



Vakuumske črpalke in sistemi

VARNOSTNI PRIROČNIK

Obvestilo o avtorskih pravicah

© Edwards Limited 2019. Vse pravice pridržane.

Vsebina

1. Uvod	5
1.1 Vsebina te publikacije	5
1.2 Tveganje eksplozij	5
2. V primeru nevarnosti	7
2.1 Načrtovanje	7
2.2 Izvedba	7
2.3 Delovanje/začetek obratovanja	7
2.4 Vzdrževanje/prenehanje obratovanja	8
3. Kemijski vzroki nevarnosti	9
3.1 Kemijske reakcije in eksplozije	9
3.1.1 Homogene reakcije	9
3.1.2 Heterogene reakcije	9
3.2 Težave z nenormalnimi reakcijami	9
3.3 Eksplozijske nevarnosti	10
3.3.1 Oksidanti	10
3.3.2 Vnetljive/eksplozivne snovi	11
3.3.3 Piroforne snovi	11
3.3.4 Natrijev azid	12
3.4 Toksične ali jedke snovi	12
3.4.1 Toksične snovi	12
3.4.2 Jedke snovi	13
3.5 Povzetek – kemijski vzroki nevarnosti	13
4. Fizikalni vzroki nevarnosti	15
4.1 Vrste nevarnosti zaradi nadtlaka	15
4.2 Nadtlak v izpustu črpalke	15
4.3 Zaščita pred nadtlakom v izpuhu	15
4.4 Nadtlak v dovodu	16
4.4.1 Dovodi stisnjenih plinov in protitlak	16
4.4.2 Nepravilno delovanje črpalke	16
4.5 Povzetek – fizikalni vzroki nevarnosti	17
5. Analiza nevarnosti	18
6. Zasnova sistema	19
6.1 Tlačne stopnje sistema	19
6.2 Odstranitev zaostalih volumnov	19
6.3 Izpušno-izločevalni sistem	20
6.4 Viri potencialno eksplozivnih mešanic plinov ali hlapov	20

6.5	Kako se izogniti območju vnetljivosti.	20
6.6	Ravni zanesljivosti sistema.	23
6.7	Uporaba zaščitnih sistemov z odvodniki plamena.	24
6.8	Viri vžiga.	24
6.9	Povzetek – načrtovanje sistema.	25
7.	Izbira pravilne opreme.	27
7.1	Rotacijske lamelne in batne črpalke z oljnim tesnjenjem.	27
7.2	Suhe črpalke Edwards.	28
7.3	Zasnova cevovoda.	28
7.3.1	Spojke.	28
7.3.2	Gibki cevovodi.	28
7.3.3	Sidrne točke.	29
7.3.4	Tesnila.	29
7.4	Fizična zaščita pred nadtlakom.	29
7.4.1	Razbremenitev tlaka.	29
7.4.2	Opozorilo/izklop pri nadtlatku.	29
7.4.3	Regulatorji tlaka.	29
7.4.4	Odvodniki plamena.	30
7.5	Sistemi čiščenja.	30
7.6	Povzetek – pravilna izbira opreme.	30
8.	Postopki delovanja in usposabljanje.	31
9.	Povzetek.	32

Podjetje Edwards Ltd zavrača vsakršno odgovornost in jamstvo v zvezi s točnostjo, izvajanjem, varnostjo in rezultati informacij ter postopkov oziroma njihovo uporabo, ki so opisani v tem priročniku. Podjetje Edwards Ltd ne sprejema nobene odgovornosti za kakršno koli izgubo ali škodo, ki izhaja iz zanašanja na informacije v teh navodilih oziroma iz kakršne koli netočnosti ali nepopolnosti teh informacij. Informacije v tem priročniku so izključno posvetovalne narave in čeprav podjetje Edwards podaja smernice v zvezi s potencialnimi nevarnostmi pri uporabi nevarnih snovi, je končni uporabnik odgovoren za izvedbo analize ocene tveganja ali nevarnosti glede na vrsto uporabe in okolje ter za skladnost z veljavnimi predpisi.

1. Uvod

1.1 Vsebina te publikacije

V tem dokumentu so varnostna navodila v zvezi s sestavnimi deli, načrtovanjem, delovanjem in vzdrževanjem vakuumskih črpalk in vakuumskih sistemov.

V tem dokumentu so opredeljene potencialne nevarnosti, do katerih lahko pride, vsebuje pa tudi navodila za zmanjšanje nevarnosti in ustrezne ukrepe, ko se nevarnost pojavi.

Ta dokument je namenjen vsem, ki se ukvarjajo s sestavnimi deli, načrti, vgradnjo, delovanjem ali vzdrževanjem vakuumskih črpalk in vakuumskih sistemov. Priporočamo, da se poleg tega dokumenta seznanite tudi z:

- navodili, ki jih dobite skupaj z opremo,
- informacijami dobaviteljev procesnih plinov in ostalih kemikalij v vašem proizvodnem postopku,
- informacijami vašega oddelka za varnost pri delu.



OPOZORILO:

Neupoštevanje varnostnih navodil v tem priročniku in ustreznem priročniku za uporabo črpalke lahko povzroči hude telesne poškodbe ali smrt.

Če potrebujete dodatne podatke o ustreznosti izdelkov Edwards za uporabo v vašem proizvodnem postopku ali v zvezi z varnostjo vakuumskih črpalk ali vakuumskih sistemov, se obrnite na dobavitelja ali podjetje Edwards.

1.2 Tveganje eksplozij

Opomba:

Črpalke Edwards izpolnjujejo zahteve evropske direktive ATEX za opremo, uporabljeno v potencialno eksplozivnih atmosferah.

Do nepričakovanih eksplozij prihaja zaradi neustreznega upoštevanja varnostnih smernic. Nekatere od teh eksplozij so izredno močne in lahko povzročijo hude telesne poškodbe ali smrt.

Najbolj pogost vzrok silovitega loma komponent vakuumskega sistema je vžig vnetljivih snovi ali ovira oz. blokada v izpuhu črpalke. Da se izognete tveganju in zagotovite varno delovanje vaših vakuumskih črpalk in sistemov, morate paziti na naslednje.

- Zagotovite, da so zmesi vnetljivih snovi in oksidantov zunaj območja vnetljivosti, razen če je sistem zasnovan za črpanje snovi v koncentracijah, pri katerih v vakuumski črpalci lahko pride do vžiga. To lahko dosežete prek čiščenja z inertnim plinom. Glejte [Kako se izogniti območju vnetljivosti](#) na strani 20.
- Poskrbite, da med delovanjem ne more priti do blokiranja odvoda z mehanskimi komponentami (npr. ventili in zasuni) ali snovmi v proizvodnem postopku. Isto velja tudi za stranske produkte, ki se nabirajo v ceveh, filtrih in drugih komponentah odvoda, razen če je sistem temu ustrezno zasnovan.
- Za mazanje mehanizmov črpalk, ki so izpostavljeni visokim koncentracijam kisika ali drugih oksidantov, uporabljajte le olja vrste PFPE (perfluoropolieterska). Druge

vrste olj, ki se prodajajo z oznako »nevljiva«, so lahko uporabne le pri koncentraciji oksidantov v prostornini do 30 % v/v.

- Zagotovite, da ne more priti do naključnega presežka tlaka zaradi zaprtja ali osamitve vakuumskega sistema; npr. zaradi napake v regulatorju tlaka ali krmilnem sistemu čiščenja.
- Če obstaja možnost reakcije ob stiku črpane snovi z vodo, priporočamo, da v hladilnem krogu namesto vode uporabljate npr. tekočino za prenos toplote. Za nasvet se obrnite na Edwards.

2. V primeru nevarnosti

Nevarnosti se lahko pojavljajo v vseh fazah življenjske dobe sistema. Te faze so:

- Načrtovanje
- Izvedba
- Delovanje/začetek obratovanja
- vzdrževanje/prenehanje obratovanja.

Spodaj so navedene težave, ki se pojavljajo v omenjenih fazah. Za vse primere pa velja, da lahko nevarnosti v sistemu zmanjšate le, če opremo in postopke/uporabo sistema zelo dobro poznate. Če ste v dvomih in potrebujete več podatkov ali nasvetov, se obrnite na dobavitelje.

2.1 Načrtovanje

Pri načrtovanju sistema in njegove uporabe morate izbrati ustrezno vrsto opreme.

Upoštevati morate:

- tehnično sestavo opreme,
- materiale, iz katerih je oprema izdelana,
- katere snovi se bodo uporabljale na opremi (npr. maziva, obratovalne tekočine);
- pogoje in proizvodne postopke obdelave snovi.

Poleg tega morate upoštevati tudi splošno ustreznost opreme za vašo uporabo in zagotoviti, da bo oprema vedno uporabljana le v predpisanih delovnih pogojih.

Določiti morate postopke načrtovanja. S tem zagotovite, da se možnosti napak pri načrtovanju zmanjšajo na minimum. V te postopke morate vključiti tudi neodvisen nadzor projektnih izračunov pa tudi svetovanje glede načrtovanih parametrov.

Tehnično poročilo vašega načrta mora vsebovati tudi analizo nevarnosti. Veliko potencialnih nevarnosti v sistemu lahko odpravite s preiščljeno uporabo opreme v njem.

2.2 Izvedba

Verjetnost, da se nevarnost pojavi med izvedbo, boste zmanjšali z uporabo kvalificiranega osebja in postopkov, ki zagotavljajo kakovost. Kvalificirano osebje je pri sestavljanju sistema sposobno izbrati in uporabljati ustrezne komponente, poleg tega pa je zmožno odkriti okvarjene ali slabo izdelane komponente oz. opremo. Uporaba preverjenih postopkov, ki zagotavljajo kakovost, vam bo pomagala pri določanju in popravilu slabo izdelanih mest in zagotovila strogo upoštevanje tehničnih določil načrta.

Osebje mora biti še posebej pazljivo in upoštevati vse varnostne ukrepe pri vgradnji nove opreme v sistem, v katerem se črpajo, izdelujejo ali so še vedno prisotne toksične, jedke, vnetljive, zadušljive, piroforne ali druge nevarne snovi.

Električno opremo mora vgraditi izurjeno/kvalificirano osebje v skladu z vsemi ustreznimi lokalnimi in državnimi električnimi predpisi.

2.3 Delovanje/začetek obratovanja

Med delovanjem lahko povzroči nevarnost odpoved opreme ali komponent zaradi izrabljenosti, neustrezne uporabe ali slabega vzdrževanja. Verjetnost take nevarnosti boste zmanjšali z usposabljanjem osebja za ustrezno uporabo in vzdrževanje opreme. Glede na

potrebe si pomagajte z informacijami, ki jih ponujajo Edwards in drugi dobavitelji v obliki priročnikov, usposabljanja in storitev po prodaji.

