



Vakuumpump och vakuumsystem

SÄKERHETSANVISNINGAR

Copyrightmeddelande

©Edwards Limited 2019. Med ensamrätt.

Innehåll

1. Inledning.	5
1.1 Anvisningarnas omfattning.	5
1.2 Explosionsrisker.	5
2. Om risker uppstår.	7
2.1 design.	7
2.2 Tillverkning.	7
2.3 drift/idrifttagande.	7
2.4 Underhåll/urdrifttagande.	8
3. Kemiska riskkällor.	9
3.1 Kemiska reaktioner och explosioner.	9
3.1.1 Homogena reaktioner.	9
3.1.2 Heterogena reaktioner.	9
3.2 Problem med abnorma reaktioner.	9
3.3 Explosionsrisker.	10
3.3.1 oxidanter.	10
3.3.2 brandfarliga/explosiva material.	11
3.3.3 pyrofora material.	11
3.3.4 Natriumazid.	12
3.4 Giftiga eller korrosiva material.	12
3.4.1 Giftiga material.	12
3.4.2 Korrosiva material.	13
3.5 Sammanfattning – kemiska riskkällor.	13
4. Fysiska riskkällor.	15
4.1 Typer av övertrycksrisker.	15
4.2 Övertrycksatt pumputlopp.	15
4.3 Skydd mot övertryck i utloppet.	15
4.4 Intagsövertryck.	16
4.4.1 Tillförsel av komprimerad gas och baktryck.	16
4.4.2 Felaktig pumpdrift.	16
4.5 Sammanfattning – fysiska riskkällor.	17
5. Riskanalys.	18
6. Systemkonstruktion.	19
6.1 Tryckvärden i ett system.	19
6.2 Eliminering av stillastående volymer.	19
6.3 Extraktionssystem för utloppet.	20
6.4 Källor till potentiellt explosiva gas- eller ångblandningar.	20

6.5 Undvika den brandfarliga zonen.	20
6.6 Nivåer för systemintegritet.	23
6.7 Användning av skyddssystem med gnistfälla.	24
6.8 Antändningskällor.	24
6.9 Sammanfattning – systemkonstruktion.	25
7. Rätt val av utrustning.	27
7.1 Oljetätade rotationsspannor och kolvpumpar.	27
7.2 Edwards torrpumpar.	28
7.3 Rörledningskonstruktion.	28
7.3.1 Klockor.	28
7.3.2 Flexibla rörledningar.	28
7.3.3 Förankringspunkter.	29
7.3.4 Tätningar.	29
7.4 Fysiskt övertrycksskydd.	29
7.4.1 Tryckutjämning.	29
7.4.2 Övertryckslarm/utlösning.	29
7.4.3 Tryckregulatorer.	29
7.4.4 Gnistfällor.	30
7.5 Rensa systemen.	30
7.6 Sammanfattning – rätt val av utrustning.	30
8. Driftprocedurer och utbildning.	31
9. Sammanfattning.	32

Edwards Ltd avsäger sig allt eventuellt ansvar och allt eventuellt garantiansvar för korrekthet, praxis, säkerhet och resultat baserat på information och processer och dessas användning som beskrivs häri. Edwards Ltd accepterar inte något som helst ansvar för eventuell förlust eller skada som uppstår som ett resultat av tillit till den information som denna presentation innehåller eller av att den tillhandahållna informationen är inkorrekt eller ofullständig på något sätt. Observera att informationen häri endast är rådgivande, och att även om Edwards kan erbjuda rådgivning med avseende på eventuella risker med att använda farliga material, så är det slutanvändarens ansvar att utföra en riskbedömning/riskanalys specifik för sin egen drift och miljö och att förhålla sig till landets föreskrifter.

1. Inledning

1.1 Anvisningarnas omfattning

Detta dokument innehåller säkerhetsinformation angående specifikation, design, drift och underhåll av vakuumpumpar och vakuumsystem.

Dokumentet identifierar möjliga risker som kan uppstå och ger riktlinjer som ska minimera sannolikheten för säkerhetsrisker, samt garantera att risker som uppstår hanteras på lämpligt sätt.

Dokumentet är avsett att läsas av var och en som specificerar, designar, installerar, använder eller underhåller vakuumpumpar och vakuumsystem. Vi rekommenderar att detta läses tillsammans med:

- Bruksanvisningarna som levereras med din utrustning
- information från leverantörerna av dina processgaser och kemikalier
- information från din säkerhetsavdelning.



VARNING:

Underlåtenhet att följa säkerhetsanvisningarna i denna bruksanvisning och användarinstruktionen för relevant pump kan orsaka allvarliga skador eller dödsfall.

Om du behöver ytterligare information om lämpligheten av Edwards produkter för den aktuella tillämpningsprocessen, eller angående säkerhetsaspekter för dina vakuumpumpar eller vakuumsystem, var god kontakta din Edwards-leverantör.

1.2 Explosionsrisker

OBS:

Edwards har pumpar som överensstämmer med det europeiska ATEX-direktivet om utrustning som är avsedd för användning i potentiellt explosionsfarliga miljöer.

Oväntade explosioner beror i samtliga fall på att säkerhetsanvisningarna har frångåtts. Oavsett detta har några av explosionerna varit extremt våldsamma, och de skulle ha kunnat orsaka allvarliga skador eller dödsfall.

De vanligaste orsakerna till våldsamma skador på en komponent i ett vakuumsystem är antändning av brandfarliga material eller blockering eller begränsning av pumputloppet. Observera följande för att undvika risker och garantera säker drift av dina vakuumpumpar och -system.

- Såvida inte ditt system har utformats för pumpmaterial i sådana koncentrationer att de skulle kunna antändas i vakuumpumpen måste du säkerställa att brandfarliga blandningar och oxidanter hålls utanför antändningsnivån. Användning av inert gasrensning är ett sätt att uppnå detta. Se [Undvika den brandfarliga zonen](#) på sidan 20.
- Kontrollera att utloppet inte kan blockeras under drift, vare sig av mekaniska delar (till exempel ventiler eller rondeller) eller processmaterial eller biproduktsavlagringar i rör, filter och andra utloppsdelar.
- Använd endast PFPE-oljor (perfluorpolyeter) på de ställen där pumpmekanismer utsätts för höga koncentrationer syrgas eller andra oxidanter. Andra typer av oljor

som säljs som "icke brandfarliga" får endast användas med oxidantkoncentrationer upp till 30 % vv.

- Kontrollera att oavsiktligt övertryck inte kan uppstå i ett stängt och isolerat vakuumsystem; exempelvis på grund av fel i en tryckregulator eller ett luftningsstysystem.
- Om pumpprodukten kan reagera våldsamt med vatten, rekommenderar vi att ett annat kylmedel än vatten (till exempel värmeledningsvätska) används i kylkretsen. Kontakta Edwards för rådgivning.

2. Om risker uppstår

Risker kan förekomma under alla systemets livsfaser. Dessa faser är:

- design
- Tillverkning
- drift/idrifttagande
- underhåll/urdrifttagande.

Typerna av problem som uppstår i varje fas sammanfattas nedan. För att systemriskerna ska minimeras, krävs i samtliga fall ingående förståelse av systemets komponenter och processer/tillämpningar. Fråga din leverantör om information och råd, om du känner dig osäker.

2.1 design

När du konstruerar ditt system måste du välja rätt slags utrustning för ändamålet. Du måste ta hänsyn till:

- utrustningens tekniska specifikation
- materialen som används i tillverkningen av utrustningen
- driftartiklar som används med utrustningen (som smörjmedel och driftvätskor)
- processvillkor och -material.

Du måste även tänka på den allmänna lämpligheten hos utrustningen för användningsområdet, och kontrollera att den alltid används inom angivna driftvillkor.

Du måste skapa konstruktionsprocedurer som minimerar konstruktionsfel. Sådana procedurer ska inkludera en oberoende kontroll av konstruktionsberäkningar, liksom en konsultation av konstruktionsparametrar.

Riskanalys måste alltid vara en del av din konstruktionsöversikt. Du kan eliminera många potentiella risker genom att noggrant överväga utrustningens användning i ditt system.

2.2 Tillverkning

Minska risken för att risker uppstår under tillverkning med hjälp av utbildad och kvalificerad personal och kvalitetssäkringsprocedurer. Utbildad personal kan identifiera de komponenter som krävs under montering, och kan även identifiera felaktigt eller dåligt tillverkade komponenter och utrustning. Kvalitetssäkringsprocedurer kommer hjälpa till att identifiera dåligt hantverk, och garantera att konstruktionsspecifikationerna följs i detalj.

Personalen måste ta särskilda hänsyn och följa alla säkerhetsföreskrifter när ny utrustning installeras i ett system där giftiga, korrosiva, brandfarliga, kvävande, pyrofora eller andra farliga ämnen har pumpats, producerats eller fortfarande kan finnas kvar.

Elektrisk utrustning måste installeras av utbildad/kvalificerad personal, i enlighet med alla tillämpliga lokala och nationella elföreskrifter.

2.3 drift/idrifttagande

Risker kan orsakas under drift, av utrustnings- eller komponentfel till följd av ålder, felaktig användning eller dåligt underhåll. Korrekt utbildning i användning (och underhåll) av

utrustningen minskar dessa risker. Se vid behov informationen från Edwards och andra leverantörer, i form av bruksanvisningar, utbildning och efterförsäljningsservice.

