned näiteks vaakumseadmete vahetus läheduses toimuva tulekahju korral. Sel juhul võivad tekkida siserõhud, mis on süsteemi maksimaalsest staatilisest rõhust suuremad, ja temperatuurid, mis ületavad isesüttimistemperatuuri. Seda tuleks süsteemi ohuanalüüsis kindlasti arvesse võtta.
- **Kuuma protsessigaasi vool:** kõrged sisselaskegaasi temperatuurid võivad põhjustada pumbatavate materjalidega kokkupuutuvate sisemiste (või välismiste) pindade isesüttimistemperatuuri ületamist. Kõrge temperatuuriga sisselaskegaas võib põhjustada ka rootori/staatori kinnikiilumist. Vaadake maksimaalset lubatavat sisemise gaasi temperatuuri puudutava teabega tutvumiseks vaakumpumba kasutusjuhendit. Võtke lisateabe saamiseks Edwardsiga ühendust.
- **Katalüütiline reaktsioon:** kokkupuude teatud materjalidega võib põhjustada katalüütilist süttimist. Kõigi vaakumsüsteemi konstrueerimiseks kasutatud materjalide puhul tuleb hinnata, kui tõenäoliselt need pumbatavate gaaside või aurudega sel moel reageerivad.
- **Pürofoorne reaktsioon:** õhu või oksüdandi sissepääsust tingitud pürofoorsete materjalide süttimisel tekkiv kuumus võib kujutada endast plahvatusohtlike materjalide süüteallikat. Vt jaotist [Pürofoorsed materjalid](#) lk 11.
- **Staatiline elekter:** on olemas teatud tingimused, mille korral staatiline elekter võib isoleeritud osadele koguneda, enne kui see sädeme kujul pinnases maandatakse. Staatilise laengu tekkimise võimalust tuleb kaaluda süsteemi kavandamise osana.
- **Välgulöök:** kui süsteem asub välitingimustes, võib välgutabamus süttimiseks vajaliku energia tagada. Sellise juhtumi võimalikkust tuleb süsteemi kavandamisel arvesse võtta.

6.9 Kokkuvõte: süsteemi kavandamine

Ohutute vaakumpumbasüsteemide projekteerimisel tuleb arvesse võtta alljärgnevaid nõudeid. Rakendusala olenevalt võib kohalduda teisigi nõudeid.

- Kui pumpade ohtlike materjale, peate süsteemi projekteerima selliselt, et tõrkega ei kaasneks oht.
- Oksüdantide pumpamisel kasutage pumpades perfluoropolüetermäärdeid.
- Kui kasutate inertgaasi, et vähendada tuleohtliku gaasi kontsentratsiooni alumisest plahvatuspiirist, süttimispiirist või minimaalsest või alumisest oksüdandi kontsentratsioonist madalamale tasemele, peab olema tagatud inertgaasivarustuse terviklikkus.
- Kontsentratsioon võib ülemisest plahvatus- või süttimispiirist olla ka kõrgem, kuid rakendada tuleb sobivaid ohutusala tasemeid ettevaatusabinõusid tagamaks seda, et kontsentratsioon ei saaks langeda tuleohtlikku ulatusse.
- Enne süsteemide ja seadmete kasutamist tuleb nende nõuetekohases lekkekindluses veendumiseks teha lekketeste.
- Lahjendage pürofoorsed gaasid inertgaasi abil ohututele tasemetele, enne kui gaasid keskkonda väljastatakse või need oksüdeerivate gaasidega segunevad.
- Naatriumasiid ja raskmetallid ei tohi süsteemi gaasikontuuri üheski osas kokku puutuda.
- Süsteemi maksimaalne rõhk ei tohi ületada süsteemi ühegi üksikosa konkreetset ohutustaset.
- Peate alati tutvuma nende ainete ohustatavusega, mida kavatsete pumpata.
- Kaaluge õliga suletud rotatsioon- või kolbpumpade asemel kuivpumpade kasutamist, kui esinevad töömahu õliga seotud ohud.
- Kui Edwardsi vaakumpumpasid kasutatakse potentsiaalselt tuleohtlike segude pumpamiseks, peate tähelepanu pöörama kõigile võimalikele süüteallikatele ja võimaliku plahvatuse potentsiaalsetele tagajärgedele.

7. Õigete seadmete valimine

Oma rakenduse jaoks õigete seadmete valimiseks peate arvestama piire, mille raames teie süsteem peab töötama. Edwardsi seadmete tehnilised andmed leiab meie tootekataloogist, turunduspublikatsioonidest ja seadmete kasutusjuhenditest. Enamikul juhtudel saate soovi korral lisateavet; võtke lisasuuniste saamiseks Edwardsiga ühendust.