2.4 Vzdrževanje/prenehanje obratovanja

Da se prepreči stik osebja z nevarnimi snovmi pri vzdrževalnih delih na sistemu, v katerem se črpajo ali obdelujejo toksične, jedke, vnetljive, piroforne, zadušljive ali druge snovi, sta potrebni posebna pazljivost in izvajanje vseh varnostnih ukrepov.

Poskrbeti morate tudi za načrtovano izvajanje vzdrževalnih del ter varno odlaganje komponent, ki so lahko kontaminirane z nevarnimi snovmi. Za zagotovitev varnega in zanesljivega delovanja morate upoštevati nasvete o vzdrževanju, ki so podani v navodilih za uporabo celotne opreme. Za sisteme ATEX običajno veljajo dodatne zahteve.

3. Kemijski vzroki nevarnosti

3.1 Kemijske reakcije in eksplozije

Skrbno morate premisliti, do katerih kemijskih reakcij lahko pride v vseh delih vašega vakuumskega sistema pri normalni uporabi, napačni uporabi ali v primeru raznih okvar. Še posebej skrbno morate pretehtati reakcije, ki vključujejo pline in hlape, pri katerih lahko pride do eksplozije. Izkušnje so pokazale, da je do eksplozije prišlo zato, ker so bile udeležene snovi, ki jih prvotni načrtovalec sistema ni upošteval, poleg tega pa pri izbiri opreme ni bila upoštevana možnost take vrste napake.

3.1.1 Homogene reakcije

Do homogenih reakcij prihaja v plinastem stanju med dvema ali več vrstami plinastih molekul. Reakcije plinov z vžigom so ponavadi te oblike. Tako je npr. znano, da je reakcija med silanom (SiH_4) in kisikom (O_2) vedno homogena. Med delovanjem morate skrbno spremljati tlak postopka in koncentracije reaktanta, da se izognete prevelikim reakcijskim stopnjam.

3.1.2 Heterogene reakcije

Za nastanek heterogene reakcije mora biti prisotna trdna površina. Nekatere molekule plinov reagirajo le, kose vpijejo v površino, vendar pa ne reagirajo v plinastem stanju pri nizkem tlaku. Ta vrsta reakcije je idealna za nekatere postopke, saj minimizira učinke reakcij, do katerih prihaja v procesni komori, zmanjšuje količine delcev in znižuje verjetnost kontaminacije.

Večina heterogenih reakcij postane homogenih pri višjem tlaku, ki je ponavadi precej nižji od atmosferskega tlaka. To pa pomeni, da reakcije plinov v procesnih komorah ne bodo nujno podobne reakcijam teh istih plinov, ko jih stisne vakuumska črpalka.

3.2 Težave z nenormalnimi reakcijami

Nenormalne reakcije se lahko pojavijo, ko pridejo kemikalije v stik s plini ali snovmi, ki jih načrtovalec sistema ni predvidel. To se lahko zgodi v primeru puščanja, ko v sistem vstopijo atmosferski plini, ali pa ko toksični, vnetljivi, eksplozivni plini ali drugi nevarni plini iz sistema uhajajo zaradi netesnosti v atmosfero.

Da bi preprečili možnost nastanka takih reakcij, mora biti tesnost sistema 1×10^{-3} mbar l s^{-1} (1×10^{-1} Pa l s^{-1}) ali nižja. Pri uporabi visokega vakuuma je neprepustnost sistema običajno 1×10^{-5} mbar l s^{-1} (1×10^{-3} Pa l s^{-1}) ali nižja. Poleg tega morate zagotoviti, da so vsi sedeži ventilov sistema popolnoma neprodušni.

Do mešanja plinov, ki običajno ne pridejo v stik drug z drugim med procesnim ciklom, lahko pride v sistemu za črpanje ali izpušnem cevovodu.

Možno je tudi, da po rutinskem vzdrževalnem čiščenju ostanejo v procesni komori vodni hlapi ali čistilna raztopina. To se npr. lahko zgodi po pranju in čiščenju procesne komore. Vodni hlapi lahko vstopijo v sistem tudi prek odvodnih cevi in izpušne izpiralke.

Če se ostanki postopka izpirajo iz vakuumskega sistema s topilom, se morate prepričati, da izbrano topilo ustreza vsem snovem, ki sodelujejo v postopku v vakuumskem sistemu.

3.3 Eksplozijske nevarnosti

Izvori eksplozijske nevarnosti običajno spadajo v eno od naslednjih kategorij:

- Oksidanti
- Vnetljive/eksplozivne snovi
- Piroforne snovi
- natrijev azid.

Po zakonu morajo dobavitelji procesnih snovi v državah Evropske skupnosti objaviti fizikalne in kemijske podatke o spojinah, ki jih prodajajo (običajno v obliki varnostnih listov snovi). Ti podatki o snoveh morajo, glede na ustreznost, vključevati tudi zgornjo in spodnjo eksplozijsko mejo, fizikalne in termodinamične lastnosti snovi ter vse nevarnosti za zdravje, ki so povezane z uporabo teh snovi. Ti podatki naj vam bodo za vodilo.

3.3.1 Oksidanti

V vakuumskih sistemih se večkrat prečrpavajo oksidanti, kot so kisik (O_2), ozon (O_3), fluor (F_2), dušikov trifluorid (NF_3) in volframov heksafluorid (WF_6). Oksidanti zlahka reagirajo s celo vrsto spojin in snovi, pri čemer so rezultati takih reakcij ponavadi sproščanje toplote in povečan tlak plina. Potencialni nevarnosti sta torej izbruh ognja in povečanje tlaka v črpalki in/ali odvodnem delu sistema.

Da bi te pline varno črpali, morate upoštevati varnostna navodila dobavitelja plina in naslednja priporočila:

- V črpalkah za črpanje kisika, ki ima v inertnem plinu koncentracijo v prostornini nad 25 %, morate vedno uporabljati le maziva PFPE (perfluoropolieterska).
- Prav tako uporabite maziva PFPE v črpalkah, ki služijo za črpanje plinov, v katerih je delež kisika v koncentraciji običajno pod 25 %, vendar pa lahko preseže 25 % v primeru napake. Če se črpajo drugi oksidanti, se za priporočene ravni prisotnega oksidanta posvetujte z dobaviteljem maziva.
- Maziva PFPE imajo sicer prednost, vendar pa lahko uporabljate tudi ogljikovodikova maziva, če s čiščenjem z inertnim plinom preprečujete stik olja z nevarno stopnjo oksidanta.

V normalnih razmerah maziva PFPE ne bodo oksidirala ali se razgradila v rotacijski lamelni črpalki z oljnim tesnjenjem ali v oljni posodi batne črpalke ali v reduktorju, kar zmanjšuje možnost eksplozije.

Do toplotne razgradnje maziv PFPE lahko pride šele pri temp. 290 °C ali višji ob prisotnosti zraka in železo vsebujočih kovin. Vendar pa se toplotna razgradnja začne že pri temperaturi 260 °C, če so prisotni titan, magnezij, aluminij ali njihove zlitine.

Če v rotacijskih lamelnih črpalkah z oljnim tesnjenjem in batnih črpalkah nočete uporabiti maziv PFPE, morate oksidant razredčiti do varne stopnje z uporabo inertnega plina, kot je npr. suhi dušik. Vendar pa je to primerno le pri nizkih pretokih oksidacijskih plinov. V sistem morate vgraditi ustrezne varovalne naprave, ki vam bodo stalno zagotavljale minimalen pretok plina za redčenje za znižanje koncentracije oksidanta do varne stopnje, poleg tega pa morate tudi poskrbeti, da pretok oksidanta ne bo mogel preseči največje dovoljene stopnje pretoka. Sistem morate načrtovati tako, da se pretok oksidanta ustavi takoj, če ti pogoji niso izpolnjeni.

Priporočamo, da za prečrpavanje oksidantov uporabljate suhe črpalke Edwards (glejte [Suhe črpalke Edwards](#) na strani 28). V gibni prostornini suhih črpalk ni tesnilne tekočine, zato je verjetnost nastanka eksplozije veliko manjša, če pri obdelavi oksidantov uporabljate suho

črpalko. Pri uporabi maziva iz ogljikovodikov Edwards priporoča čiščenje ležajev in menjalnika z inertnim plinom.

3.3.2 Vnetljive/eksplozivne snovi

Veliko plinov in prahu, kot so vodik (H_2), acetilen (C_2H_2), propan (C_3H_8) in fino drobljeni silikonski prah, se lahko vname in/ali eksplodira v določenih koncentracijah v zraku, če obstaja vir vžiga. Vir vžiga se lahko hitro pojavi npr. zaradi lokalno nakopičene toplotne energije. Za podrobnejše informacije glejte [Viri vžiga](#) na strani 24.

Nevarnost eksplozije lahko zmanjšate tako, da zagotovite, da je koncentracija potencialno vnetljive zmesi zunaj območja vnetljivosti. Za podrobnejše informacije glejte [Kako se izogniti območju vnetljivosti](#) na strani 20.

Drug pristop za zmanjšanje verjetnosti nastanka eksplozije zahteva odstranitev virov vžiga. Za podrobnejše informacije glejte [Viri vžiga](#) na strani 24.

V primerih, ko se v nenormalnih okoliščinah ni mogoče izogniti območju vnetljivosti, mora biti oprema izdelana tako, da zdrži vsako možno eksplozijo brez loma ali prenosa plamena v atmosfero. Za podrobnejše informacije o odvodnikih plamena glejte [Uporaba zaščitnih sistemov z odvodniki plamena](#) na strani 24. Če je atmosfera vakuumskega sistema nevarna, morate zagotoviti, da vsa oprema ustreza tem pogojem.

Tak pristop predpisuje tudi evropska zakonodaja in sicer v direktivi ATEX o zasnovi in uporabi mehanske opreme v potencialnih eksplozivnih atmosferah.

Če se v vsakem primeru lahko izognete potencialno eksplozivni atmosferi, lahko za črpanje vnetljivih hlapov in plinov uporabite vse tipe vakuumskih črpalk Edwards.

3.3.3 Piroforne snovi

V večini pogojev piroforne plini, kot sta silan (SiH_4) in fosfin (PH_3), ali piroforne prahe spontano reagirajo z zrakom pri običajnem zračnem tlaku, zato lahko pride do vžiga kjerkoli, kjer ti plini pridejo v stik z zrakom ali drugim oksidantom, kjer je tlak dovolj visok, da povzroči vžig. Do tega lahko pride zaradi puščanja zraka v sistem ali če odvod sistema pride v stik z atmosfero. Toplota, ki nastane pri reakciji oksidanta in pirofornega plina, lahko postane vir vžiga za eksplozivne snovi.

Če se prek skupnega sistema za ekstrakcijo odvajajo izpušni plini iz različnih postopkov, lahko pride do vžiga in/ali eksplozije. Zato je priporočljivo, da pri črpanju piroforne snovi uporabljate ločene ekstrakcijske sisteme.