2.4 Underhåll/urdrifftagande

För att förhindra att personal kommer i kontakt med farliga ämnen måste särskilda hänsyn tas och samtliga säkerhetsföreskrifter måste följas för system där giftiga, korrosiva, brandfarliga, pyrofora, kvävande eller andra ämnen har pumpats, producerats eller fortfarande kan finnas kvar.

Hänsyn ska också tas till ett planerat underhållsprogram, och till säker kassering av komponenter som kan ha förorenats med farliga ämnen. Du måste följa underhållsråden i bruksanvisningarna för all utrustning för att säkerställa säker och pålitlig drift. För ATEX-system finns det vanligtvis ytterligare krav.

3. Kemiska riskkällor

3.1 Kemiska reaktioner och explosioner

Du måste noggrant överväga alla möjliga kemiska reaktioner som kan uppstå vid någon punkt i vakuumsystemet, vid normal användning, felanvändning och uppstådda fel. Särskild hänsyn ska tas till reaktioner som inbegriper gaser och ångor, som kan leda till explosioner. Erfarenheten visar att explosioner har inträffat där material ingick som inte ursprungligen avsågs av systemkonstruktören, och där inga hänsyn tagits till utrustningens felläge.

3.1.1 Homogena reaktioner

Homogena reaktioner uppstår i gasfasen mellan två eller fler typer av gasmolekyler. Gasförbränningsreaktioner är vanligen av denna form. Till exempel är, så vitt vi vet, reaktionen mellan silan (SiH_4) och syre (O_2) alltid homogen. Om du har sådana reaktioner i tillverkningsprocessen måste du därför noggrant kontrollera processtrycket och reaktantkoncentrationerna för att förhindra för stora reaktionshastigheter.

3.1.2 Heterogena reaktioner

Heterogena reaktioner kräver en fast yta för att inträffa, d.v.s. vissa gasmolekyler reagerar bara när de adsorberas på en yta, men reagerar inte i gasfasen vid låga temperaturer. Denna typ av reaktion är ideal för vissa processer, eftersom den minimerar effekten av reaktioner som inträffar i processkammaren, minskar bildandet av partiklar och minskar sannolikheten för förorening.

Flertalet heterogena reaktioner blir homogena vid högre tryck, vanligtvis långt under atmosfäriskt tryck. Detta innebär att sättet som gaserna reagerar i processkammaren inte nödvändigtvis motsvarar sättet de reagerar när de komprimeras av en vakuumpump.

3.2 Problem med abnorma reaktioner

Abnorma reaktioner kan inträffa när kemikalier kommer i kontakt med gaser eller material som systemkonstruktören inte förutsett. Detta kan exempelvis inträffa när det finns en läcka som antingen släpper in omgivande gaser i systemet, eller släpper ut giftiga, brandfarliga, explosiva eller andra farliga gaser i omgivningen.

För att förhindra att dessa reaktioner inträffar, bör en läckagetäthet på 1×10^{-3} mbar l s^{-1} (1×10^{-1} Pa l s^{-1}) eller mindre, upprätthållas i systemet. Användningar med högvakuuum, behöver normalt en läckagetäthet på 1×10^{-5} mbar l s^{-1} (1×10^{-3} Pa l s^{-1}) eller mindre. Du måste också kontrollera att alla ventiler i systemet är läckagetäta i sina fästen.

Gaser som normalt inte kommer i kontakt med varandra under processcykeln kan blandas i pumpsystemet och utloppets rörledning.

Vattenånga eller rengöringsmedel kan förekomma i processkammaren efter rutinmässiga underhållsprocedurer. Detta kan inträffa när processkammaren har spolats och rengjorts. Vattenånga kan även tränga in i systemet från utloppsgångar och utloppsskrubbar.

Om lösningar används för att skölja processrester från vakuumsystemet är det viktigt att kontrollera att den valda lösningen är kompatibel med alla processmaterial i vakuumsystemet.

3.3 Explosionsrisker

Explosionsrisker beror oftast på något av följande:

- oxidanter
- Brandfarliga/explosiva material
- pyrofora material
- natriumazid.

Observera att i EU-länder (och några andra länder) måste leverantörer av processmaterial enligt lag publicera fysiska och kemiska data för material de säljer (vanligen i form av materialsäkerhetsdatablad). Data för ett material måste, om tillämpligt, innehålla information om övre och nedre explosionsgränser, materialets fysiska och termodynamiska egenskaper, samt eventuella hälsorisker vid användning av materialet. Se denna information för vägledning.

3.3.1 oxidanter

Oxidanter som syre (O₂), ozon (O₃), fluor (F₂), kvävetrifluorid (NF₃) och tungstenhexafluorid (WF₆) pumpas ofta i vakuumsystem. Oxidanter reagerar gärna med en lång rad ämnen och material och reaktionen producerar värme och ökar gastrycket. Möjliga risker är eld och övertryck i pump och/eller utloppssystem.

För att säkert pumpa dessa gaser måste gasleverantörens säkerhetsanvisningar följas, tillsammans med följande rekommendationer:

- Använd alltid PFPE-smörjmedel (perfluorpolyeter) i pumpar som används för att pumpa syre i koncentrationer över 25 % av volymen i inerta gaser.
- Använd PFPE-smörjmedel i pumpar som används för att pumpa gaser där syrenehållet normalt ligger under 25 % av volymen, men kan stiga till över 25 % i felsituationer. Om andra oxidanter än syre pumpas bör du kontakta smörjmedelsleverantören för rekommendationer om de oxidantnivåer som förekommer.
- PFPE-smörjmedel är att föredra, men smörjmedel av kolvätetyp kan användas om lämplig spolning med inert gas används för att garantera att oljan inte utsätts för osäkra nivåer av oxidanten.

Under normala omständigheter oxiderar inte PFPE-smörjmedel eller bryts ned i en oljetätad rotationspanna eller kolvpumpsoljelåda eller växellåda, och detta minskar därför risken för en explosion.

Observera att värmenedbrytning av PFPE-smörjmedel kan inträffa vid temperaturer på eller över 290 °C i närvaro av luft och järnhaltiga metaller. Temperaturen för värmenedbrytning sjunker emellertid till 260 °C vid närvaro av titan, magnesium, aluminium eller deras legeringar.

Om du inte vill använda PFPE-smörjmedel i en oljetätad rotationspanna eller kolvakuumpump kan du späda oxidanten till en säker koncentration med en inert gas som till exempel torr kvävgas. Detta tillvägagångssätt är bara lämpligt vid låga flödeshastigheter. Du måste installera säkerhetsfunktioner i ditt system för att garantera att det minsta flödet av inert spädningsgas som krävs för att minska koncentrationen oxidant till en säker nivå alltid finns tillgängligt, och för att garantera att oxidantflödet inte överskrider den maximalt tillåtna flödeshastigheten. Du måste utforma systemet så att oxidantflödet upphör omedelbart om inte dessa villkor uppfylls.

Vi rekommenderar att du använder en Edwards torrump när du pumpar oxidanter (se [Edwards torrumpar](#) på sidan 28). Torrumpar har inga tätningsvätskor i den tömda

volymen, och därmed minskar explosionsrisken avsevärt om du använder en torrpump för att bearbeta oxidanter. Edwards rekommenderar spolning med inert gas för lager och i växellådan om smörjmedel med kolväte används.

3.3.2 brandfarliga/explosiva material

Många gaser och pulver, som väte (H_2), acetylen (C_2H_2), propan (C_3H_8) och finfördelat silikonpulver, är brandfarliga och/eller explosiva i vissa koncentrationer i en oxidant om en antändningskälla finns. En antändningskälla kan lätt uppstå, till exempel från en lokal värmeuppbyggnad. Detta diskuteras i [Antändningskällor](#) på sidan 24.

Du kan undvika explosionsrisken genom att säkerställa att den potentiellt brandfarliga blandningens koncentration inte når en brandfarlig zon. Ytterligare information finns i [Undvika den brandfarliga zonen](#) på sidan 20.

En annan metod du kanske kan använda för att minska explosionsrisken är att eliminera antändningskällor. Ytterligare information finns i [Antändningskällor](#) på sidan 24.

När det inte är möjligt att undvika den brandfarliga zonen måste du kontrollera att utrustningen är konstruerad för att innesluta en eventuell resulterande explosion utan att den skadas eller att lågor överförs till omgivningen. Användningen av gnistfälla diskuteras i [Användning av skyddssystem med gnistfälla](#) på sidan 24. Om miljön utanför ditt vakuumsystem är riskfylld måste du kontrollera att all utrustning har lämplig klassificering för det.

Det europeiska ATEX-direktivet innehåller tydlig vägledning när det gäller konstruktion av utrustning som ska användas i potentiellt explosionsfarliga miljöer.

I de fall där det alltid är möjligt att undvika pumpning av potentiellt explosiva atmosfärer kan alla typer av Edwards-vakuumpumpar användas för att pumpa brandfarliga ångor eller gaser.

3.3.3 pyrofora material

Under de flesta förhållanden reagerar pyrofora gaser som silan (SiH_4) och fosfin (PH_3) eller pyrofort pulver spontant med luft vid atmosfäriskt tryck, så förbränning kan inträffa när dessa gaser kommer i kontakt med luft, eller andra oxidanter, när trycket är tillräckligt högt för att gynna förbränning. Detta kan ske om luft läcker in i systemet eller om systemutloppet kommer i kontakt med omgivningen. Värmen från reaktionen mellan en oxidant och en pyrofor gas kan fungera som en antändningskälla för explosiva material.

Om utloppsgaser från olika processer töms genom ett gemensamt extraktionssystem kan det orsaka förbränning och/eller explosion. Vi rekommenderar därför att du använder oberoende evakueringsystem vid pumpning av pyrofora material.