Võtke vaakumsüsteemi projekteerimisel arvesse asjakohaseid mehaanilise pumba parameetreid, mille hulka kuuluvad näiteks alljärgnevad.

- Maksimaalne staatiline rõhk (sisse- ja väljalaskel)
- Maksimaalne sisselaske töö rõhk
- Maksimaalne väljalaske töö rõhk
- Sisse- ja väljalaskeosade juhtivus
- Pumbaga ühendatud teiste osade rõhuandmed
- Rõhu jälgimine väljalasketoru ummistumise korral

Õliga suletud rotatsioon- ja kolbpumpade puhul peate arvesse võtma ka näiteks alljärgnevat.

- Gaasiballasti voolukiirus
- Õlikarbi läbipuhumise voolukiirus
- Õlikarpi püütud gaasid ja aurud
- Õlikarbi õlis absorbeerunud gaasid ja aurud

Maksimaalne staatiline rõhk määrab maksimaalse rõhu, millega pumba sisse- või väljalaskeühendus võib töövälisel ajal kokku puutuda. Rõhk oleneb pumba mehaanilisest konstruktsioonist.

Õliga suletud rotatsioon- ja kolbpumbad on kavandatud tööks atmosfäärirõhul või sellest väiksematel sisselaskerõhkudel ning kuigi maksimaalne staatilise rõhu väärtus võib olla atmosfäärirõhust suurem, ei tohi töötava pumba maksimaalne sisselaskerõhk ületada atmosfäärirõhku. Mõned tootjad piiravad oma pumpade pideva sisselaskerõhu väärtustega, mis jäävad alla atmosfäärirõhku. Töötava pumba maksimaalne sisselaskerõhk tähistab maksimaalset töö rõhku.

Maksimaalse töö rõhu piiramine pole tingimata seotud pumba mehaanilise terviklikkusega. Maksimaalne rõhk on tavaliselt võrdeline pumba nimivõimsusega suurte sisselaskerõhkudel ning seda seostatakse pumba või elektrimootori mehaaniliste osade ülekuumenemise ohuga.

Samadel põhjustel soovitame teil oma vaakumpumba väljalaskerõhu võimalikult madalana säilitada (pideva töö korral tavaliselt väärtusel 0,15 bar või alla selle, $1,15 \times 10^5$ Pa). Pumbad on kavandatud töötama piiramata väljalaskega ning väljalaskerõhk 0,15 bar ($1,15 \times 10^5$ Pa) on tavaliselt piisavalt suur, et heitgaasid läbi heitgaaside väljutussüsteemi ja töötlusseadmete suunata.

7.1 Õliga suletud rotatsioon- ja kolbpumbad

Edwardsi õliga suletud rotatsioonpumpade hulka kuuluvad seeria E1M, E2M, ES ja RV rotatsioonpumbad ning seeria Stokes Microvac õliga suletud kolbpumbad. Üldiselt on kõik vaakumpumbad kavandatud töötama alla atmosfäärirõhu jäävatel sisselaskerõhkudel ning pumba väljalase ventileeritakse vabalt atmosfääri.

Õliga suletud rotatsioon- ja kolbpumbad on mahtkompressorid ning suudavad tekitada väga suuri väljalaskerõhkusi, kui väljalase on ummistunud või piiratud. Sellisel juhul võivad rõhud

ületada pumba õlikarbi ohutu staatilise rõhu ning tihti ka süsteemis allavoolu jäävate osade (nt polüpropüleenist gaasipuhastite või vaakumi O-rõngaste ühenduskohtade) ohutud staatilised rõhud. Seetõttu soovitab Edwards tungivalt paigaldada pumba väljalasketorusse äärmiselt ühtse väljalaskerõhu anduri.

Ohutu lahjendustaseme saavutamiseks võib ballastgaasi täiendada õlikarbi puhastiga (kui see vahend on kasutatav), mis on pumba õlikarbi külge kinnitatud. Ballastgaasi ja õlikarbi puhasti suuremad voolukiirused suurendavad ka väljalaskesüsteemi kanduva õli kogust.

Kõigi Edwardsi õliga suletud pumpadel on suuremahulised õlikarbid, mis suudavad tule- ja plahvatusohtlikke gaasisegusid endas hoida. Õlikarbis olev õli saab tõhusalt absorbeerida või kondenseerida auru ja gaasilisi kõrvalsaaduseid. Õlisse püütud aurud ja gaasid võivad olla pürofoorsed või toksilised. Seetõttu peate ohutuks hooldamiseks rakendama erilisi käitlustoiminguid.