Postopki, v katerih se uporablja fosfor, lahko povzročijo, da v vakuumskem sistemu ali odvodnem delu sistema kondenzira fosfor v trdni obliki. Ob prisotnosti zraka in pod vplivom rahlega mehanskega tresenja (npr. vklop ventila ali vrtenje črpalke zaradi razlike tlakov) lahko fosfor spontano zagori, pri čemer se sproščajo strupeni plini. Priporočljivo je, da črpalke delujejo prek čiščenja z inertnim plinom in so dovolj vroče, da kondenzacijo fosforja znižajo na najnižjo raven.

Maziva PFPE lahko vpijejo procesne pline, kar v primeru piroforne snovi lahko privede do lokalnega vžiga, če mazivo pride v stik z zrakom. Ta nevarnost je še posebej velika med servisiranjem, ko se za piroforne plinom ali prahom prek sistema prečrpa oksidant. Verjetnost za pojav te nevarnosti lahko zmanjšate, če uporabljate suhe črpalke Edwards, ki v gibni prostornini ne vsebujejo maziv. Zagotoviti morate, da so vse piroforne snovi pred prezračevanjem ali ravnanjem z njimi pasivirane.

3.3.4 Natrijev azid

Natrijev azid se občasno uporablja za pripravo izdelkov za sušenje z zamrzovanjem in v drugih proizvodnih postopkih. Iz natrijevega azida lahko pridobimo vodikov azid. Hlapi vodikovega azida lahko reagirajo s težkimi kovinami in tvorijo nestabilne kovinske azide. Ti azidi lahko spontano eksplodirajo.

Med težke kovine spadajo:

• barij,	• kadmij,	• cezij,
• kalcij,	• baker,	• svinec,
• litij,	• mangan,	• kalij,
• rubidij,	• srebro,	• natrij,
• stroncij,	• kositer,	• cink,
• zlitine bakra in cinka (npr. medenina).		

Medenina, baker, kadmij, kositer in cink se pogosto uporabljajo v številnih komponentah vakuumskih črpalk, dodatni opremi in ceveh. Če v vašem procesnem sistemu uporabljate ali proizvajate natrijev azid, morate zagotoviti, da plinski vod v procesnem sistemu ne vsebuje težkih kovin.

3.4 Toksične ali jedke snovi

Vakuumska uporaba velikokrat vključuje obdelavo in ravnanje s toksičnimi in jedkimi snovmi, kar zahteva posebne postopke.

3.4.1 Toksične snovi

Toksične snovi so po svoji naravi nevarne za zdravje. Vendar je vrsta nevarnosti odvisna od snovi in njene relativne koncentracije. Pri delu s toksičnimi snovmi upoštevajte pravilne postopke ravnanja s snovmi, ki jih je določil dobavitelj, in veljavno zakonodajo.

Poleg tega upoštevajte tudi naslednje:

- **Redčenje plina** – določena oprema omogoča redčenje toksičnih procesnih plinov med njihovim prehajanjem skozi vakuumsko črpalko v izpuh. To razredčino lahko uporabite za zmanjšanje koncentracije pod mejo toksičnosti. Priporočamo, da nadzorujete dovod plina za redčenje, da odkrijete morebitno napako dovajanja. Glede morebitnih zahtev v zvezi s kompletom povratka za olje za črpalke z oljnim tesnjenjem glejte priročnik za uporabo črpalke.
- **Zaznavanje uhajanja** – vakuumski sistemi Edwards so običajno zasnovani kot neprepustni z ravno neprepustnosti $< 1 \times 10^{-3}$ mbar l s⁻¹ ($< 1 \times 10^{-1}$ Pa l s⁻¹). Vendar pa ni mogoče zagotoviti neprepustnosti ostalega sistema. Uporabiti morate ustrezno metodo za zaznavanje uhajanja (npr. odkrivanje uhajanja s helijevo masno spektrometrijo), da preverite celovitost vakuumskega in izpušnega sistema.
- **Tesnjenje gredi (suhe črpalke Edwards)** – številne suhe vakuumske črpalke uporabljajo sistem čiščenja s plinom, zato da procesni plini ne vstopijo v menjalnik in ležaje ter nato v atmosfero vakuumskega sistema. Pri ravnanju s toksičnimi snovmi morate zagotoviti stalen dovod tega plina. Uporabiti morate regulatorje brez odzračevanja v kombinaciji z varnostnim ventilom – za podrobnejše informacije glejte [Regulatorji tlaka](#) na strani 29.
- **Tesnjenje gredi (druge črpalke Edwards)** – tesnilo gredi, potopljeno v olju (npr. mehanske ojačevalne črpalke EH in rotacijske lamelne črpalke EM), zmanjša nevarnosti puščanja procesnih plinov (oz. vstop zraka) na najnižjo raven in nas

lahko pred nastankom nevarnosti o tem opozori (puščanje olja ali znižanje ravni olja). Druge vrste tesnil ne morejo ustrezno opozoriti na napako.

- **Magnetni pogoni** – kjer je potrebno popolno hermetično tesnjenje, se lahko uporablja suhe vakuumske črpalke Edwards EDP, opremljene z magnetnim pogonom s keramično posodo, zato tesnjenje gredi na vstopni gredi motorja ni potrebno.

Če za spuščanje nadtlaka uporabljate varnostne ventile ali razpočne plošče, zagotovite varno odvajanje prek ustreznega izpušnega sistema, ki preprečuje nevarnost zastrupitve.

Ko pošiljate kontaminirano vakuumsko opremo podjetju Edwards na servisiranje ali vzdrževanje, morate upoštevati posebne postopke (obrazec HS1) in izpolniti izjavo (obrazec HS2) v priročniku za uporabo, ki je priložen opremi.

3.4.2 Jedke snovi

Pri črpanju jedkih snovi z vakuumskimi črpalkami Edwards upoštevajte naslednje:

- **Vstop vlage** – posebno pozornost morate nameniti preprečevanju vstopa vlažnega zraka, ki lahko pospeši jedke učinke. Za spiranje jedkih snovi iz sistema pred izklopom uporabite čiščenje z inertnim plinom, ki naj bo del postopka izklapljanja.
- **Redčenje** – za preprečevanje kondenzacije jedkih snovi uporabljajte ustrezen inertni plin za redčenje in tako zmanjšajte korozijo.
- **Temperatura** – zvišajte temperaturo črpalke in izpušne cevi, da preprečite kondenzacijo vodnih hlapov in tako omejite korozijo. V nekaterih primerih lahko visoke temperature povišajo stopnjo korozije – več o tem preberite spodaj.
- **Korozivnost varnostne opreme** – kjer lahko varnostno pomembno opremo (elementi odvodnikov plamena, tipala temperature itd.) poškodujejo jedki produkti v pretoku procesnih plinov, mora biti oprema izdelana iz materialov, ki preprečujejo to nevarnost.
- **Fazne spremembe** – nenačrtovane fazne spremembe lahko povzročijo kondenzacijo. Če želite preprečiti to nevarnost, upoštevajte spremembe temperature in tlaka.
- **Nenačrtovane reakcije** – nenačrtovane kemijske reakcije lahko povzročijo nastanek jedkih produktov. Če se oprema uporablja za več namenov, skrbno preudarite možnost navzkrižne kontaminacije.

Nekatere jedke snovi, kot so fluor, klor, drugi halogeni ali halogenidi in oksidanti, kot je ozon, ali reducenti, kot je vodikov sulfid, lahko najedajo snovi, s katerimi pridejo v stik, tudi če ni prisotna nobena tekočina. V tem primeru je treba delni tlak jedke snovi kar najbolj zmanjšati z ustreznim plinom za redčenje. Material, iz katerega sta izdelana vakuumski sistem in črpalka, je treba izbrati glede na njegovo združljivost z določenim plinom in pričakovano koncentracijo tega plina. Visoke temperature lahko pospešijo korozijo, zato jih je treba, kjer je to dovoljeno, kar najbolj znižati. V intervalih vzdrževanja je treba upoštevati in preučiti učinek jedkih snovi na sistem.

3.5 Povzetek – kemijski vzroki nevarnosti

- Pretehtajte vse možne kemijske reakcije, do katerih lahko pride v sistemu.
- Upoštevajte verjetnost nenormalnih kemijskih reakcij, vključno s tistimi, do katerih lahko pride pri napakah.
- Pri ocenjevanju potencialnih nevarnosti v zvezi s procesnimi snovmi upoštevajte varnostne liste snovi.

- Za zmanjšanje reakcij z oksidanti in vnetljivimi snovmi na najnižjo raven uporabljajte tehnike redčenja.
- V državah Evropske unije, kjer je določeno območje vnetljivosti, morate uporabljati ustrezno vakuumsko črpalko, skladno z direktivo ATEX. Za druge regije v podjetju Edwards priporočamo uporabo črpalk, skladnih z direktivo ATEX, kjer je mogoče.
- Pri črpanju oksidantov uporabljajte ustrezno vrsto maziva in preučite, ali bi lahko uporabili tudi suho črpalko.
- Če vaš procesni sistem uporablja ali proizvaja natrijev azid, v plinskem vodu sistema ne uporabljajte težkih kovin.
- Pri ravnanju s toksičnimi, jedkimi ali nestabilnimi snovmi bodite posebej previdni.

4. Fizikalni vzroki nevarnosti

4.1 Vrste nevarnosti zaradi nadtlaka

Vzroki nadtlaka v komponentah vakuumskega sistema so lahko naslednji:

- vstop plina pod visokim tlakom v sistem,
- stiskanje plina v sistemu,
- nenadno zvišanje temperature hlapnega plina v sistemu,
- fazna sprememba, ki povzroči odlaganje trdnega izdelka,
- reakcija v vakuumskem sistemu,
- blokiran izpuh.

Mogoči so tudi drugi vzroki.

4.2 Nadtlak v izpustu črpalke

Pogost vzrok nadtlaka v izpuhu je blokada ali ovira v izpušnem sistemu. To lahko povzroči napako črpalke ali drugih komponent sistema.

Vakuumske črpalke so posebej zasnovani kompresorji, ki delujejo z velikim kompresijskim razmerjem med odvodom in dovodom.

Poleg morebitnega nadtlaka, ki nastane zaradi delovanja črpalke, lahko nadtlak v sistemu povzroči tudi vstop stisnjene plina (npr. plin za čiščenje ali plin za redčenje), če je izpušni sistem oviran ali blokiran.

Če je črpalka opremljena z odvodniki plamena ali drugo opremo, kot so filtri ali kondenzatorji v izpuhu, je pomembno, da protitlak v izpuhu ne presega največje mejne vrednosti, navedene v priročniku za uporabo vakuumskega sistema. Za zagotovitev, da procesne usedline ne blokirajo izpušnega sistema in odvodnika plamena, je treba uporabljati ustrezen način izvajanja vzdrževalnih del. Če tega ni mogoče izvesti, je za zaznavanje blokade treba uporabljati tlačno tipalo, nameščeno med črpalko in odvodnikom plamena. Podobno velja tudi za drugo izpušno opremo, kot so filtri in kondenzatorji.