Processer som använder fosfor kan orsaka att fast fosfor kondenserar i vakuumsystemet eller utloppet. I närvaro av luft och utsatt för minst mekaniska påverkan (till exempel aktivering av ventil eller pumprotation orsakad av tryckskillnad) kan fosfor brinna spontant och släppa från sig giftgaser. Vi rekommenderar att pumpar drivs med spolning med inert gas och körs tillräckligt varma för att minimera att fosfor kondenserar.

PFPE-smörjmedel kan absorbera processgaser som, för pyrofora material, kan orsaka lokal antändning när smörjmedlet kommer i kontakt med luft. Denna risk kan bli särskilt påtaglig under service eller när en oxidant pumpas genom systemet efter en pyrofor gas eller ett pyrofort pulver. Du kan minska denna risk genom att använda Edwards torrpumpar som inte innehåller några smörjmedel i den tömda volymen. Du måste säkerställa att alla pyrofora material har passiverats innan pumpen ventileras eller hanteras.

3.3.4 Natriumazid

Natriumazid används ibland när produkter förbereds för frystorkning och i andra tillverkningsprocesser. Natriumazid kan producera väteazid. Väteazidångor kan reagera med tungmetaller och bilda instabila metallazider. Dessa azider kan explodera spontant.

Tungmetallerna inkluderar:

• Barium	• Kadmium	• Cesium
• Kalcium	• Koppar	• Bly
• Litium	• Mangan	• Kalium
• Rubidium	• Silver	• Natrium
• Strontium	• Tenn	• Zink
• Koppar- och zink-legeringar (t.ex. brons)		

Brons, koppar, kadmium, tenn och zink används ofta i många komponenter i vakuumpumpar, tillbehör och rör. Om ditt processsystem använder eller producerar natriumazid måste du kontrollera att gasbanan i ditt processsystem inte innehåller tungmetaller.

3.4 Giftiga eller korrosiva material

Många vakuumtillämpningar inbegriper bearbetning och hantering av giftiga och korrosiva material och kräver särskilda rutiner.

3.4.1 Giftiga material

Giftiga material är per definition hälsovådliga. Typen av fara är emellertid specifik för materialet och dess relativa koncentration. Följ hanteringsrutinerna från materialets leverantör och tillämplig lagstiftning.

Beakta även följande punkter:

- **Gasspädning** – Det är möjligt att låta giftiga processgaser spädas medan de passerar genom vakuumpumpen och in i utloppet. Du kan använda denna spädning för att minska koncentrationen till under giftgränsen. Vi rekommenderar att du övervakar tillförseln av spädningssgas så att ett larm utlöses om tillförseln avbryts. Se pumpens bruksanvisning för möjliga oljeretursatser som kan krävas. Detta gäller specifikt för oljetätade pumpar.
- **Läckagedetektering** – Edwards vakuumsystem är i allmänhet konstruerade för att vara läckagetäta upp till $< 1 \times 10^{-3}$ mbar l s-1 ($< 1 \times 10^{-1}$ Pa l s-1). Läckagetätheten hos anslutna system kan emellertid inte garanteras. Du måste använda en lämplig metod för läckagedetektering (till exempel läckagedetektering med heliummasspektrometri) för att bekräfta integriteten hos vakuum- och utloppssystemen.
- **Axeltätning (Edwards torrumpar)** – Många torra vakuumpumpar använder ett gasrensningssystem för att garantera att processgaser inte kommer in i växellådan och lager och därigenom potentiellt ut i omgivningen runt vakuumsystemet. Du måste kontrollera gastillförseln integritet vid hantering av giftiga material. Icke-ventilerande regulatorer måste användas i kombination med en spärrkontrollventil, enligt [Tryckregulatorer](#) på sidan 29.
- **Axeltätning (Edwards övriga pumpar)** – Oljeindränkta axeltätningkonstruktioner (till exempel mekaniska EH-boosterpumpar och EM-rotationspannepumpar) minimerar risken för läckage av processgas (eller inläckage av luft), och kan ge en visuell varning (oljeläckage eller minskad oljenivå) innan en risk uppstår. Andra tätningkonstruktioner ger eventuellt ingen felvarning.

- **Magnetdrivning** – Om totalt hermetisk tätning krävs kan Edwards torra EDP-vakuumpumpar utrustas med en magnetdrivning med en keramisk inneslutningsbehållare som eliminerar behovet av axeltätning på motorinmatningsaxeln.

Om tryckutjämningsventiler eller sprängbleck används för att släppa ut överskottstryck måste du kontrollera att de är säkert ventilerade i lämpligt utloppssystem, så att risk för förgiftning undviks.

När du returnerar förorenad vakuumutrustning till Edwards för service eller underhåll måste du följa de specifika procedurerna (formulär HS1) och fylla i deklARATIONEN (formulär HS2) i bruksanvisningen som bifogas utrustningen.

3.4.2 Korrosiva material

När du pumpar korrosiva material med Edwards vakuumpumpar måste du observera följande punkter:

- **Fuktinträngning** – Du måste speciellt vidta åtgärder för att förhindra att fuktig luft tränger in eftersom det kan snabba på den korrosiva effekten. En inert rensning ska användas som del av nedstängningsproceduren för att skölja ut korrosiva material ur systemet före nedstängning.
- **Spädning** – Använd en lämplig inert spädningssgas för att förhindra kondensering av korrosiva material och därmed förhindra den resulterande korrosionen.
- **Temperatur** – Öka pumpens och utloppsledningens temperatur för att förhindra kondensering av vattenånga och därmed minska korrosion. I vissa fall kan högre temperaturer öka korrosionstakten. Se nedanstående stycke.
- **Korrosion och säkerhetsutrustning** – Om viktig säkerhetsutrustning (t.ex. gnistfällans delar, temperatursensorer och så vidare) kan skadas av korrosiva produkter i processens gasflöde så måste säkerhetsutrustningens konstruktionsmaterial väljas så att den risken avlägsnas.
- **Fasförändringar** – Oplanerade fasförändringar kan resultera i kondensering. Hänsyn till förändringar i temperatur och tryck krävs för att undvika denna risk.
- **Oplanerade reaktioner** – Oplanerade kemiska reaktioner kan få korrosiva produkter att skapas. Noggrann hänsyn ska tas till möjligheten av korsförorening när utrustningen används till flera saker.

Vissa korrosiva material, som fluor, klorin, andra halogener eller halider och oxiderande ämnen som ozon eller reduktionsmedel som vätesulfid, kan även angripa materialen de är i kontakt med, utan att det behöver finnas någon vätska närvarande. I dessa fall bör det korrosiva materialets partialtryck minimeras genom att man använder en lämplig spädningssgas. De material som vakuumsystemet och pumpmodellen ska konstrueras av bör väljas utefter deras kompatibilitet med den aktuella gasen vid de koncentrationer som förväntas. Höga temperaturer kan påskynda korrosion och bör därför minimeras när det är möjligt att använda andra processer. Underhållsintervaller bör undersökas för att kunna överväga effekten som de korrosiva materialen har på systemet.

3.5 Sammanfattning – kemiska riskkällor

- Ta hänsyn till alla möjliga kemiska reaktioner inom ditt system.
- Skapa beredskap för onormala kemiska reaktioner, inklusive sådan som kan inträffa vid felsituationer.
- Se materialsäkerhetsdatabladerna när du bedömer potentiella risker för dina processmaterial.

- Använd spädningstekniker för att minimera reaktioner med oxidanter och brandfarliga material.
- Inom EU måste du använda en lämplig certifierad ATEX-vakuumpump när en brandfarlig zon har specificerats. För alla andra regioner rekommenderar Edwards att använda pumpar som har certifierats enligt ATEX-direktivet så långt som möjligt.
- Använd rätt slags smörjmedel i pumpen när du pumpar oxidanter, och överväg användning av en torrpump.
- Använd inte tungmetaller i gasbanan i ditt processsystem om din process använder eller producerar natriumazid.
- Var extra försiktig vid hantering av giftiga, korrosiva och instabila material.

4. Fysiska riskkällor

4.1 Typer av övertrycksrisker

Övertryck hos komponenter i vakuumsystemet kan vara ett resultat av något av följande:

- införsel av högtrycksgas i systemet
- kompression av gas utförd av systemet
- plötslig temperaturökning av flyktig gas i systemet
- fasändring som leder till avlagring av fast restprodukt
- reaktioner inne i vakuumsystemet
- blockerat utlopp.

Andra möjliga orsaker:

4.2 Övertrycksatt pumputlopp

En vanlig orsak till ett övertrycksatt utlopp är en blockering eller begränsning i utloppssystemet. Detta kan leda till fel på pumpen eller andra komponenter i systemet.

Vakuumpumpar är kompressorer som är särskilt konstruerade för att drivas med höga förhållanden mellan utlopps- och intagskompression.

Utöver det potentiella övertrycket som skapas av pumpdriften kan införseln av komprimerad gas (t.ex. spol- eller spädningsgas) även övertrycksätta systemet om utloppssystemet är begränsat eller blockerat.

Om en pump är utrustad med gnistfällor eller annan utrustning som filter eller kondensorer på utloppssidan är det viktigt att utloppets baktryck inte överskrider den maximala gränsen som anges i vakuumsystemets bruksanvisning. Ett lämpligt underhållsprogram ska användas för att garantera att processavlagringarna inte blockerar utloppssystemet och gnistfällan. Om detta inte är praktiskt möjligt ska en trycksensor placeras mellan pumpen och brandspärren för att detektera blockering. Liknande konstruktioner ska användas på övrig utloppsutrustning, som filter och kondensorer.