7.2 Edwardsi kuivpumbad

Maksimaalset töö rõhku piiravad samad tegurid, mis mõjutavad õliga suletud pumpasid (pumba või elektrimootori mehaaniliste osade potentsiaalse ülekuumenemise oht).

Edwardsi kuivpumbad on mahtkompressorid ja võivad tekitada väga suuri väljalaskerõhke. Kui pumbad integreeritakse süsteemi, kus protsessi käigus võivad tekkida tahked kõrvalsaadused (mistõttu esineb väljalasketoru ummistumise oht), soovitab Edwards tungivalt äärmiselt ühtse väljalaskerõhu mõõturi paigaldamist. Lülitite töö rõhkude määramiseks uurige pumba kasutusjuhendit.

Edwardsi kuivpumpadel on ballastgaasi suur läbilaskevõime. Reaktsiooni pärssimise optimeerimiseks võib pumbamehhanismi lisada lahjendusgaasi (nt lämmastikku). Vaadake gaasi läbipuhumise voolukiirust puudutava teabega tutvumiseks pumba kasutusjuhendit.

7.3 Torustiku kavandamine

7.3.1 Sülfoonid

Sülfoonid on lühikesed, sügavamate lõõtsaribide ja õhukeste seintega osad. Neid kasutatakse pumbalt teie vaakumsüsteemile üle kanduvate vibratsioonide vähendamiseks.

Paigaldage sülfoonid alati sirgjoonelisel ja nõnda, et mõlemad otsad oleksid järgalt kinnitatud. Õigesti paigaldatud sülfoonid peavad vastu väiksele positiivsele siserõhule (lisateavet leiab sülfoonide kasutusjuhendist). Ärge kasutage sülfoone kuivpumba väljalasetel; kasutage elastset punutud torustikku (vt Paindlik torustik [Elastne torustik](#) lk 28).

Sagedasi tsükleid hõlmavate rakenduste korral tuleb arvestada sülfoonide väsimuspurunemise ohuga.

7.3.2 Elastne torustik

Elastsel torustikul on sülfoonidega võrreldes paksem seinosa ja madalamad lõõtsaribid. Elastne torustik pakub mugavat vaakumsüsteemi osade ühendamise võimalust ning aitab kompenseerida jäiga torustiku joondamisvigu või selle väikseid liikumisi. Elastset torustikku saab paigaldada üsna teravate nurkade all ning see hoiab oma asendit.

Elastne torustik on loodud staatilisse süsteemi paigaldamiseks. Torustik ei sobi pideva painutamise tingimustesse, kuna see võib põhjustada väsimuspurunemist.

Elastse torustiku puhul kasutage lühimat võimalikku pikkust ning vältige tarbetuid painutusi. Selliste rakenduste korral, kus võib tekkida suur väljalaskerõhk, tuleb kasutada elastset punutud torustikku.

Elastne punutud torustik kujutab endast sülfone, millel on roostevabast terasest punutud väline kaitsekiht. Elastset punutud torustikku paigaldades peate järgima selle kasutusjuhendis toodud minimaalset painderadiust.

7.3.3 Ankrupunktid

Torustik ja selle osad tuleb nõuetekohaselt ankurdada. Kui ankurdate näiteks sülfoonid valesti, ei vähenda need pumba tekitatavaid vibratsioone ning see võib lõppeda torustiku väsimuspurunemisega.

7.3.4 Tihendid

Kui esineb oht positiivsete rõhkude tekkeks vaakumsüsteemi mis tahes osas (isegi tõrke tingimustes), peate kasutama sobivat tüüpi tihendeid ja materjale, mis peavad vastu eeldatavale vaakumile ja positiivsetele rõhkudele.

7.4 Füüsiline ülerõhukaitse

Nagu eespool selgitatud, võivad ülerõhu põhjuseks olla süsteemi või mõne selle osa piirangud või ummistus. Ülerõhu põhjuseks võib olla ka surugaasi vool pumbast või välisest surugaasi varustussüsteemist (nt lahjendussüsteemist). Süsteemi ülerõhuvastase kaitse tagamiseks on kaks peamist meetodit: rõhuvabastus ning ülerõhualarm ja -vabasti, mida kirjeldatakse alljärgnevatel lõikudel.