Sublimacija ali fazna sprememba lahko povzroči blokado zaradi trdnih usedlin v procesnih ceveh in nevarnost zaradi nadtlaka.

Za največje in priporočene vrednosti stalnega protitlaka v vseh komponentah izpuha, vključno z vakuumsko črpalko, glejte navodila za uporabo, priložena vakuumskemu sistemu za črpanje. Izpušni sistem načrtujte tako, da bo skladen s temi mejnimi vrednostmi.

Za mejne vrednosti med neprekinjenim delovanjem glejte priročnik za uporabo črpalke.

4.3 Zaščita pred nadtlakom v izpuhu

Običajno priporočamo, da črpalke delujejo z izpuhom, povezanim s prosto prezračevanim izpušnim sistemom. Vendar so v izpušni sistem lahko vgrajene komponente, ki lahko povzročijo oviranje ali blokado sistema. V tem primeru morate uporabiti tudi ustrezne metode za zaščito pred nadtlakom. Te metode zajemajo naslednje ukrepe:

Komponenta	Zaščitni ukrep
Ventil v izpušnem cevovodu	Ventil priključite tako, da je med delovanjem črpalke vedno odprt.

Komponenta	Zaščitni ukrep
	Vgradite obvod za razbremenitev tlaka.
Izpušni čistilnik	Vgradite obvod za razbremenitev tlaka.
	Vgradite merilnik tlaka in ga povežite s črpalko, tako da se črpalka ob previsokem izpušnem tlaku izklopi.
Odvodnik plamena	Izmerite izpušni tlak.
	Izmerite razliko tlakov.
Filter razpršenega olja	Vgradite napravo za razbremenitev tlaka.

Za povzetek, če se tlak v izpušnem sistemu približa največjemu dovoljenemu tlaku, naredite naslednje:

- Zmanjšajte tlak z napravo v plinskem vodu, ki je vzporeden z oviro ali blokado.
- Zmanjšajte vir tlaka. Zaustavite črpalko ali izklopite dovode stisnjenih plinov.

4.4 Nadtlak v dovodu

4.4.1 Dovodi stisnjenih plinov in protitlak

Zahtevana tlačna stopnja cevovoda, ki povezuje črpalko in vakuumski sistem, se običajno prenizko oceni zaradi prepričanja, da cevovod ne bo izpostavljen tlakom, višjim od atmosferskega tlaka. V praksi to velja le v normalnih pogojih delovanja. Zahtevano tlačno stopnjo določite ob upoštevanju višjih tlakov, ki nastanejo zaradi nenormalnih pogojev ali napak.

Običajen vzrok nadtlaka v dovodnih cevovodih črpalke je vstop stisnjenih plinov, kot so plini za čiščenje, kadar črpalka ni v pogonu. Če komponente v dovodnem cevovodu ne ustrezajo nastalemu tlaku, počijo in procesni plini začnejo uhajati iz sistema. Odtekanje plinov iz sistema v procesno komoro, ki pa ne more vzdržati nastalega tlaka, prav tako povzroči razpoke in puščanje.

Ob priključitvi dovodov stisnjenega plina na sistem prek regulatorjev tlaka, ki omogočajo pretok z nizkim tlakom, se prepričajte, da je tlak v mejah tlačne stopnje sistema.

Če običajni regulatorji tlaka brez odzračevanja delujejo v pogojih, pri katerih se procesni plin ne pretaka po sistemu, povzročijo zvišanje tlaka v sistemu na raven tlaka v dovodu plina. Če želite preprečiti nastanek nadtlaka, morate uporabiti eno od naslednjih metod:

- Zmanjšajte tlak, da lahko plini obidejo črpalko in se pretakajo skozi prosto prezračevani izpušni sistem.
- Nadzorujte tlak v sistemu in uporabljajte pozitivni zaporni ventil, da prekinete dovod stisnjenega plina na prednastavljeni ravni tlaka.

4.4.2 Nepravilno delovanje črpalke

Dokler niste prepričani, da črpalka deluje pravilno, morate upoštevati posebne previdnostne ukrepe.

Če je smer vrtenja črpalke nepravilna in je dovod med delovanjem črpalke blokiran ali oviran, bo v dovodnem cevovodu nastal visok tlak. To lahko povzroči razpoke v črpalki, cevovodih in/ali komponentah cevovoda.

Dokler se ne prepričate, da je smer vrtenja črpalke pravilna, uporabljajte tesnilno ploščo, ki je z vijaki tesno privita na dovod črpalke.

Delovanje pri visoki vrtilni hitrosti lahko povzroči okvaro črpalke. Črpalka ne sme delovati z vrtilno hitrostjo, ki presega največjo konstrukcijsko določeno hitrost vrtenja; to je zlasti pomembno, če za nadzor hitrosti uporabljate frekvenčne pretvornike.

4.5 Povzetek – fizikalni vzroki nevarnosti

- Pri izračunavanju varnosti morate upoštevati varne delovne tlake vseh komponent sistema.
- Zagotovite, da ne more priti do blokade ali oviranja izpuha črpalke.
- Če obstaja tveganje visokega tlaka, ki presega tlačno stopnjo katerega koli dela vakuumskega sistema, priporočamo, da na ustrezno mesto v sistemu vgradite opremo za merjenje tlaka. Ta mora biti povezana s krmilnim sistemom, da lahko vakuumski sistem v primeru zaznanega nadtlaka preklopite v način varnega delovanja.
- Pri določanju zahtevane tlačne stopnje vakuumskega sistema in komponent črpalke upoštevajte nenormalne pogoje in morebitne napake.
- Prepričajte se, da je vgrajena pravilna vrsta naprave za tlačno razbremenitev, ki ima ustrezno nazivno vrednost za želeno uporabo.
- Zagotovite pravilno upravljanje in nadzor dovodov stisnjenih plinov. Če je črpalka izklopljena, izklopite tudi te dovode.
- Zagotovite, da je dovodni tlak upravljanega čiščenja nižji od največjega dovoljenega statičnega tlaka sistema, kjer je mogoče. V nasprotnem primeru zagotovite, da je ob morebitni napaki komponente omogočena razbremenitev tlaka.

5. Analiza nevarnosti

Tehnike analize nevarnosti omogočajo strukturiran pristop k določanju in analizi nevarnosti v sistemu pri normalni uporabi ter nevarnosti, do katerih lahko pride zaradi okvar ali napak. Te tehnike omogočajo obvladovanje nevarnosti, njihova uporaba pa je v številnih primerih lahko zakonsko/pravno obvezujoča. Za popolno učinkovitost analiz nevarnosti jih je treba začeti izvajati ob začetnem načrtovanju sistema ter s tem nadaljevati v fazi namestitve in delovanja ter pri vzdrževanju in prenehanju obratovanja.

Podrobnejša obravnava tehnik analize nevarnosti ni zajeta v tem priročniku. Vendar so številne tehnike analize nevarnosti opisane v drugih publikacijah. Primer pogosto uporabljane tehnike pri postopkih obdelave v kemijski industriji je HAZOP (Hazard and Operability Study – Študija delovanja sistema in virov nevarnosti). To je postopek analize nevarnosti, ki obravnava določanje potencialnih nevarnosti in težav delovanja sistema.

Običajno analize nevarnosti zagotavljajo informacije o vrsti nevarnosti, resnosti nevarnosti in verjetnosti njihovega nastanka. Te informacije je mogoče uporabiti pri odločanju o najučinkovitejšem načinu zmanjšanja vpliva nevarnosti na sprejemljivo raven. Odvisno od vira nevarnosti je mogoče odpraviti nevarnost oziroma zmanjšati resnost nevarnosti in/ali verjetnost njenega nastanka. Vendar pa je nevarnost le redko mogoče popolnoma preprečiti.

Pri odločanju o najučinkovitejšem načinu obvladovanja nevarnosti morate upoštevati vse njene možne učinke. Majhna vroča površina lahko na primer predstavlja manjšo nevarnost za upravljavca, da se opeče. Za zmanjšanje verjetnosti opeklin lahko načrtovalec sistema doda vidno opozorilo o vroči površini ali jo ustrezno ogradi z zaščito. Vendar lahko analiza nevarnosti sistema pokaže tudi, da je ta ista vroča površina lahko vir vžiga za vnetljive hlape; to lahko povzroči eksplozijo ali sproščanje strupenih hlapov. Za zmanjšanje verjetnosti vžiga mora načrtovalec sistema zmanjšati temperaturo vroče površine ali zagotoviti, da vnetljivi hlapi ne morejo priti v stik z njo.

6. Zasnova sistema

6.1 Tlačne stopnje sistema

Cevovodi in komponente vakuumskega sistema so zasnovani za delovanje z notranjim tlakom, nižjim od atmosferskega tlaka – za več informacij glejte *Fizikalni vzroki nevarnosti* na strani 15. Vendar je običajno v praksi treba sistem zasnovati tudi za uporabo z notranjim tlakom, ki je višji od atmosferskega tlaka. Če je treba, morate vgraditi naprave za razbremenitev tlaka, da preprečite nastanek nadtlaka.

Pomembno je, da ne dovolite, da bi dovodne cevi in druge dovodne komponente postale najšibkejši del sistema na podlagi domneve, da bodo vedno delovale v vakuumu, tudi v primeru napak.

Izpušni sistemi morajo biti vedno zasnovani tako, da črpalke med delovanjem omogočajo minimalen protitlak. Vendar je pomembno, da zasnova izpušnega sistema vključuje zadostno tlačno stopnjo; ta mora ustrezati tlaku, ki ga lahko proizvaja črpalka in npr. vstop stisnjene plina v sistem, ter uporabljenim zaščitnim ukrepom pred nadtlakom.

Pri izvajanju analize nevarnosti vedno upoštevajte naslednje:

- zunanje dovode, kot npr. priključke za inertni plin;
- izolacijo in omejitve vseh vrst, zlasti v izpušnih ceveh;
- reakcije med procesnimi plini.

Upoštevati je treba, da če posoda vsebuje hlapno tekočino in jo je mogoče izolirati od drugih delov sistema, lahko uporaba zunanje toplote (npr. zaradi ognja) povzroči notranji tlak, ki je višji od načrtovanega tlaka posode. V tem primeru morate premisliti o uporabi ustrezne razbremenitve tlaka.

6.2 Odstranitev zaostalih volumnov

Zaostali volumen je katera koli prostornina v vakuumski cevi ali komponenti, ki ni podvržena pretoku plina. To sta na primer menjalnik mehanske ojačevalne črpalke ali glava merilne naprave. Če so cevi z ventili in dovodne cevi z dušikovim plinom izolirane, lahko v njih prav tako nastanejo zaostali volumni.