Sublimering eller fasförändring kan leda till att fasta avlagringar blockerar processens ledningar och till en risk för övertryck.

Se bruksanvisningen som bifogas vakuumpumpssystemet för maximala och rekommenderade kontinuerliga baktryck för alla dina utloppskomponenter, inkluderat din vakuumpump. Konstruera utloppssystemet så att dessa gränsvärden uppfylls.

Se pumpens bruksanvisning för begränsningar under kontinuerlig drift.

4.3 Skydd mot övertryck i utloppet

Vi rekommenderar i allmänhet att pumpar körs med utloppet röranslutet till ett fritt ventilerat utloppssystem. Ditt utloppssystem kan emellertid innehålla komponenter som kan blockera eller begränsa systemet. I så fall måste du inkludera lämpliga metoder för att skydda mot övertryck. Till sådana metoder hör till exempel:

Komponent	Skyddsmetod
Ventil i utloppets rörledning	Koppla ihop ventilen så att den alltid är öppen när pumpen arbetar.

Komponent	Skyddsmetod
	Anslut en trycksäkerhetspassage.
Utloppsskrubber	Anslut en trycksäkerhetspassage.
	Anslut en tryckmonitor och koppla ihop den med pumpen så att pumpen stängs av när utloppstrycket är för högt.
Gnistfälla	Utloppstryckmätning.
	Mätning av differentialtryck
Oljedimfilter	Anslut en tryckutjämningsanordning.

Sammanfattningsvis, om trycket i utloppssystemet närmar sig det maximala tillåtna trycket:

- Minska trycket med en anordning i en gasbanan parallellt med blockeringen eller begränsningen.
- Minska tryckkällan. Stoppa pumpen eller stäng av all tillförsel av komprimerad gas.

4.4 Intagsövertryck

4.4.1 Tillförsel av komprimerad gas och baktryck

Det är vanligt att underskatta det nödvändiga tryckvärdet för rörledningen som ansluter pumpen till vakuumsystemet, eftersom man föreställer sig att denna rörledning inte kommer utsättas för mer än atmosfäriskt tryck. I praktiken är detta bara sant under normalt utformade driftvillkor. Det nödvändiga tryckvärdet ska anpassas för att tillåta högre tryck som orsakas av onormala situationer eller felsituationer.

En vanlig orsak till övertryck i pumpintagets rörledningar är att komprimerad gas leds in (till exempel spolgaser) när pumpen inte körs. Om komponenterna i intagsrörledningen inte lämpar sig för de resulterande trycken, kommer rörledningen spricka och processgaser kommer att läcka från systemet. Ett bakflöde av gaser från systemet in i en processkammare som inte klarar att stå emot trycket orsakar även sprickor och läckage.

När du ansluter komprimerad gastillförsel till ditt system via tryckregulatorer som är konstruerade för att ge ett lågtrycksflöde ska du se till att trycket är inom systemets värden.

De icke-ventilerande tryckregulatorer som normalt används kommer att få trycket inom systemet att öka till trycket hos gasflödet till regulatorn, om de används under villkor där ingen processgas strömmar genom systemet. Du måste därför använda en av följande två metoder för att förhindra att övertryck uppstår:

- minska trycket, låt gaserna passera pumpen och strömma in i ett fritt ventilerat utlopp
- övervaka systemets tryck och använd en positiv låsventil för att stänga av tillförseln av komprimerad gas vid en förinställd trycknivå.

4.4.2 Felaktig pumpdrift

Särskilda hänsyn måste tas tills det har avgjorts att pumpen fungerar korrekt.

Om pumpens rotationsriktning är felaktig och pumpen drivs med intaget blockerat eller begränsat, kommer pumpen att skapa högt tryck i intagsrörledningen. Detta kan leda till skador på pumpen, rörledningar och/eller komponenter i rörledningen.

Använd alltid en blankningsplatta som fästs löst på skruvarna till pumpintaget, tills du har kontrollerat att pumpens rotationsriktning är korrekt.

Drift vid höga rotationshastigheter kan orsaka pumphaveri. Låt inte pumpen arbeta vid rotationshastigheter över den maximalt avsedda rotationshastigheten; detta är särskilt viktigt om frekvensomriktare används för hastighetskontroll.

4.5 Sammanfattning – fysiska riskkällor

- Kontrollera att hänsyn har tagits till samtliga systemkomponenter när du utför säkerhetsberäkningar.
- Kontrollera att pumputloppet inte kan blockeras eller begränsas.
- Om det finns risk för att det uppstår högt utloppstryck över tryckvärdet i någon del av vakuumsystemet rekommenderar vi att systemet innefattar en lämplig placerad tryckmätning. Utrustningen måste anslutas till ditt styrsystem för att försätta systemet i ett säkert läge om ett övertryck upptäcks.
- Ta hänsyn till onormala situationer och felsituationer när du uppskattar nödvändigt tryckvärde för vakuumsystemet och pumpkomponenter.
- Kontrollera att du inkluderar rätt typ av tryckutjämningsanordning, och att den är lämplig för användningen.
- Kontrollera att tillförseln av komprimerad gas är korrekt reglerad och övervakad. Stäng av tillförseln om pumpen stängs av.
- Kontrollera om möjligt att tillförseltrycket till reglerade rensningar är lägre än det maximalt tillåtna statiska systemtrycket. Kontrollera alternativt att tryckutjämning är möjlig vid komponentfel.

5. Riskanalys

Teknikerna för riskanalys ger ett strukturerat tillvägagångssätt vid identifiering och analys av riskerna i ett system vid normal användning, samt riskerna som kan uppstå vid fel och felsituationer. Sådana tekniker är en vägledning vid riskhantering; användningen av dessa tekniker kan i många fall vara ett obligatoriskt krav/lagkrav. För att vara helt effektiv måste riskanalysen börja under den första systemkonstruktionen och fortsätta genom installation och drift av systemet, samt genom underhåll och urdrifttagning av systemet.

En detaljerad studie av riskanalystekniker ligger bortom ramen för denna publikation. Det finns emellertid många tekniker för riskanalys beskrivna på annat håll. Ett exempel på en teknik som ofta används i den kemiska processindustrin är HAZOP (Hazard and Operability Study – risk och driftstudie). Detta är en procedur för riskanalys som syftar till identifiering av möjliga risker och driftproblem.

Vanligtvis ger riskanalys information om typen av risk, riskens allvar, och sannolikheten att risken inträffar. Informationen kan användas för att bestämma det bästa sättet att minska risken till acceptabla nivåer. Beroende på riskens ursprung kan det vara möjligt att helt eliminera risken eller att minska riskens allvar och/eller att minska risken att den inträffar. Det är emellertid ovanligt att risker kan elimineras helt.

Du måste överväga alla tänkbara konsekvenser av en risk, när du bestämmer dig för bästa sätt att hantera den. Till exempel utgör en liten het yta en mindre risk för användaren eftersom den kan orsaka brännskador. För att minska risken för brännskador kan systemkonstruktören montera en synlig varning på den heta ytan, eller placera ett skydd runt den heta ytan. Riskanalysen måste dock även indikera att samma heta yta kan antända brandfarliga ångor; detta kan leda till explosioner eller till utsläpp av giftiga ångmoln. För att minska risken för antändning måste systemkonstruktören minska den heta ytans temperatur eller kontrollera att de brandfarliga ångorna inte kommer i kontakt med den heta ytan.

6. Systemkonstruktion

6.1 Tryckvärden i ett system

Som diskuterats i *Fysiska riskkällor* på sidan 15 är vakuumsystemets rörledningar och komponenter konstruerade för att fungera med interna tryck under atmosfäriskt tryck. I praktiken är det emellertid oftast nödvändigt att konstruera systemet även för användning med interna tryck över atmosfäriskt tryck. Vid behov måste tryckutjämningsanordningar inkluderas för att förhindra att övertryck uppstår.

Det är viktigt att du inte låter intagsrörledningarna och andra intagskomponenter bli systemets svagaste delar, utifrån antagandet att de alltid arbetar i vakuum, även vid felsituationer.

Utloppssystem måste alltid konstrueras för att ge minsta möjliga baktryck till pumpen under drift. Det är emellertid viktigt att du konstruerar ditt utloppssystem med tillräckligt tryckvärde; det måste vara lämpligt för användning med de tryck som skapas av pumpen och exempelvis även av införsel av komprimerad gas i systemet, och lämpa sig för användning med de använda skyddsåtgärderna mot övertryck.

När du utför riskanalys ska du alltid ta hänsyn till:

- externa intag, exempelvis anslutningar för inert gas
- isolering och avskärmning från alla källor, i synnerhet i utloppsledningar
- reaktioner mellan processgaser.

Observera att om ett kärl innehåller flyktig vätska och kan isoleras från resten av systemet kan tillförsel av extern värme (till exempel från en eld) resultera i ett internt tryck som överskrider kärlets konstruktionstryck. Du måste ta hänsyn till behovet av lämplig tryckutjämning i detta fall.