7.4.1 Rõhuvabastus

Ülerõhu kõrvaldamiseks võite kasutada purunevaid membraane või rõhuvabastusklappe. Seadme tööõhk peab jääma alla süsteemi kavandatud piirõhku. Need seadmed peate ühendama sobiva torustikuga sellises kohas, mis on protsessigaaside ventileerimiseks ohutu ja millel puuduvad ventileerimispiirangud. Kui teie protsessi käigus tekib tahkeid kõrvalsaaduseid, tuleb rõhuvabastusseadmeid regulaarselt kontrollida: nii veendute, et need pole ummistunud või piiratud. Selliste kaitseadmete kavandamisel tuleks arvesse võtta rõhukõikumiste mõju purunevatele membraanide väsimuspurunemisele või klapi tööeale.

7.4.2 Ülerõhualarm/-vabasti

Edwards kasutab seda kaitsemeetodit sageli. Seda tüüpi kaitset soovitatakse igale süsteemile, kuid see ei pruugi sobida süsteemidele, kus tekivad tahked kõrvalsaadused.

7.4.3 Rõhuregulaatorid

Rõhuregulaatoreid on kahte põhitüüpi: ventileerivad ja mitteventileerivad.

Ventileerivad regulaatorid ventileerivad gaasi atmosfääri või eraldi ventilatsioonitorusse, tagades voolu puudumise korral sel moel püsiva väljalaskerõhu. Ventileerivaid regulaatoreid kasutatakse tavaliselt siis, kui torustiku ühtsus on ülimalt tähtsus.

Mitteventileerivad regulaatorid suudavad püsiva väljalaskerõhu säilitada vaid voolu olemasolu korral.

Voolu puudumise korral võib teatud regulaatorite väljalaskerõhk tõusta toiterõhu tasemele. Tõusukiirus sõltub regulaatori omadustest ja mahust, millega selle väljalase on ühendatud. Tõusuks võib kuluda paarist minutist mitme kuuni.

Rõhuregulaatorid ei ole kavandatud kasutamiseks sulgeklappidena ning kui vajate isolatsiooni, tuleb neid kasutada koos sobiva isoleerseadmega (nt solenoidklapiga). Teisel juhul peate rakendama meetmeid, mis tagavad liigrõhu ohutu ventileerimise.

7.4.4 Leegikustutid

Leegikustutid ei ole plahvatusi välistavad seadmed. Need aitavad vältida leegi levimist piki toru või kanalit (vt jaotist [Leegikustutite kaitsesüsteemide kasutamine](#) lk 24). Leegikustutid tagavad suure pindala ja leekide väiksed juhtivusvahed, põhjustades seega leekide kustumise. Leegikustutid sobivad tavaliselt kasutamiseks ainult sellistes süsteemides, kus kasutatakse puhtaid gaase või aursid.

Rõhu suurenedes suureneb ka gaasisegude plahvatusenergia. Enamik leegikustuteid on kavandatud kaitsma alasid, kus siserõhk ei ületa atmosfäärirõhku. Peate tagama selle, et leegikustutini viiva heitgaaside väljutussüsteemi tööõhk ei saaks ületada maksimaalset tööõhku. Ettevõtte Edwards kemikaalide kuivvaakumpumpadega kasutamiseks sertifitseeritud leegikustutite korral maksimaalsete lubatavate rõhkudega tutvumiseks vaadake ATEX-direktiivile vastavuse tagamise juhendit. Peate arvesse võtma ka vaakumpumba maksimaalset lubatavat vasturõhku.

Leegikustutite tööpõhimõtte on leekidest kütteväärtuse eemaldamine, tagades seega maksimaalse ohutu töötemperatuuri. Te ei tohi lasta seda temperatuuri ületada pindkuumutuse, isoleerimise või läbi nende voolava gaasi temperatuuri poolt.

Leegikustuti leegikustutusvõime oleneb leegi levimise kiirusest, mis omakorda oleneb leegi ja süüteallika vahekaugusest. Neid koos ettevõtte Edwards kemikaalide vaakumpumpadega kasutades tuleks leegikustutid tihedasti sisse- ja väljalaske külge kinnitada. Põlvede ja T-liitmike kasutamine pumba ja leegikustuti vahel on teatavate pumpade korral lubatav ainult konkreetsetel tingimustel. Palun pöörduge nõu saamiseks ettevõtte Edwards poole.

7.5 Läbipuhumissüsteemid

Inertgaasi läbipuhumissüsteemid saab seadmete külge kinnitada, et pärast protsessitsükli lõppu süsteemi jäänud protsessigaas eemaldada.