Zaostale volumne morate upoštevati pri preučevanju mešanja in reakcije procesnih plinov, ki običajno niso skupaj prisotni v procesni komori. Cevi, črpalke in procesne komore pline običajno prenašajo linearno, pri čemer si plin ali mešanica plinov sledijo drug za drugim. Plini, ki se prenašajo v takšnem linearnem toku, se običajno ne mešajo, razen če hitrosti izpušnega plina ne zmanjša ovira ali blokada. Zaostali volumen ni očiščen in se lahko pri naraščanju in padanju tlaka v sistemu napolni s procesnimi plini. Plini, ki v določeni fazi postopka prehajajo skozi sistem, se na tak način lahko zadržijo v njem. Ti lahko nato reagirajo s plini iz naslednje faze postopka. Tveganje eksplozije lahko preprečite s temeljitim izčrpanjem procesne komore med vstopanjem nezdržljivih plinov.

Pri možni navzkrižni kontaminaciji v zaostalih volumnih in kadar so plini potencialno eksplozivni, morate biti posebej previdni. Zlasti upoštevajte nevarnost kopičenja v filtrih in ločilnikih ter drugih komponentah. Kjer je treba, uporabljajte visoko zanesljiv neprekinjeni tok inertnega plina za čiščenje, da zmanjšate verjetnost navzkrižne kontaminacije.

Pri črpanju vnetljivih snovi se zaostali volumni lahko napolnijo s potencialno eksplozivnimi plini ali hlapi, ki jih ni mogoče odstraniti z običajnim čiščenjem. Kjer je mogoča prisotnost vira vžiga, je treba premisliti o izvajanju posebnega čiščenja zaostalega volumna.

6.3 Izpušno-izločevalni sistem

Pomembno je, da za želeni postopek uporabljate pravilno vrsto izpušno-izločevalnega sistema. Kakor je bilo že prej omenjeno, mora biti izpušno-izločevalni sistem zasnovan tako, da vzdrži delovni tlak, pri proizvodnji ali obdelavi nevarnih snovi pa mora biti dovolj neprepusten, da zadrži procesne snovi in njihove stranske produkte ter tako prepreči nevarnost uhajanja v atmosfero.

6.4 Viri potencialno eksplozivnih mešanic plinov ali hlapov

Če so vnetljivi plini ali hlapi zmešani s pravilno koncentracijo kisika ali drugega ustreznega oksidanta, tvorijo potencialno eksplozivno mešanico, ki se lahko v prisotnosti vira vžiga vname.

Čeprav je v primeru črpanja potencialno eksplozivne snovi to razumljivo, izkušnje podjetja Edwards kažejo, da obstajajo nekateri pogoji, v katerih potencialno eksplozivna mešanica nastane zaradi pogojev, ki niso bili upoštevani pri načrtovanju sistema za želeni postopek. Določiti morate vse možne procesne pogoje in vire potencialno eksplozivnih mešanic, ki lahko nastanejo v vaši opremi. Spodaj je nekaj primerov podjetja Edwards, vendar seznam ni popoln:

- **Navzkrižnakontaminacija** – če vakuumsko črpalko uporabljate za več namenov, je njena uporaba s posameznimi snovmi verjetno varna, vendar če pred uporabo z drugimi snovmi črpalke ne očistite, lahko pride do navzkrižne kontaminacije z nepričakovanimi reakcijami.
- **Čistilnetekočine** – zdi se, da uporaba morda ni nevarna, vendar lahko vnetljive čistilne tekočine in sušenje z izčrpanjem prek vakuumske črpalke povzročijo potencialno eksplozivno mešanico.
- **Nepričakovanesnovi** – pri izvajanju opravil »centralnega vakuuma«, kjer je vakuumska črpalka uporabljena za distribucijo vakuumskega sistema, lahko pride do črpanja vnetljivih snovi, ki niso bile upoštevane pri načrtovanju sistema. Temperatura samovžiga teh snovi je lahko nižja od notranje temperature ali nazivne temperature vakuumske črpalke.
- **Raztopljenihlapi** – ti lahko nastajajo med postopkom, zato je treba previdno izbrati pravilno notranjo nazivno temperaturo za postopek. Na trgu kemijske predelave je to običajno obravnavano v zahtevah direktive ATEX.
- **Uhajanjezraka** – nenameren vstop zraka ali oksidanta v sistem lahko spremeni koncentracijo vnetljivega plina ali hlapov in ustvari potencialno eksplozivno mešanico.
- **Vnetljivetesnilnetekočine** – če je vnetljiva tekočina uporabljena kot tesnilna tekočina v vakuumski črpalki s tekočinskim tokokrogom, vstop zraka ustvari notranjo potencialno eksplozivno mešanico.
- **Kondenzirane procesne snovi** – če obstaja verjetnost kondenzacije vnetljive snovi v sistemu, se zavedajte, da lahko reagira z oksidanti iz drugih procesnih korakov ali z zrakom (npr. v izpuhu). To lahko preprečite z nadzorom ustrezne temperature ali delnega tlaka.

6.5 Kako se izogniti območju vnetljivosti

Vnetljiva snov ustvari potencialno eksplozivno atmosfero le, če je združena z zrakom ali kisikom oz. drugim oksidantom in je njena koncentracija med spodnjo mejo vnetljivosti (LFL) (ali spodnja meja eksplozivnosti, LEL) in zgornjo mejo vnetljivosti (UFL) (ali zgornja meja eksplozivnosti, UEL). Upoštevajte, da večina podatkov v strokovni literaturi obravnava meje

vnetljivosti v zraku, pri čemer je oksidant kisik. Vse nadaljnje informacije temeljijo na tej predpostavki.

Da je snov potencialno eksplozivna, mora biti koncentracija kisika višja od minimalne koncentracije kisika (MOC) (ali mejne koncentracije kisika, LOC). Minimalna/mejna koncentracija kisika za večino vnetljivih plinov je 5 vol. % ali višja. (Opomba: to ne velja za piroforne snovi, pri katerih je treba upoštevati posebne previdnostne ukrepe.)

Obstajajo številni načini, s katerimi se je mogoče izogniti delovanju z mešanici plinov v območju vnetljivosti. Izbira načina je odvisna od rezultata ocene tveganja (analiza nevarnosti) za postopek in sistem za črpanje:

- **Ohranjanje koncentracije vnetljivega plina pod spodnjo mejo vnetljivosti/ eksplozivnosti**

Če želite tveganje nenamernega vstopa vnetljivega plina v območje vnetljivosti zmanjšati na najnižjo raven, uporabite varnostno mejo za delovanje pod spodnjo mejo vnetljivosti/eksplozivnosti.

Varnostno mejo določi uporabnik po izvedbi ocene tveganja. Nekateri priznani strokovnjaki predlagajo ohranjanje koncentracije pod 25 % spodnje meje vnetljivosti/eksplozivnosti.

Običajna metoda ohranjanja ustrezne koncentracije pod spodnjo mejo vnetljivosti/ eksplozivnosti je redčenje prek čiščenja z inertnim plinom (npr. dušikom), ki se dovaja v dovod črpalke in/ali priključke za čiščenje. Zahtevana celovitost sistema redčenja in alarmov ali zapor je odvisna od območja nevarnosti, ki nastane, če v sistemu redčenja pride do napake.

- **Opomba:**

Če želite preprečiti tveganje zadušitve, zagotovite izvajanje ustreznih previdnostnih ukrepov.

- **Ohranjanje koncentracije kisika pod minimalno/mejno koncentracijo kisika**

Ta način delovanja zahteva uporabo nadzora koncentracije kisika v črpanih plinih za zagotovitev varnega delovanja. Če želite tveganje nenamernega vdora vnetljivega plina v območje vnetljivosti zmanjšati na najnižjo raven, uporabite varnostno mejo za delovanje pod minimalno/mejno koncentracijo kisika. Na podlagi razpoložljivih industrijskih standardov je treba stalno nadzorovano koncentracijo kisika ohranjati pri manj kot 2 vol. % pod veljavno minimalno/mejno koncentracijo kisika za mešanico plinov. Če minimalna/mejna koncentracija kisika ni manj kot 5-odstotna, je treba koncentracijo kisika ohranjati pri največ 60 % minimalne/mejne koncentracije kisika. Če se nadzor izvaja le v obliki rednega preverjanja ravni kisika, raven kisika ne sme presežati 60 % najnižje veljavne minimalne/mejne koncentracije kisika, razen če je ta manj kot 5-odstotna – v tem primeru je treba koncentracijo kisika ohranjati pod 40 % minimalne/mejne koncentracije kisika.

Priporočena metoda ohranjanja ravni kisika pod najnižjo veljavno minimalno/ mejno koncentracijo kisika je temeljito izločanje zraka in kisika iz postopka ter sistema za črpanje, skupaj z redčenjem črpanega plina prek čiščenja z inertnim plinom (npr. dušikom), ki se dovaja v dovod črpalke in/ali priključke za čiščenje, če je treba. Zahtevana celovitost ukrepov izločanja zraka/kisika in alarmov ali zapor je odvisna od območja nevarnosti, ki nastane, če pri izločanju in v sistemu redčenja pride do napake.

Previdnostni ukrepi, ki jih je običajno treba upoštevati pri temeljitem izločanju zraka iz postopkov in sistema za črpanje, so podani na koncu tega razdelka.

- **Ohranjanje koncentracije vnetljivega plina nad zgornjo mejo vnetljivosti/ eksplozivnosti**

Če so koncentracije vnetljivega plina visoke, je ustrežnejše delovanje nad zgornjo mejo vnetljivosti/eksplozivnosti. Če želite tveganje nenamernega vdora v območje vnetljivosti zmanjšati na najnižjo raven, uporabite varnostno mejo za delovanje nad zgornjo mejo vnetljivosti/eksplozivnosti. Priporočljivo je, da se odvečno raven kisika v plinu ohranja pri manj kot 60 % absolutne ravni kisika, ki je običajno prisoten v koncentraciji zgornje meje vnetljivosti/eksplozivnosti vnetljivega plina. Priporočena metoda ohranjanja ravni kisika pod to varnostno mejo je temeljito izločevanje zraka in kisika iz postopka ter sistema za črpanje. Morda je potrebno tudi redčenje črpanega plina prek čiščenja z inertnim plinom (npr. dušikom), ki se dovaja v dovod črpalke in/ali priključke za čiščenje. Zahtevana celovitost ukrepov preprečevanja dostopa zraka, sistema za čiščenje plinov in alarmov ali zapor je odvisna od območja nevarnosti, ki bi nastalo v primeru odpovedi sistemov za preprečevanje dostopa zraka redčenje.