6.2 Eliminering av stillastående volymer

En stagnerande volym är en volym i ett vakuumsystem eller en komponent som inte utsätts för genomströmmande gas. Exempel är växellådan hos en mekanisk boosterpump eller mät huvudet hos ett instrument. Ventilerad rördragning och intagsrör för kvävgas kan också bli stagnerande volymer när de isoleras

Hänsyn måste tas till stagnerande volymer vid beräkning av blandning och reaktion hos processgaserna som normalt inte finns tillsammans i processkammaren. Rör, pumpar och processkammare transporterar normalt gaser linjärt, med en gas eller gasblandning följd av en annan. Gaser som transporteras i ett sådant linjärt flöde blandas normalt inte, såvida inte hastigheten hos utloppsgasen minskas genom en begränsning eller blockering. En stagnerande volym töms inte och kan fyllas med processgaser när trycket i systemet stiger och faller. På så vis kan gaser som passerar genom systemet behållas vid ett steg i processen. Dessa kan sedan reagera med gaser från en senare processfas. Noggrann evakuering av kammaren mellan införseln av inkompatibla gaser skyddar mot explosionsrisker.

Särskild hänsyn måste tas vid korsförorening i stillastående volymer och när gaserna är potentiellt explosiva. I synnerhet måste du ta hänsyn till risken för uppbyggnad i filter, separatorer och andra komponenter. Använd kontinuerliga flöden av inert spolgas med hög integritet för att minska risken för korsförorening om möjligt.

Vid pumpning av brandfarliga material är det möjligt för stillastående volymer att fyllas med potentiellt explosiva gaser eller ångor som inte kan avlägsnas genom normal rensning. Om

det även kan finnas en antändningskälla i närheten ska specifik rensning av stillastående volymer övervägas.

6.3 Extraktionssystem för utloppet

Det är viktigt att du använder rätt slags utloppsextraktionssystem för din process. Som tidigare nämnts måste evakueringsystemet vara utformat för att klara drifttrycket, samt, när farliga material produceras eller bearbetas, vara tillräckligt läcka-tätt för att innesluta processmaterialet och dess biprodukter och förhindra farliga utsläpp i atmosfären.

6.4 Källor till potentiellt explosiva gas- eller ångblandningar

När en brandfarliga gas eller ånga blandas med rätt koncentration syrgas eller annan lämplig oxidant, kommer den att bilda en potentiellt explosiv blandning som antänder i närvaro av antändningskälla.

Det är oftast tydligt om ett pumpat material är potentiellt explosivt, men enligt Edwards erfarenhet uppstår vissa situationer där en potentiellt explosiv blandning skapas på grund av förutsättningar som inte förutses när systemet för processen konstrueras. Du måste identifiera alla möjliga processförhållanden och källor till potentiellt explosiva blandningar som kan skapas av din utrustning. Vissa exempel från Edwards erfarenhet listas nedan, men listan är långt ifrån uttömmande:

- **Korsförorening** – När en vakuumpump används i flera syften kan dess användning med ett visst material vara säker, men om pumpen inte töms innan den används med ett annat material kan korsförorening ändå inträffa med oväntade reaktioner.
- **Rengöringsvätskor** – En användning kan ses som säker, men användning av brandfarliga rengöringsvätskor och efterföljande torkning genom evakuering via vakuumpumpen kan skapa en potentiellt explosiv blandning.
- **Oväntad material** – Vid "husvakuum"-uppgifter där vakuumpumpen används för att ge ett fördelat vakuumsystem är det möjligt att pumpa brandfarliga material som inte avsågs vid systemkonstruktionen. Dessa material kan ha temperaturer för självantändning som är lägre än vakuumpumpens interna temperaturer eller temperaturvärden.
- **Upplösta ångor** – Dessa kan uppstå under processkörning. Var därför noga med att välja korrekt intern temperaturvärde för din process. Detta täcks normalt av ATEX-kraven inom den kemiska processmarknaden.
- **Luftläckage** – Oavsiktligt inläpp av luft eller oxidant i ett system kan förändra koncentrationen brandfarlig gas eller ånga och skapa en potentiellt explosiv blandning.
- **Brandfarligätättningsvätskor** – När brandfarlig vätska används som tättningsvätska i en vakuumpump med vätskering skapar inträngande luft en potentiellt explosiv intern blandning.
- **Kondenserade processmaterial** - Om det finns en möjlighet att brandfarliga material kondenseras i ditt system måste du vara medveten om att de kan reagera med oxidanter från andra processteg eller med luft (exempelvis från utloppet). Du kan undvika detta genom att använda lämplig temperatur eller partiell tryckreglering.

6.5 Undvika den brandfarliga zonen

Ett brandfarligt material skapar bara en potentiellt explosionsfarlig miljö om den kombineras med luft, syrgas eller andra oxidanter och dess koncentration ligger mellan den lägre

antändningsgränsen – Lower Flammability Limit, LFL (eller lägre explosionsgränsen – Lower Explosion Limit, LEL) och den övre antändningsgränsen – Upper Flammability Limit, UFL (eller övre explosionsgränsen – Upper Explosion Limit, UEL). Observera att den mesta informationen i litteraturen handlar om antändningsgränser i luft, d.v.s. när syre är oxidanten. All ytterligare information som ges nedan baseras på det antagandet.

För att vara potentiellt explosiv är det även nödvändigt för koncentrationen av syrgas att vara över minsta syrgaskoncentrationen – Minimum Oxygen Concentration, MOC (eller lägsta syrgaskoncentrationen – Lowest Oxygen Concentration, LOC). MOC (LOC) för majoriteten av brandfarliga gaser är 5 % vol. eller större. (Obs! Detta gäller inte pyrofora material som kräver särskilda åtgärder.)

Det finns ett antal strategier som kan användas för att undvika hantering av gasblandningar i den brandfarliga zonen. Valet av strategi beror på riskbedömningen (riskanalysen) för processen och pumpsystemet:

- **Bibehålla koncentrationen brandfarlig gas under LFL (LEL)**

För att minska risken att den brandfarliga gasen av misstag tränger in i den brandfarliga zonen, bör en säkerhetsmarginal för drift under LFL (LEL) användas.

En säkerhetsmarginal ska bestämmas av användaren efter en riskbedömning. Vissa myndigheter föreslår att koncentrationen ska bibehållas under 25 % av LFL (LEL).

Den vanligaste metoden för att bibehålla en lämplig koncentration under LFL (LEL) är spädning med spolning med inert gas (till exempel kväve), som leds in i pumpintaget och/eller rensningsanslutningar. Den nödvändiga integriteten hos spädningssystemet och eventuella larm eller kopplingar beror på riskzonen som skulle uppstå vid fel på spädningssystemet.

 **OBS:**

Säkerställ att lämpliga säkerhetsåtgärder vidtas för att undvika kvävningrisk.

- **Bibehålla koncentrationen syrgas under MOC (LOC)**

Detta driftläge kräver att syrgaskoncentrationen övervakas för de pumpade gaserna för att säkerställa säker drift. För att minska risken att den brandfarliga gasen av misstag tränger in i den brandfarliga zonen, bör en säkerhetsmarginal för drift under MOC (LOC) användas. Möjliga branschstandarder antyder att vid kontinuerlig övervakning av syrgaskoncentrationen, bör man bibehålla en syrgaskoncentration på mindre än 2 % vol. under den lägsta angivna MOC (LOC) för gasblandningen. Såvida inte MOC (LOC) är mindre än 5 % måste syrgaskoncentrationen bibehållas på inte mer än 60 % av MOC (LOC). Om övervakningen endast utförs i form av rutinkontroller av syrgasnivån ska syrgasnivån inte överskrida 60 % av den lägsta angivna MOC (LOC), såvida inte MOC (LOC) är mindre än 5 %, i vilket fall syrgaskoncentrationen måste bibehållas under 40 % av MOC (LOC).

Den föredragna metoden för att behålla syrgasnivåer nedanför den lägsta angivna MOC (LOC) är rigorös utestängning av luft och syrgas från processen och pumpsystemet, tillsammans med spädning av den pumpade gasen med en inert spolgas (t.ex. kväve), som vid behov leds in i pumpintaget och/eller rensningsanslutningarna. Den nödvändiga integriteten vid åtgärderna för utestängning av luft/syrgas och eventuella larm eller kopplingar beror på riskzonen som skulle uppstå vid fel på spädningssystemet.

Åtgärder som typiskt krävs för rigorös utestängning av luft från processen och pumpsystemet anges i slutet av detta avsnitt.

- **Bibehålla koncentrationen brandfarlig gas under UFL (UEL)**

Om koncentrationen brandfarlig gas är mycket hög kan drift över UFL (UEL) vara lämpligare. För att minska risken av oavsiktlig inträngning in i den brandfarliga zonen ska en säkerhetsmarginal för drift över UFL (UEL) användas. Den kvarvarande syrgasmängden i gasen bör förbli mindre än 60 % av den absoluta syrgasnivån som normalt finns vid den brandfarliga gasens koncentration UFL (UEL).

Den bästa metoden för att bibehålla syrgasnivån under denna säkerhetsmarginal är rigorös utestängning av luft och syrgas från processen och pumpsystemet. Spädning av den pumpade gasen med en inert spolgas (till exempel kväve) eller med ytterligare brandfarlig gas ("stoppnings"-gas) som leds in i pumpintaget och/eller rensningsanslutningarna kan också behövas. Den nödvändiga integriteten vid åtgärderna för utestängning av luft, eventuella införselsystem av spolgas, och eventuella larm eller kopplingar beror på riskzonen som skulle uppstå vid fel på utestängnings- och spädningssystemen.

- **Bibehålla koncentrationen av brandfarlig gas under det minsta explosionstrycket**

Allt brandfarligt material har ett minsta tryck under vilket en explosion inte är möjlig. Om inloppet på vakuumpumpen kan upprätthålla ett säkert tryck under detta tryck kommer antändningen som sker inne i vakuumpumpen inte att kunna sprida sig till inloppet. Dock måste säkerhetsåtgärder vidtas för vakuumpumpens utlopp.