Tõhus läbipuhumine aitab tagada korrodeerivate saaduste eemaldamise, laskmata neil kahjustada pumpa, ja mis veelgi olulisem, kaitsesüsteeme (nt leegikustuteid). Lisaks sellele tagab protsessigaaside eemaldamine selle, et erinevates protsessitsüklites kasutatud materjalide vahel ei teki soovimatuid ja potentsiaalselt ohtlikke keemilisi reaktsioone.

7.6 Kokkuvõte: õigete seadmete valimine

- Valige rakendusele sobivat tüüpi seadmed.
- Integreerige kõik asjakohased ohutusseadmed, mis on vajalikud tõe korral ohutuse tagamiseks.
- Kõrvaldage liikumatud mahud.
- Veenduge, et süsteemi juhitaks ja reguleeritaks nõuetekohaselt.
- Kui see osutub vajalikuks, paigaldage rõhuvabastusseadmed.
- Kui see osutub vajalikuks, kasutage leegikustuteid.
- Enne süsteemide ja seadmete kasutamist kontrollige nende lekkekindlust.

8. Töötoimingud ja väljaõpe

Seadmete talitusohutuse tagamiseks on vajalikud nõuetekohane väljaõpe, selged ja konkreetsed juhised ning regulaarne hooldus. On oluline, et kogu vaakumseadmeid kasutatav personal oleks kvalifitseeritud ja läbinud nõuetekohase väljaõppe ning saaks vajaduse korral asjakohast juhendamist.

Kui mõni Edwardsi seadmetega seonduv töö- või ohutusdetail jääb teile ebaselgeks, võtke meiega palun nõu saamiseks ühendust.

9. Kokkuvõte

- Tehke ohuhindamine, et selgitada välja kõik võimalikud ohud, ning võimaluse korral kõrvaldage need. Ohuhindamine peab hõlmama vaakumsüsteemi projekteerimist, konstrueerimist, kasutuselevõttu, käitamist, hooldust ja kasutuselt kõrvaldamist.
- Võtke arvesse kõiki teie süsteemis esinevaid keemilisi reaktsioone. Arvestage ka abnormsete keemiliste reaktsioonidega (sh nendega, mis võivad ilmned a rikke tingimustes).
- Oma protsessimaterjalidega seostuvate potentsiaalsete ohtude (nt isesüttimise) hindamisel uurige kindlasti materjali andmelehti / ohutuskaarte.
- Kasutage oksüdantide ja tuleohtlike materjalidega esineda võivate reaktsioonide ohu minimeerimiseks lahjendusmeetodeid.
- Kasutage oksüdantide ja pürofoorsete materjalide pumpamisel on pumbas õiget tüüpi määret.
- Ärge kasutage oma pumpamissüsteemi gaasi liikumisteel raskmetalle, kui teie protsessi käigus tekib või selles kasutatakse naatriumasiidi.
- Ohutusarvutusi tehes võtke kindlasti arvesse süsteemi kõigi osade lubatud tööõhu väärtuseid. Veenduge, et võtsite muu hulgas arvesse abnormseid ja rikke tingimusi.
- Veenduge, et ühendate õiget tüüpi rõhuvabastusseadmed ja et need on teie rakendusega kasutamiseks heakskiidu saanud.
- Veenduge, et väljalaske ummistusi ei saaks tekkida.
- Veenduge, et lahjendusgaase reguleeritakse ja kontrollitakse nõuetekohaselt.
- Kui pumpate ohtlikke materjale, peate süsteemi kavandama selliselt, et selle tõrge oleks ohutu.
- Oksüdantide pumpamisel kasutage perfluoropolümeerõlisid ja -määrdeid.
- Kasutage tuleohtliku ja pürofoorse gaasi ohutule tasemele lahjendamiseks inertgaasi või tagage see, et tase jääks ülemisest süttimis- ja plahvatuspiirist kõrgemale, võttes arvesse kõigile protsessi tingimustele, muu hulgas tõrgetele, kohalduvaid ohutustegureid.
- Te ei tohi lasta süsteemi maksimaalsel rõhul ületada süsteemi ühegi üksikosa maksimaalset piirrõhku.
- Kaaluge õliga suletud pumpade asemel kuivpumpade kasutamist, kui esinevad töömahu õliga seotud ohud.
- Kõrvaldage seisvad mahud
- Veenduge, et süsteemi juhitakse ja reguleeritakse nõuetekohaselt.
- Kui see osutub vajalikuks, kasutage leegikustuteid.
- Enne süsteemide ja seadmete kasutamist kontrollige nende lekkekindlust.