- **Ohranjanje koncentracije vnetljivega plina pod minimalnim tlakom eksplozije**

Vsaka vnetljiva snov ima minimalen tlak, pod katerim ne more priti do eksplozije. Če je tlak v dovodu vakuumske črpalke mogoče varno ohranjati pod tem tlakom, vžigi, ki nastanejo v notranjosti vakuumske črpalke, ne morejo doseči dovoda. Vendar je treba za izpuh vakuumske črpalke upoštevati previdnostne ukrepe. Previdnostni ukrepi, ki jih je običajno treba upoštevati pri temeljitem preprečevanju dostopa zraka v sistem postopka in črpanja, so naslednji:

- **Odpravljanje uhajanja zraka**

Uporabite detektor uhajanja plinov ali izvedite preizkus hitrosti dviganja tlaka. Pred dovajanjem vnetljivih snovi v procesno komoro je mogoče izvesti preizkus za ugotavljanje, ali je uhajanje zraka (kisika) v vakuumski sistem znotraj dovoljenih mejnih vrednosti.

Za izvedbo preizkusa hitrosti dviganja tlaka je treba prazno procesno komoro izčrpati do tlaka, ki je nižji od običajnega delovnega tlaka, nato pa ga je treba izolirati od vakuumske črpalke. Pozneje je treba določeno obdobje beležiti tlak v procesni komori. Glede na to, da sta prostornina procesne komore in največje dovoljeno uhajanje zraka znana, je mogoče izračunati največje dovoljeno zvišanje tlaka, ki lahko nastane v določenem obdobju. Če je ta največja mejna vrednost tlaka presežena, je treba zatesniti vir uhajanja zraka (kisika), ki vstopa v procesno komoro; pred dovajanjem vnetljivih snovi v procesno komoro je treba znova uspešno izvesti preizkus.

V nekaterih primerih lahko neprepustnost sistema preverite na podlagi zmogljivosti vakuumskega sistema za doseganje dobrega osnovnega tlaka.

- **Pred začetkom postopka iz sistema odstranite ves zrak**

Pred dovajanjem vnetljivega plina v sistem je treba sistem popolnoma izčrpati in/ali očistiti z inertnim plinom (npr. dušikom), da iz sistema odstranite ves zrak. Na koncu postopka ponovite to metodo, da odstranite morebitne vnetljive pline, preden se sistem prezrači z zrakom.

- **Za suhe vakuumske črpalke**

Zagotovite, da tesnilni plin za čiščenje ali tesnilo gredi ne pride v stik ali ni kontaminirano z zrakom pod nobenimi pogoji; hkrati se prepričajte, da je odprtina plinske komore zatesnjena ali se uporablja le za vstop inertnega plina.

- **Za mokre vakuumske črpalke (npr. rotacijske lamelne ali batne črpalke z oljnim tesnjenjem)**

Tesnila gredi vzdržujte natančno po navodilih proizvajalca ter uporabljajte črpalni in tlačni sistem za mazanje z oljem z alarmom za padec tlaka olja. Ta sistem lahko vključuje zunanjo dodatno opremo s tlačnim stikalom za zagotavljanje filtriranega

in mazalnega olja pod tlakom. Prepričajte se, da so odprtine plinske komore zatesnjene ali se uporabljajo le za vstop inertnega plina. Pred začetkom postopka izvedite ustrezno čiščenje oljne posode z inertnim plinom, da iz nje odstranite zrak.

- **Za vakuumske ojačevalne črpalke Roots**

Tesnilo glavne pogonske gredi vzdržujte natančno po navodilih proizvajalca in zagotovite, da se priključki za čiščenje ali prezračevalne odprtine uporabljajo le za dovajanje inertnega plina.

- **Povratni pretok**

Zagotovite, da postopki delovanja sistema in oprema ščitijo sistem pred povratnim pretokom zraka, ki lahko nastane zaradi napake črpalke. Zagotovite, da se črpani vnetljivi plini varno odvajajo prek izpuha črpalke. Zagotovite, da v izpušnem cevovodu ne nastanejo mešanice vnetljivih plinov, in sicer tako, da pred začetkom in po koncu postopka z vnetljivim plinom uporabljate čiščenje cevovoda z ustreznim inertnim plinom, med delovanjem pa uporabljate čiščenje z ustreznim inertnim plinom, da preprečite povratno mešanje zraka v izpuhu zaradi vrtnčenja.

6.6 Ravni zanesljivosti sistema

Zaščitni ukrepi z uporabo redčenja z inertnim plinom so bili obravnavani v prejšnjih razdelkih. Princip metode deluje na podlagi mešanja inertnega plina (običajno dušika) s procesnimi plini, zato da se razredčijo do ravni, pri kateri nastanek eksplozije ali reakcije ni mogoč. Pri uporabi redčenja plinov kot glavnega varnostnega sistema za zaščito pred potencialno eksplozijo boste morda potrebovali visoko zanesljiv alarmni in zaporni sistem, da preprečite delovanje sistema, ko sistem redčenja plinov ne deluje. Pri oceni tveganja (analiza nevarnosti) je treba upoštevati zanesljivost sistema redčenja plinov. Odvisna je od določitve notranjega območja, tj. ravni tveganja, ki nastane, če v sistemu redčenja pride do napake. Za določanje zahtevanih ravni zanesljivosti sistema je treba pri oceni tveganja vedno upoštevati trenutno najboljšo prakso.

Če je na primer sistem redčenja uporabljen za ohranjanje koncentracije vnetljivega plina zunaj območja vnetljivosti in bi se zaradi odpovedi redčenja zgodilo, da bi se črpani plin nahajal v območju vnetljivosti, stalno ali pogosto (v skladu z ATEX za > 50 % časa v območju 0), mora sistem redčenja izpolnjevati enega od naslednjih pogojev:

- Imeti mora varnostni mehanizem, ki zagotavlja delovanje tudi v primeru redke okvare.
- Biti mora varen, če sta prisotni dve okvari.
- Vključevati mora dva neodvisna sistema za dovod plina za redčenje.

Če je posledica napake sistema redčenja občasna prisotnost črpanega plina v območja vnetljivosti (v skladu z ATEX gre običajno za pogoje območja 1), mora sistem redčenja izpolnjevati enega od naslednjih pogojev:

- Imeti mora varnostni mehanizem, ki zagotavlja delovanje tudi v primeru pričakovane okvare.
- Biti mora varen, če je prisotna ena okvara.

Če je posledica napake sistema redčenja malo verjetna prisotnost črpanega plina v območju vnetljivosti ali morda le za kratko obdobje (v skladu z ATEX gre običajno za pogoje območja 2), je sistem redčenja pri običajnem delovanju varen.

6.7 Uporaba zaščitnih sistemov z odvodniki plamena

Če je mešanica črpanih plinov in hlapov neprekinjeno ali dalj časa (pogoj območja 0) vnetljiva (glejte *Kako se izogniti območju vnetljivosti* na strani 20) ter obstaja tveganje, da vir vžiga (glejte *Viri vžiga* na strani 24) postane aktiven med običajnim delovanjem ali da pride do predvidljive okvare, morate v glavno črpalko vgraditi odvodnike plamena (glejte tudi *Odvodniki plamena* na strani 30). Posebni odvodniki plamena za vakuumske črpalke Edwards imajo certifikat nevtralne institucije, ki dokazuje njihovo zmogljivost preprečevanja prenosa plamena po procesnih ceveh ali v zunanjo atmosfero.

Če je vnetljiva mešanica prisotna dalj časa, je treba na odvodnik plamena vgraditi odobren in preizkušen oddajnik merilnika temperature za zaznavanje neprekinjenega gorenja. Če naprava zazna neprekinjeno gorenje, je treba črpalko izklopiti in umakniti od vira goriva. Za nasvet o odobrenih odvodnikih plamena in oddajnikih merilnika temperature se obrnite na podjetje Edwards. Če želite odvodnik plamena in črpalko zaščititi pred toploto v primeru redkih okvar črpalke (območje 0), morate v izpuh črpalke vgraditi oddajnik merilnika temperature. Izklopne točke so odvisne od sistemov za črpanje. Za več informacij o črpalki preberite ustrezen priročnik ATEX.

Če oddajnika merilnika temperature na dovodu ali izpuhu dosežeta njuno zgornjo mejo, kar pomeni, da je prišlo do okvare, je treba ustrezno ukrepati. Način ukrepanja je odvisen od uporabe, vendar lahko vključuje naslednje ukrepe:

- **Zaustavitev dovajanja goriva** – dovajanje goriva v vakuumsko črpalko preprečite tako, da zaprete ventil na dovodu vakuumske črpalke.
- **Zaustavitev vira vžiga** – to naredite tako, da z izklopom motorja prekinete delovanje vakuumske črpalke.
- **Zaustavitev gorenja z inertnim plinom** – plamen lahko ugasnete s hitrim dovajanjem inertnega plina v območje gorenja (običajno, vendar ne vedno, je v izpušnem kolektorju črpalke). Če vir vžiga ni uničen, obstaja možnost ponovnega vžiga plamena.

6.8 Viri vžiga

Če vakuumske črpalke uporabljate za črpanje vnetljivih mešanic, morate upoštevati vse mogoče vire vžiga. Spodaj je navedenih nekaj dejavnikov, ki jih dobro poznati pri ocenjevanju splošnih razmer. Odvisno od postopka se boste morda lahko izognili nekaterim ali vsem virom vžiga. Če se viru vžiga ne morete izogniti zaradi stanja postopka ali sistemskih zahtev, morate svoj sistem temu ustrezno načrtovati.

Opomba:

Nekatere črpalke Edwards imajo certifikat nevtralne institucije, kar pomeni, da lahko (ob ustrezni uporabi) prenesejo notranjo eksplozijo.

- **Mehanski stik** – mehanski stik rotacijskih in fiksnih delov v vakuumski črpalki in sistemu lahko ustvari vir vžiga. Vse črpalke Edwards so zasnovane in izdelane tako, da se v vseh delovnih pogojih v črpalki ohranijo pravilni delovni razmiki. Če se želite izogniti temu viru vžiga, je pomembno, da preprečite nalaganje snovi na notranje površine ali očistite črpalko. Ležaji morajo biti v dobrem stanju, zadostno namazani in ustrezno očiščeni s plinom, da ne pridejo v stik s procesnimi plini. Za zagotavljanje varnega in zanesljivega delovanja ležajev je treba upoštevati priporočeno izvajanje vzdrževalnih del.
- **Vnos delcev** – v vse črpalne mehanizme se lahko vnesejo delci, ki niso bili proizvedeni med postopkom ali so posledica proizvodnega postopka sistema. Če so

ti delci prisotni med premično in nepremično površino, obstaja možnost nastanka toplote. Vstop delcev v vakuumsko črpalko preprečuje ustrezno sito (mreža) na dovodu ali filter, ki zmanjša velikost in prostornino delcev na varno raven. Za sito na dovodu je treba izvajati ustrezna vzdrževalna dela.