Åtgärder som typiskt krävs för rigorös utestängning av luft från processen och pumpsystemet är följande:

- **Eliminering av luftläckage**

Använd en läckagedetektor eller utför ett tryckökningstest. Innan brandfarliga material släpps in i processkammaren är det möjligt att utföra ett test för att kontrollera att läckage av luft (syre) till vakuumsystemet ligger inom tillåtna gränser.

För att utföra ett tryckökningstest töms den tomma processkammaren till ett tryck strax under normalt drifttryck och isoleras sedan från vakuumpumpen. Trycket i processkammaren registreras sedan över en bestämd tidsperiod. Eftersom processkammarens volym är känd tillsammans med det maximalt tillåtna luftläckaget är det möjligt att beräkna en maximalt tillåten tryckökning som kan inträffa över en bestämd tidsperiod. Om denna maximala tryckgräns överskrids, måste åtgärder vidtas för att tätat läckaget av luft (syrgas) till processkammaren; testet måste sedan upprepas framgångsrikt innan brandfarliga material får släppas in i processkammaren.

I vissa fall kan förmågan hos vakuumsystemet att uppnå ett bra bastryck indikera systemets läckagetäthet.

- **Avlägsna all luft från systemet innan processen startas**

Innan brandfarlig gas släpps in i processen måste systemet tömmas helt och/eller rensas med inert gas (som kvävgas), så att all luft avlägsnas från systemet. Upprepa proceduren att rensa eventuell brandfarlig gas vid processens slut, innan systemet slutligen ventileras i luft.

- **För torra vakuumpumpar**

Kontrollera att eventuell axeltätningssgas eller tätningssgas för rensning inte under några omständigheter kan tillföras eller förorenas med luft, och kontrollera att eventuell gasballastport antingen är försluten eller bara används till att leda in inert gas.

- **För våta vakuumpumpar (t.ex. pumpar med rotationskolv eller rotationspannepumpar)**

Behåll axeltätningarna enligt tillverkarens instruktioner, och använd ett pumpat och trycksatt oljesmörjningssystem med en larmindikator för förlust av oljetryck. Detta system kan inkludera ett externt tillbehör som ger filtrerad och trycksatt smörjolja, med en tryckbrytare. Kontrollera att eventuell gasballastport antingen är försluten eller bara används till att leda in inert gas. Rensa inert gas till oljelådan, så att luften avlägsnas innan processen startas.

- **För vakuumbosterpumpar av Rootstyp**

Behåll den primära drivaxeltätningen enligt tillverkarens instruktioner, och kontrollera att eventuella rensnings- eller ventilationsportar bara kan användas till att leda in inert gas.

- **Omvänt flöde**

Kontrollera att systemets driftprocedurer och komponenter skyddar systemet från eventuellt omvänt luftflöde som kan orsakas av pumpfel. Kontrollera att all pumpad brandfarlig gas tas säkert om hand vid den slutliga tömningen från pumputloppet. Kontrollera att brandfarliga gasblandningar inte kan uppstå i utloppets rörledning med hjälp av lämplig inert spolning av rörledningen innan och vid slutet av den brandfarliga gasprocessen och med hjälp av lämplig inert gasrensning under drift, för att förhindra turbulent bakblandning av luft genom utloppet.

6.6 Nivåer för systemintegritet

Skyddsmetoder som använder inert gasspädning har diskuterats kort i tidigare avsnitt. Principen för metoden är att du blandar en inert gas (vanligtvis kväve) med dina processgaser för att späda dem till en nivå där en explosion eller reaktion inte kan inträffa. När du använder gasspädning som primärt säkerhetssystem för att skydda dig mot möjlig explosion kan du behöva ett larm med hög integritet och ett kopplingssystem för att förhindra systemdrift när gasspädningssystemet inte är i drift. Integriteten hos gasspädningssystemet ska vägas in under riskbedömningen (riskanalysen), och beror på den interna zonindelningen (d.v.s. risknivån) som skulle orsakas vid fel på systemet. Bästa tillgängliga metod ska användas vid riskbedömningen för att bedöma systemintegritetens nödvändiga nivåer.

Om till exempel ett spädningssystem används för att bibehålla en brandfarlig gaskoncentration utanför den brandfarliga zonen, och resultatet av spädningssystemfel skulle bli att den pumpade gasen skulle förbli inom den brandfarliga zonen kontinuerligt eller under långa tidsperioder (vanligen skulle kravet för ATEX zon 0 vara > 50 %) måste spädningssystemet tillgodose ett av följande:

- det måste vara felfritt även vid sällsynta fel
- det måste vara säkert vid två samtidiga fel
- det måste bestå av två oberoende spädningstillförselsystem.

Alternativt, om resultatet av spädningssystemfel blir att den pumpade gasen ibland hamnar i den brandfarliga zonen (vanligen ett ATEX zon 1-tillstånd) måste spädningssystemet tillgodose något av följande:

- det måste vara felfritt även vid förutsedda fel
- det måste vara säkert med ett närvarande fel.

Om resultatet av spädningssystemfel är att den pumpade gasen sannolikt inte skulle hamna i den brandfarliga zonen, eller skulle kunna göra det under kortare perioder (vanligen ett ATEX zon 2-tillstånd) måste spädningssystemet vara säkert vid normal drift.

6.7 Användning av skyddssystem med gnistfälla

Om blandningen av pumpade gaser och ångor är kontinuerligt brandfarlig (se [Undvika den brandfarliga zonen](#) på sidan 20) eller brandfarlig under långa perioder (d.v.s. zon 0-tillstånd) och om det finns risk för att en antändningskälla (se [Antändningskällor](#) på sidan 24) aktiveras under normal drift eller tänkbara fel måste du installera en brandspärre enligt krav på din primära pump (se även [Gnistfällor](#) på sidan 30). Certifiering från tredje part har erhållits för användning av specifika gnistfällor med Edwards vakuumpumpar. Denna styrker deras förmåga att förhindra brandöverföring längs processens rörledning eller in i den omgivande atmosfären.

När brandfarliga blandningar är närvarande under långa perioder måste en godkänd och testad temperatursensor installeras på inloppsgnistfällan för att upptäcka en kontinuerlig brand. Om en kontinuerlig brand upptäcks måste pumpen stängas av och isoleras från bränslekällan. Kontakta Edwards för råd om godkända gnistfällor och temperatursensorer. För att kunna skydda gnistfällan och pumpen temperaturmässigt vid ovanliga fel (zon 0) på pumpen måste en utloppstemperatursensor installeras i pumpens utlopp. Avstängningsställena beror på pumpsystemen. Se relevant ATEX-manual för pumpen.

Om temperatursensorn på antingen inloppet eller utloppet uppnår sin maxgräns och indikerar ett felaktigt tillstånd måste lämpliga åtgärder vidtas. Detta beror på användningen, men kan inkludera:

- **Stoppad bränsletillförsel** – Stängning av en ventil på intaget till vakuumpumpen förhindrar tillförseln av bränsle till vakuumpumpen.
- **Stoppad antändningskälla** – Stoppa vakuumpumpen genom att stänga av strömmen till motorn.
- **Invertera brandområdet** – Snabb tillförsel av inert gas till brandområdet (vanligen, men inte alltid i pumpens utblåsningsmunstycke), eliminerar branden. Observera att det är möjligt för brand att utbryta på nytt om antändningskällan inte avlägsnas.

6.8 Antändningskällor

Om vakuumpumpen används för att pumpa brandfarliga blandningar måste du överväga alla möjliga antändningskällor. Nedan anges några punkter som kan fungera som utgångspunkt för en total översikt. Beroende på din process kan du eventuellt undvika några eller alla antändningskällor. Om du inte kan undvika antändningskällan på grund av processförhållanden eller systemkrav måste du konstruera ditt system enligt följande:

OBS:

Vissa av Edwards pumpar är certifierade av tredje part för att bekräfta att de (vid korrekt användning) kommer att innesluta interna explosioner.

- **Mekanisk kontakt** – Mekanisk kontakt mellan roterande och fasta delar inne i vakuumpumpen och systemet kan utgöra en antändningskälla. Alla Edwards vakuumpumpar är konstruerade och byggda för att hålla korrekta arbetsavstånd inne i pumpen vid alla driftvillkor. För att undvika denna antändningskälla är det viktigt att undvika materialavlagring på invändiga ytor eller att rengöra pumpen. Lagren måste hållas i bra skick, ha tillräckligt med smörjmedel och lämplig spolgas för att eliminera kontakten med processgaser. De rekommenderade underhållsintervallen för lagren måste följas för att säkerställa säker och pålitlig drift.