- **Kopičenje prahu** – do kopičenja drobnega stisnjenelega prahu v notranjih razmikih lahko pride tam, kjer okolica črpalnega mehanizma omogoča nastajanje prahu. Majhni delci prahu lahko vstopijo v črpalko kljub uporabi filtrov za prah na dovodu. Zaradi toplotnih sprememb in posledično majhne spremembe velikosti, stisnjeni prah ob stiku s premičnimi površinami ustvari toploto.
- **Nastanek toplote zaradi stiskanja (samovžig)** – glede temperature samovžiga katerega koli plina ali hlapov, ki se črpajo, je treba upoštevati notranjo toploto v katerem koli kompresorju, ki nastane zaradi stiskanja. Zagotovite, da je klasifikacija temperature črpalke vsaj ista ali višja od temperature plinov, ki jih črpate.
- **Vročje površine** – če imajo vnetljivi plini ali hlapi možnost priti v stik z vročo površino, se lahko ob preseženi temperaturi samovžiga vnamejo. Opomba: če lahko toplotna izolacija črpalk in odvodnikov plamena Edwards povzroči zvišanje temperature notranjih (in zunanjih) površin ter samovžig, jih ne smete toplotno izolirati.
- **Zunanje segrevanje** – do zunanjega segrevanja lahko pride zaradi požara v neposredni bližini vakuumske opreme. V takih pogojih lahko notranji tlak preseže največji statični tlak sistema in temperatura preseže temperaturo samovžiga. To je treba upoštevati pri analizi nevarnosti sistema.
- **Pretok vročih procesnih plinov** – visoke temperature vhodnih plinov lahko povzročijo, da temperatura notranjih (ali zunanjih) površin preseže temperaturo samovžiga črpanih snovi. Visoka temperatura vhodnih plinov lahko povzroči tudi zaustavitev rotorja/statorja. Za največjo dovoljeno notranjo temperaturo plinov glejte navodila za uporabo vakuumske črpalke. Za dodatne nasvete se obrnite na podjetje Edwards.
- **Katalitska reakcija** – prisotnost določenih snovi lahko povzroči katalitski vžig. Upoštevati je treba, da lahko vsi materiali izdelave vakuumskega sistema reagirajo na tak način s črpanimi plini ali hlapi.
- **Piroforna reakcija** – toplota pri izgorevanju pirofornih snovi zaradi vstopa zraka ali oksidanta lahko deluje kot vir vžiga za vse prisotne snovi. Glejte *Piroforne snovi* na strani 11.
- **Statična elektrika** – v določenih pogojih se lahko statična elektrika kopiči na izoliranih komponentah in se nato v obliki iskre razelektri v zemlji. Verjetnost kopičenja statične elektrike je treba upoštevati pri načrtovanju sistema.
- **Strele** – če je sistem nameščen na prostem, lahko udarec strele ustvari energijo za vžig. Verjetnost tega dogodka je treba upoštevati pri načrtovanju sistema.

6.9 Povzetek – načrtovanje sistema

Pri načrtovanju varnih vakuumskih sistemov za črpanje je treba upoštevati naslednja dejstva. Odvisno od uporabe jih je lahko še več.

- Če črpate nevarne snovi, morate sistem načrtovati tako, da ob okvari preklopi v varni način delovanja.
- Pri črpanju oksidantov v črpalke uporabljajte maziva vrste PFPE (perfluoropolietrna).
- Če za zmanjšanje koncentracije vnetljivega plina pod spodnjo mejo vnetljivosti/eksplozivnosti ali pod minimalno/mejno koncentracijo oksidanta uporabljate inertni plin, morate zagotoviti zanesljivost dovoda inertnega plina.

- Koncentracijo lahko ohranjate tudi nad zgornjo mejo vnetljivosti/eksplozivnosti, vendar morate za zagotovitev, da koncentracija ne pade v območje vnetljivosti, upoštevati ustrezne varnostne ukrepe.
- Pred uporabo preverite tesnjenje sistemov in opreme, da zagotovite neprepustnost.
- Pred izpustom piroformnih plinov v atmosfero ali pred njihovim mešanjem z oksidanti jih morate razredčiti do varne stopnje z inertnim plinom.
- Preprečite stik med natrijevim azidom in težkimi kovinami v katerem koli delu plinskega voda sistema.
- Preprečiti morate, da bi največji tlak v sistemu presegal varno mejo katerega koli posameznega dela sistema.
- Pred črpanjem določene snovi morate vedno prebrati priložena varnostna navodila za snov.
- Če obstajajo nevarnosti, povezane z oljem v gibni prostornini, razmislite, ali bi uporabili suhe črpalke namesto rotacijskih lamelnih ali batnih črpalk z oljnim tesnjenjem.
- Če uporabljate vakuumske črpalke Edwards za črpanje potencialno vnetljivih mešanic, morate upoštevati vse možne vire vžiga in posledice morebitne eksplozije.

7. Izbira pravilne opreme

Če želite izbrati pravo opremo za zeleno uporabo, morate upoštevati omejitve, v katerih bo deloval sistem. Tehnični podatki opreme Edwards so navedeni v našem katalogu izdelkov, tržnih publikacijah in priročnikih za uporabo opreme. Običajno so dodatne informacije na voljo na zahtevo; za dodatne nasvete se obrnite na podjetje Edwards.

Pri načrtovanju vakuumskega sistema upoštevajte ustrezne parametre za mehansko črpalko, kot npr.:

- največji statični tlak (vhodni in izpušni),
- največji delovni tlak v dovodu,
- največji delovni izpušni tlak,
- prevodnost dovodnih in izpušnih komponent,
- specifikacija tlaka za druge komponente, vgrajene v črpalko,
- nadzor tlaka, če v izpušni cevi pride do blokade.

Pri rotacijskih lamelnih in batnih črpalkah z oljnim tesnjenjem morate upoštevati tudi naslednje:

- hitrost pretoka v plinski komori,
- hitrost pretoka pri čiščenju oljne posode,
- pline in hlape, ujete v oljni posodi,
- pline in hlape, ki se vpijejo v olje in oljno posodo.

Največji statični tlak določa največji tlak, kateremu je lahko izpostavljen dovodni ali odvodni priključek črpalke, kadar črpalka ne deluje. Tlak je odvisen od mehanske zasnove črpalke.

Rotacijske lamelne in batne črpalke z oljnim tesnjenjem so zasnovane za delovanje z vhodnim tlakom pri atmosferskem tlaku ali pod njim, in čeprav je lahko največja statična tlačna stopnja nad atmosferskim tlakom, največji vhodni tlak črpalke med njenim delovanjem ne sme presegati atmosferskega tlaka. Nekateri proizvajalci omejujejo neprekinjeni vhodni tlak črpalk na tlak, nižji od atmosferskega tlaka. Največji vhodni tlak črpalke med njenim delovanjem je obravnavan kot največji delovni tlak.

Razlog, zaradi katerega je največji delovni tlak omejen, ni nujno povezan z mehansko zanesljivostjo črpalke. Največji tlak je običajno sorazmeren z nazivno močjo črpalke pri visokem vhodnem tlaku in je povezan s potencialno nevarnostjo pregrevanja mehanskih komponent črpalke ali električnega motorja.

Zaradi podobnih razlogov priporočamo, da izhodni tlak vakuumске črpalke ohranjate na čim nižji ravni (običajno pri ali pod 0,15 bara oz. $1,15 \times 10^5$ Pa pri neprekinjenem delovanju).

Črpalke so zasnovane za delovanje z neomejenimi izpuhi in izhodni tlak 0,15 bara ($1,15 \times 10^5$ Pa) je običajno dovolj visok za odvajanje izpušnih plinov prek izpušno-izločevalnega sistema in opreme za obdelavo.

7.1 Rotacijske lamelne in batne črpalke z oljnim tesnjenjem

Med rotacijske črpalke z oljnim tesnjenjem Edwards spadajo rotacijske lamelne črpalke serije E1M, E2M, ES in RV ter nabor batnih črpalk z oljnim tesnjenjem Stokes Microvac. Običajno so vse vakuumске črpalke zasnovane za delovanje z vhodnim tlakom, ki je nižji od atmosferskega tlaka, in prosto prezračevanim izpuhom črpalke z odvajanjem plinov v atmosfero.

Rotacijske lamelne in batne črpalke z oljnim tesnjenjem so izpodrivni kompresorji in lahko ustvarijo zelo visok izpušni tlak, če je odvod blokiran ali oviran. V teh primerih lahko tlak presega varen statični tlak oljne posode črpalke ter v številnih primerih tudi varen statični tlak komponent v odvodnem delu sistema (npr. polipropilenske izpiralke ali vakuumski spoji s tesnilnimi obročki). Zato v podjetju Edwards močno priporočamo, da v izpušno cev črpalke vgradite visoko zanesljivo tipalo izpušnega tlaka.

Če želite doseči varno raven redčenja, lahko plinsko komoro izboljšate s čiščenjem oljne posode (kjer je ta oprema na voljo). Zvišanje hitrosti pretoka v plinski komori in čiščenja oljne posode poveča količino olja, dovajanega v izpušni sistem.

Vse črpalke z oljnim tesnjenjem Edwards imajo oljne posode z veliko prostornino, v katerih se lahko zadržijo vnetljive in eksplozivne mešanice plinov. Olje v oljni posodi lahko učinkovito vpije ali kondenzira hlapne in plinaste stranske produkte. Hlapi in plini, ujeti v olju, so lahko pirofori ali toksični. Za zagotavljanje varnosti med vzdrževalnimi deli morate upoštevati posebne postopke ravnanja.

7.2 Suhe črpalke Edwards

Največji delovni tlak omejujejo isti dejavniki, ki vplivajo na črpalke z oljnim tesnjenjem, tj. potencialna nevarnost pregrevanja mehanskih komponent črpalke ali električnega motorja.

Suhe črpalke Edwards so izpodrivni kompresorji in lahko ustvarijo zelo visok izpušni tlak. Če so črpalke vgrajene v sistem, v katerem nastajajo trdni stranski produkti, pri čemer obstaja možnost blokiranja izpušne cevi, močno priporočamo, da vgradite merilnik izpušnega tlaka z visoko zanesljivostjo. Za nastavitev delovnega tlaka glejte priročnik za uporabo črpalke.

Suhe črpalke Edwards imajo zmogljivo visoko pretočno plinsko komoro. Dodajanje plina za redčenje, kot je dušik, v mehanizem črpalke, lahko optimizira zaviranje reakcije. Za hitrosti pretoka pri čiščenju s plinom glejte priročnik za uporabo črpalke.

7.3 Zasnova cevovoda

7.3.1 Spojke

Spojke so kratke in tanke komponente z globokimi zavoji. Uporabljajo se za zmanjšanje prenosa vibracij iz črpalke na vakuumski sistem.

Spojke vedno namestite vodoravno, pri čemer morata biti oba konca trdno pritrjena. Če so spojke nameščene pravilno, lahko vzdržijo majhen pozitiven notranji tlak (za podrobnejše informacije glejte navodila za uporabo, priložena spojkam). Za izpuhe suhih črpalk ne uporabljajte spojk, temveč gibke cevovode z opletom (glejte razdelek [Gibki cevovodi](#) na strani 28).

Pri uporabi v pogostih ciklih upoštevajte možnost odpovedi spojk zaradi obremenitve.

7.3.2 Gibki cevovodi

Gibki cevovodi imajo debelejšo steno in plitvejšo zavoj kot spojke. Gibki cevovodi so učinkoviti za povezovanje komponent vakuumskega sistema in pomagajo pri izravnavi nepravilne poravnave ali majhnih premikov v neprožnih vakuumskih cevovodih. Gibke cevovode je mogoče oblikovati v razmeroma ostre zavoje, pri tem pa ohranijo svoj položaj.

Gibki cevovodi so namenjeni za namestitve v fiksne sisteme. Niso primerni za ponavljajoče se upogibanje, ki lahko povzroči odpoved zaradi obremenitve.

Uporabljajte gibke cevovode z najkrajšo možno dolžino in se izogibajte nepotrebni zavojem. V primerih uporabe, ko lahko pride do izpušnega tlaka, uporabljajte gibke cevovode z opletom.

Gibki cevovodi z opletom so spojke z zunanjim zaščitnim slojem iz pletenega nerjavnega jekla. Pri namestitvi gibkega cevovoda z opletom upoštevajte najmanjši polmer upogiba, ki je naveden v priročniku za uporabo, priloženim gibkemu cevovodu z opletom.

7.3.3 Sidrne točke

Cevovode in njihove komponente morate pravilno pritrditi. Če na primer spojke pritrdite nepravilno, ne bodo zmanjšale vibracij, ki jih oddaja črpalka, kar lahko povzroči obremenitev cevovodov.

7.3.4 Tesnila

Če obstaja verjetnost nastanka pozitivnega tlaka v katerem koli delu vakuumskega sistema (tudi v primeru napake), morate uporabljati ustrezne vrste tesnil in tesnilnih materialov, ki lahko vzdržijo pričakovani vakuumski in pozitivni tlak.

7.4 Fizična zaščita pred nadtlakom

Kakor je bilo že omenjeno, lahko nadtlak povzroči ovira ali blokada v sistemu ali v njegovih komponentah. Nadtlak lahko nastane kot posledica pretoka stisnjenega plina iz črpalke ali iz zunanjih vodov stisnjenega plina, npr. tistih za sistem redčenja. Na voljo sta dve osnovni metodi zaščite sistema pred nadtlakom, ki sta opisani spodaj: razbremenitev tlaka ter opozorilo/izklop pri nadtlaku.

7.4.1 Razbremenitev tlaka

Za razbremenitev tlaka lahko uporabljate razpočne plošče ali varnostne ventile. Delovni tlak naprave mora biti nižji od načrtovane tlačne stopnje sistema. Te naprave morate povezati z ustreznimi cevovodi v prostoru, ki omogoča varno prezračevanje procesnih plinov in v katerem ni omejitev prezračevanja. Če v procesu nastajajo trdni stranski produkti, morate naprave za razbremenitev tlaka redno pregledovati, da zagotovite odsotnost morebitnih blokad ali ovir. Pri načrtovanju takih zaščitnih naprav je treba upoštevati vpliv tlačnih sunkov na odpornost razpočne plošče oz. ventila.

7.4.2 Opozorilo/izklop pri nadtlaku

Podjetje Edwards pogosto uporablja to metodo zaščite. Priporočena je za kateri koli sistem, vendar morda ni ustrezna za sisteme, ki proizvajajo trdne stranske produkte.

7.4.3 Regulatorji tlaka

Na voljo sta dve osnovni vrsti regulatorjev tlaka: z odzračevanjem in brez njega.

Regulatorji s prezračevanjem odvajajo plin v atmosfero ali ločen prezračevalni vod in ohranjajo stalen izhodni tlak v pogojih brez pretoka. Regulatorji z odzračevanjem se običajno uporabljajo, kjer je zanesljivost cevovoda izjemno pomembna.

Regulatorji brez odzračevanja lahko ohranjajo stalen izhodni tlak le v pogojih pretoka.

V pogojih brez pretoka se lahko izhodni tlak nekaterih regulatorjev zviša na raven dovodnega tlaka. Hitrost dviganja tlaka je odvisna od značilnosti regulatorja in prostornine, s katero je povezan njegov odvod. Dviganje tlaka lahko traja od nekaj minut do več mesecev.

Regulatorji tlaka niso zasnovani kot zaporni ventili in jih je treba uporabljati v kombinaciji z ustrežno izolacijsko napravo (npr. elektromagnetni ventil), če je potrebna izolacija. V nasprotnem primeru morate poskrbeti za varno prezračevanje odvečnega tlaka.

7.4.4 Odvodniki plamena

Odvodniki plamena niso naprave za preprečevanje eksplozij. Zasnovani so za preprečevanje širjenja ospredja plamena ob cevi ali vodu (glejte razdelek [Uporaba zaščitnih sistemov z odvodniki plamena](#) na strani 24). Odvodniki plamena se zoperstavijo ospredju plamena z veliko površino in majhnimi prevodnimi regami ter tako zadušijo plamen. Odvodniki plamena so običajno primerni le za uporabo v sistemih, ki se uporabljajo za čiste pline ali hlape.

Eksplozivna energija mešanice plinov narašča s tlakom. Večina odvodnikov plamena je zasnovanih za zaščito predelov, v katerih notranji tlak ne presega atmosferskega tlaka. Zagotovite, da delovni tlak v izpušno-izločevalnem sistemu, ki vodi do odvodnika plamena, ne presega največjega delovnega tlaka. Vendar glede največjega dovoljenega tlaka v odvodnikih, pooblaščenih za uporabo s suhimi vakuumskimi črpalkami Edwards za črpanje kemikalij, preberite navodila za uporabo ATEX. Poleg tega morate upoštevati tudi največji dovoljeni protitlak vakuumske črpalke.

Odvodniki plamena delujejo tako, da odstranjujejo toploto zgorevanja iz ospredja plamena, zato imajo največjo varno delovno temperaturo. Te temperature ne smejo presežati uporovno gretje, tesnjenje ali temperatura pretoka plina, ki prehaja skozi njiju.

Zmogljivost odvodnikov plamena pri odvajanju plamena je odvisna od hitrosti ospredja plamena, ta pa je odvisna od oddaljenosti ospredja plamena od vira vžiga. Odvodniki plamena, uporabljeni v vakuumskih črpalkah za črpanje kemikalij Edwards, morajo biti priključeni na dovod in izpuh. Uporaba kolen in T-delov med črpalko in odvodnikom je pod določenimi pogoji sprejemljiva za nekatere črpalke. Za nasvet se obrnite na Edwards.

7.5 Sistemi čiščenja

Sistemi čiščenja z inertnim plinom so lahko vgrajeni v opremo z namenom odstranjevanja procesnih plinov, ki ostanejo v sistemu po koncu procesnega cikla.

S pravilno uporabo čiščenja lahko odstranite jedke produkte in s tem preprečite poškodovanje črpalke ter, kar je še pomembneje, poškodovanje zaščitnih sistemov, kot so odvodniki plamena. Poleg tega z odstranitvijo procesnih plinov zagotovite, da ne prihaja do neželenih in morebitno nevarnih kemijskih reakcij med snovmi, uporabljenimi v različnih procesnih ciklih.

7.6 Povzetek – pravilna izbira opreme

- Izberite pravilno vrsto opreme za želeno uporabo.
- Vgradite vse ustrezne varnostne naprave, ki so potrebne za zagotavljanje varnosti v primeru napake.
- Odstranite zaostale volumne.
- Zagotovite ustrezen nadzor in upravljanje sistema.
- Vgradite naprave za razbremenitev tlaka, kjer je potrebno.
- Uporabljajte odvodnike plamena, kjer je potrebno.
- Pred uporabo preverite tesnjenje sistemov in opreme.

8. Postopki delovanja in usposabljanje

Za varno delovanje opreme so potrebna ustrezna usposobljenost, jasna in jedrnata navodila ter redno vzdrževanje. Pomembno je, da je vse osebje, ki uporablja vakuumsko opremo, ustrezno usposobljeno, kvalificirano in, kjer je potrebno, tudi nadzorovano.

Če ste v dvomih o kakršnih koli podrobnostih v zvezi z delovanjem ali varnostjo opreme podjetja Edwards, se posvetujte z nami.

9. Povzetek

- Ocenite in identificirajte nevarnosti oziroma jih odstranite ali zmanjšate, kjer je mogoče. To je treba izvesti za vse faze vakuumskega sistema – načrtovanje, sestavljanje, začetek obratovanja, delovanje, vzdrževanje in prenehanje obratovanja.
- Pretehtajte vse možne kemijske reakcije, do katerih lahko pride v sistemu. Upoštevajte verjetnost nenormalnih kemijskih reakcij, vključno s tistimi, do katerih lahko pride pri napakah.
- Pri ocenjevanju potencialnih nevarnosti v zvezi s procesnimi snovmi, kot je npr. samovžig, upoštevajte podatkovne/varnostne liste snovi.
- Za zmanjšanje reakcij z oksidanti in vnetljivimi snovmi na najnižjo raven uporabljajte tehnike redčenja.
- Pri črpanju oksidantov in pirofornih snovi uporabljajte pravilno vrsto maziva.
- Če med postopkom uporabljate ali proizvajate natrijev azid, v plinskem vodu sistema za črpanje ne uporabljajte težkih kovin.
- Pri izračunavanju varnosti morate upoštevati varne delovne tlake vseh komponent sistema. Upoštevajte tudi nenormalne pogoje in morebitne napake.
- Prepričajte se, da so vgrajene pravilne vrste naprav za razbremenitev tlaka, ki imajo ustrezno nazivno vrednost za želeno uporabo.
- Zagotovite, da ne more priti do blokade izpuha.
- Zagotovite pravilno upravljanje in nadzor plinov za redčenje.
- Če črpate nevarne snovi, morate sistem načrtovati tako, da ob okvari preklopi v varni način delovanja.
- Pri črpanju oksidantov uporabljajte olje in maziva vrste PFPE (perfluoropolietrna).
- Za redčenje vnetljivih in pirofornih plinov na varno raven uporabljajte inertni plin ali zagotovite, da je ob upoštevanju ustreznih varnostnih dejavnikov v vseh procesnih pogojih, vključno z okvarami, presežena zgornja mejna vrednost vnetljivosti/eksplozivnosti.
- Zagotoviti morate, da največji tlak sistema ne presega največje tlačne stopnje katerega koli posameznega dela sistema.
- Če obstajajo nevarnosti, povezane z oljem v gibni prostornini, premislite o uporabi suhih črpalk namesto črpalk z oljnim tesnjenjem.
- Odstranite zaostale volumne.
- Zagotovite ustrezen nadzor in upravljanje sistema.
- Uporabite odvodnike plamena, kjer je potrebno.
- Pred uporabo preverite tesnjenje sistemov in opreme.