- **Partikelintag** – Alla pumpmekanismer kan ta upp partiklar som skapats i processen eller som orsakats av systemets tillverkningsprocess. Om dessa rullas mellan en rörlig yta och en statisk kan värme skapas. En lämplig intagsskärm (nät) eller ett filter förhindrar att partiklar tränger in i vakuumpumpen och minskar storleken och mängden partiklar till en säker nivå. Var noggrann med att ha ett lämpligt underhållsschema för intagsskärmen.
- **Dammansamling** – Ansamling av fint, packat damm inom inre områden kan uppstå när en pumpmekanism är placerad på en process som producerar damm. Även med användning av intagsdammfilter är det möjligt för små dammpartiklar att komma in i pumpen. Med små dimensionsförändringar till följd av värmeförändringar kan packat damm vidröra rörliga ytor och skapa värme.
- **Kompressionsvärme (automatisk antändning)** – Den interna kompressionsvärmerna inom en kompressor måste beaktas i förhållande till temperaturer för självantändning av gaser eller ångor som pumpas. Du måste säkerställa att pumpen har en temperaturklassificering som åtminstone är samma eller högre än gasen som pumpas.
- **Heta ytor** – När brandfarliga gaser eller ångor tillåts komma i kontakt med en het yta kan de antändas om temperaturen för självantändning överskrids. OBS: Edwards pumpar och gnistfällor bör inte värmeisoleras om detta kan få ökade yttemperaturer internt (och externt) att orsaka självantändning.
- **Externt applicerad värme** – Externt applicerad värme kan till exempel uppstå vid eld i vakuumutrustningens omedelbara närhet. I sådana fall är det möjligt att interna tryck skapas utöver systemets maximala statiska tryck, och temperaturer över den för självantändning. Detta ska beaktas vid riskanalys för systemet.
- **Hett processgasflöde** – Höga intagsgastemperaturer kan få interna (eller externa) ytor att överskrida temperaturen för självantändning av materialen som pumpas. Höga intagsgastemperaturer kan även leda till att rotn/statorn skär sig. Se vakuumpumpens bruksanvisning för maximalt tillåtna interna gastemperaturer. Kontakta Edwards för ytterligare rådgivning.
- **Katalytisk reaktion** – Närvaron av vissa metaller kan orsaka katalytisk antändning. Alla konstruktionsmaterial i vakuumsystemet ska bedömas utifrån deras förmåga att reagera på detta sätt med pumpade gaser och ångor.
- **Pyrofor reaktion** – Förbränningsvärme från pyrofora material orsakad av att luft eller oxidanter tränger in kan fungera som en antändningskälla för eventuella närvarande brandfarliga material. Se [Pyrofora material](#) på sidan 11.
- **Statisk elektricitet** – Vissa situationer kan inträffa där statisk elektricitet byggs upp på isolerade komponenter innan de laddas ur till jord i form av en gnista. Potentialen för statisk uppbyggnad ska beaktas som del av systemkonstruktionen.
- **Blixt** – Vid placering utomhus kan ett blixtnedslag ge antändningsenergi. Möjligheten för att detta sker ska beaktas vid systemkonstruktionen.

6.9 Sammanfattning – systemkonstruktion

För att konstruera säkra vakuumpumpsystem måste följande punkter tas i beaktande. Beroende på din tillämpning kan det även finnas andra punkter.

- Om du pumpar farliga material måste systemet utformas för att förbli säkert vid fel.
- Använd PFPE-smörjmedel (perfluorpolyeter) i pumpar när du pumpar oxidanter.
- Om inert gas används för att minska koncentrationen brandfarlig gas till under explosions- eller antändningsgränsen eller under minimivärdet eller lägre för

oxidantkoncentrationer måste du säkerställa integriteten hos tillförseln av inert gas.

- Koncentrationen kan också hållas över den övre explosions- eller antändningsgränsen, men lämpliga säkerhetsåtgärder behöver i så fall installeras för att säkerställa att koncentrationen inte kan falla inom antändningsintervallet.
- Läckagetesta systemen och utrustningen för att kontrollera tillåten läckagetäthet före användning.
- Späd pyrofora gaser till säkra nivåer med en inert gas innan gaserna släpps ut i atmosfären eller blandas med oxiderande gaser.
- Ingen kontakt får ske mellan natriumazid och tungmetaller någonstans i systemets gasbana.
- Systemets maximala tryck får aldrig överskrida den enskilda säkerhetsnivån för någon del av systemet.
- Du måste konsultera den bifogade säkerhetsinformationen för ämnen du tänker pumpa.
- Överväg användning av torrpumpar istället för oljetätade rotationspumpor eller kolvpumpar när det finns risker associerade till oljan i den tömda volymen.
- När Edwards vakuumpumpar används för att pumpa potentiellt brandfarliga blandningar måste alla möjliga antändningskällor beaktas och potentiella konsekvenser av en möjlig explosion.

7. Rätt val av utrustning

För att kontrollera att du valt rätt utrustning för ditt syfte måste du beakta gränserna för systemets användning. Tekniska data för Edwards utrustning anges i produktkatalogen, marknadsföringsmaterial och i utrustningens bruksanvisning(ar). I de flesta fall kan ytterligare information fås mot förfrågan; Kontakta Edwards för ytterligare rådgivning.

Ta hänsyn till relevanta mekaniska pumpparametrar när du konstruerar ditt vakuumsystem. Exempel på dessa är:

- maximalt statiskt tryck (intag och utlopp)
- maximalt drifttryck för intaget
- maximalt utloppstryck vid drift
- konduktans för intagets och utloppets komponenter
- tryckspecifikation för andra komponenter som monterats på pumpen
- tryckövervakning om utloppsledningen blockeras.

För oljetätade rotationsspannor och kolvpumpar måste du även ta hänsyn till exempelvis:

- gasballastens flödes hastighet
- oljelådans rensningsflödes hastighet
- gaser och ångor som fångats i oljelådan
- gaser och ångor som absorberats i oljelådan.

Det maximala statiska trycket definierar det maximala trycket som en intags- eller utloppsanslutning hos en pump kan utsättas för när pumpen inte körs. Trycket beror på pumpens mekaniska konstruktion.

Pumpar med oljetätade rotationsspannor och kolvpumpar är konstruerade för att användas med ett intagstryck lika med eller under atmosfäriskt tryck, och även om det maximala statiska trycket kan vara över atmosfäriskt tryck, får det maximala intagstrycket hos pumpen när den körs, inte vara över atmosfäriskt tryck. Vissa tillverkare begränsar det kontinuerliga intagstrycket hos sina pumpar till tryck som ligger under atmosfäriskt tryck. Det maximala intagstrycket för pumpar i drift kallas det maximala drifttrycket.

Anledningen till att det maximala drifttrycket är begränsat beror inte nödvändigtvis på pumpens mekaniska egenskaper. Det maximala trycket står vanligtvis i proportion till kraftanvändning hos pumpen vid höga intagstryck, och är knutet till risken för överhettning hos pumpens mekaniska komponenter och elmotor.

Av liknande skäl rekommenderar vi att du håller utloppstrycket hos din vakuumpump så lågt som möjligt (vanligt lika med eller under 0,15 bar, $1,15 \times 10^5$ Pa, vid kontinuerlig drift). Pumpar är konstruerade för att köras med obegränsade utlopp, och ett utloppstryck på 0,15 bar ($1,15 \times 10^5$ Pa) är normalt högt nog för att driva utloppsgaser genom utloppets extraktionssystem och behandlingsutrustning.

7.1 Oljetätade rotationsspannor och kolvpumpar

Edwards oljetätade rotationspumpar inkluderar E1M-, E2M-, ES- och RV-serierna rotationsspannepumpar, samt Stokes Microvac-serien oljetätade kolvpumpar. I allmänhet är alla vakuumpumpar konstruerade för att köras med intagstryck under atmosfäriskt tryck och med pumputlopp som ventileras fritt i atmosfären.

Oljetätade rotationsspannor och kolvpumpar är positiva displacementpumpar och kan skapa mycket höga utloppstryck om utloppet blockeras eller begränsas. I dessa fall kan trycken

överskrida det säkra statiska trycket för pumpens oljelåda samt, i många fall, de säkra statiska trycken hos nedströmskomponenter i systemet (exempelvis polypropylen-skrubbar eller vakuumleder med O-ringar). Därför rekommenderar Edwards starkt att du installerar en utloppstrycksensor med hög integritet i pumpens utloppsledning.

För att nå en säker spädningsnivå kan gasballasten förbättras genom en oljelådesrensning (om tillgängligt) som är ansluten till oljelådan på pumpen. En ökning av gasballasten och oljelådans rensningsflödes hastighet ökar mängden olja som överförs till utloppssystemet.

Alla Edwards oljetätade pumpar har avsevärda oljelådesvolymmer som kan innesluta brandfarliga och explosiva gasblandningar. Oljan i oljelådan kan effektivt absorbera eller kondensera ånga och gasformiga biprodukter. Ångor och gaser som fångas i oljan kan vara pyrofora eller giftiga. Du måste därför hantera dem enligt särskilda procedurer för att garantera säkerhet vid underhåll.

7.2 Edwards torrumpar

Det maximala drifttrycket begränsas av samma faktorer som påverkar de oljetätade pumparna (d.v.s. den potentiella risken för överhettning av pumpens mekaniska komponenter eller elmotor).

Edwards torrumpar är positiva displacementpumpar som kan skapa höga utloppstryck. När pumparna inordnas i ett system där processen kan skapa fasta biprodukter (och det alltså finns en risk för blockering av utloppsledningen) rekommenderar Edwards starkt att du monterar en utloppstryckmonitor med hög integritet. Se pumpens bruksanvisning för korrekt drifttryck som brytarna ska ställas in på.

Edwards torrumpar har en hög kapacitet för genomströmning av gasballast. Tillförseln av en spädningsgas som t.ex. kväve kan ske in till pumpmekanismen för att optimera reaktionsdämpningen. Se pumpens bruksanvisning för gasrensningens flödes hastighet.

7.3 Rörledningskonstruktion

7.3.1 Klockor

Klockor är korta komponenter med tunna väggar och djupa håligheter. De används för att minska överföringen av vibrationer från en pump till vakuumsystemet.

Montera alltid klockor i en rak linje med båda ändarna väl fästa. Vid korrekt montering kan klockorna motstå ett mindre positivt internt tryck (se bruksanvisningen som bifogas dina klockor för mer information). Använd inte klockor på torrumpsutlopp; använd gördlade flexibla rörledningar (se [Flexibla rörledningar](#) på sidan 28).

Beakta risken för utslitna klockor när de används i en återkommande cykel.

7.3.2 Flexibla rörledningar

Flexibla rörledningar har ett tjockare väggavsnitt och grundare håligheter än klockor. Flexibla rörledningar erbjuder ett enkelt sätt att ansluta vakuumsystemets komponenter och hjälper till att kompensera för bristande passform och små rörelser i rigida vakuumsrörledningar. Flexibla rörledningar kan formas till relativt snäva krökar och sitter kvar på plats.

Flexibla rörledningar är avsedda att monteras i statiska system. De är inte lämpliga för upprepade böjningar, vilket kan leda till slitagefel.

Använd kortast möjliga längd när du använder flexibla rörledningar, och undvik onödiga böjningar. För tillämpningar där höga utloppstryck kan uppstå bör gördlade flexibla rörledningar användas.

Gördlade flexibla rörledningar är klockor med en yttre skyddande gördel av vävd rostfri stål. När du installerar en gördlad flexibel rörledning måste du följa den minsta böjningsradien som anges i bruksanvisningen som följer med den gördlade flexibla rörledningen.

7.3.3 Förankringspunkter

Du måste förankra rörledningar och rörledningskomponenter korrekt. Om till exempel klockor förankras felaktigt kommer de inte minska vibrationerna som skapas av pumpen, och detta kan orsaka slitage i rörledningarna.

7.3.4 Tätningar

När det finns en risk för positivt tryck i någon del av vakuumsystemet (även vid felsituationer) måste du använda tätningar och material som kan motstå det förväntade vakuumet och positiva tryck.

7.4 Fysiskt övertrycksskydd

Som diskuterats tidigare kan övertryck orsakas av en begränsning eller blockering i ditt system eller en av dess komponenter. Övertrycket kan inträffa till följd av komprimerat gasflöde från pumpen eller från extern komprimerad gastillförsel (som de för spädningssystemet). Det finns två huvudmetoder för övertrycksskydd för system, nämligen tryckutjämning och övertryckslarm/utlösning. Dessa beskrivs i följande stycken.

7.4.1 Tryckutjämning

Du kan använda sprängbleck eller tryckutjämningsventiler för att utjämna ett övertryck. Anordningens drifttryck måste ligga under systemets avsedda tryckvärde. Du måste ansluta dessa anordningar med lämpliga rörledningar till ett område som saknar tömningsrestriktioner och där det är säkert att tömma dina processgaser. Om din process producerar fasta biprodukter måste tryckutjämningsanordningarna inspekteras regelbundet för att kontrollera att de inte är blockerade eller begränsade. Utformningen av sådana skyddsanordningar ska ta hänsyn till den påverkan som tryckpulsering har på livslängden hos sprängblecket eller ventilen.

7.4.2 Övertryckslarm/utlösning

Denna skyddsmetod används ofta av Edwards. Denna typ av skydd rekommenderas för alla system, men är eventuellt inte lämplig för system som producerar fasta biprodukter.

7.4.3 Tryckregulatorer

Det finns två huvudmetoder för tryckreglage: ventilerande och icke-ventilerande.

Ventilerande regulatorer släpper ut gas i atmosfären eller till en separat ventilationsledning för att upprätthålla ett konstant utloppstryck under icke-strömmande förhållanden. Ventilerande regulatorer används i allmänhet när rörledningarnas integritet är av största betydelse.

Icke-ventilerande regulatorer kan bara upprätthålla ett konstant utloppstryck under strömmande förhållanden.

Under icke-strömmande förhållanden kan utloppstrycket för vissa regulatorer stiga till nivån hos tillförseltrycket. Ökningstakten beror på regulatorns egenskaper och volymen till vilken utloppet är ansluten. Denna ökning kan ta från ett par minuter till flera månader.

Tryckregulatorer är inte konstruerade som avstängningsventiler, och måste användas i kombination med en lämplig isolationsanordning (exempel en magnetventil) när isolering krävs. Alternativt måste åtgärder vidtas för att säkert ventiler övertryck.

7.4.4 Gnistfällor

Gnistfällor är inte explosionshindrande anordningar. De är konstruerade för att förhindra att en brandfront rör sig genom ett rör eller en ledning (se [Användning av skyddssystem med gnistfälla](#) på sidan 24). Gnistfällor erbjuder en stor yta och små ledningshål till brandfronten, och kväver på så vis elden. Gnistfällor är normalt bara lämpliga i system som används för rena gaser eller ångor.

Den explosiva energin hos gasblandningar ökar med trycket. Flertalet gnistfällor konstrueras för att skydda områden där det interna trycket inte överskrider det atmosfäriska trycket. Du måste kontrollera att driftrycket i utloppets extraktionssystem som leder fram till gnistfällan inte överskrider maximalt driftryck. Om spärrarna är certifierade för användning med Edwards torra vakuumpumpar för kemiindustrin, bör du emellertid konsultera ATEX-bruksamvisningen där maximalt tillåtna tryck anges. Du måste även beakta maximalt tillåtet baktryck hos din vakuumpump.

Gnistfällor fungerar genom att de avlägsnar förbränningsvärmens från brandfronten, och de har därför en maximal temperatur för säker användning. Du får inte låta denna temperatur överskridas genom spåruppvärmning, isolering eller temperaturen hos gasen som passerar genom dem.

Gnistfällans kapacitet för att stoppa en brand beror på brandfrontens hastighet, vilken i sin tur beror på brandfrontens avstånd från antändningskällan. Vid användning tillsammans med Edwards Chemical vakuumpumpar ska de kopplas nära till intag och utlopp. Användningen av böjar och T-stycken mellan pumpen och spärren är acceptabel under vissa villkor för en del pumpar. Kontakta Edwards för rådgivning.

7.5 Rensa systemen

Spolningssystem med inert gas kan fästas i utrustningen för att avlägsna kvarvarande processgas i systemet efter processcykelns slut.

Korrekt användning av rensning garanterar att korrosiva produkter avlägsnas, så att de hindras från att skada pumpen och framförallt från att skada skyddssystem som gnistfällor. Dessutom garanterar avlägsnandet av processgaser att oönskade och potentiellt farliga kemikaliska reaktioner inte uppstår mellan material som används i olika processcykler.

7.6 Sammanfattning – rätt val av utrustning

- Välj rätt slags utrustning för din tillämpning.
- Inkludera alla nödvändiga säkerhetsanordningar för att garantera säkerheten vid eventuellt fel.
- Eliminera stillastående volymer.
- Kontrollera att systemet kontrolleras och regleras på lämpligt sätt.
- Anslut tryckutjämningsanordningar vid behov.
- Använd gnistfällor vid behov.
- Läckagetesta systemen och utrustningen före användning.

8. Driftprocedurer och utbildning

Utrustningens driftsäkerhet förbättras av korrekt utbildning, tydliga instruktioner och regelbundet underhåll. Det är viktigt att all personal som använder vakuumutrustning är korrekt utbildade och, vid behov, övervakade.

Kontakta oss för rådgivning, om du är osäker på något moment i drift eller säkerhet som gäller Edwards-utrustning.

9. Sammanfattning

- Utför en riskbedömning för att identifiera alla risker, och om möjligt eliminera och annars begränsa riskerna. Detta behöver göras vid utformning, konstruktion, idriftsättning, drift, underhåll och urdrifttagning av vakuumsystemet.
- Ta hänsyn till alla möjliga kemiska reaktioner inom ditt system. Skapa beredskap för onormala kemiska reaktioner, inklusive sådan som kan inträffa vid felsituationer.
- Se materialdatablad/materialsäkerhetsdatablad när du bedömer potentiella risker för dina processmaterial, till exempel självantändning.
- Använd spädningstekniker för att minimera reaktioner med oxidanter och brandfarliga material.
- Använd rätt slags smörjmedel i pumpen när du pumpar oxidanter och pyrofora material.
- Använd inte tungmetaller i gasbanan i ditt pumpsystem om du i processen använder eller producerar natriumazid.
- Kontrollera att hänsyn har tagits till samtliga systemkomponenter när du utför säkerhetsberäkningar. Kontroller att du tar hänsyn till onormala situationer och felsituationer.
- Kontrollera att du inkluderar rätt typ av tryckutjämningsanordning, och att den är lämplig för användningen.
- Kontrollera att utloppsblockering inte kan inträffa.
- Kontrollera att spädningsgaserna är korrekt reglerade och övervakade.
- Om du pumpar farliga material måste systemet utformas för att förbli säkert vid fel.
- Använd olja och smörjmedel av PFPE-typ (perfluorpolyeter) när du pumpar oxidanter.
- Använd en inert gas för att späda brandfarliga och pyrofora gaser till säkra nivåer eller säkerställ att du ligger över den övre antändnings-/explosionsgränsen med tanke på lämpliga säkerhetsfaktorer för alla processförhållanden, inklusive fel.
- Systemets maximala tryck får aldrig överskrida det maximala tryckvärdet för någon del av systemet.
- Överväg användning av torrpumpar istället för oljetätade pumpar när det finns risker associerade till oljan i den tömda volymen.
- Eliminera stillastående volymer.
- Kontrollera att systemet kontrolleras och regleras på lämpligt sätt.
- Använd gnistfällor vid behov.
- Läckagetesta systemen och utrustningen före användning.

