



# NÁVOD PRO BEZPEČNÉ POSTUPY PRO KRYOGENICKÁ ZAŘÍZENÍ NA DĚLENÍ VZDUCHU

**EIGA 704/05/CZ**

Odborný překlad proveden pracovní skupinou PS6 ČATP.

**GLOBÁLNĚ  
HARMONIZOVANÝ DOKUMENT**

Na základě CGA P-8

**EUROPEAN INDUSTRIAL GASES ASSOCIATION  
(EVROPSKÁ ASOCIACE PRŮMYSLOVÝCH PLYNŮ)**

AVENUE DES ARTS 3-5 • B – 1210 BRUSSELS

Tel : +32 2 217 70 98 • Fax : +32 2 219 85 14

E-mail : [info@eiga.org](mailto:info@eiga.org) • Internet : <http://www.eiga.org>

**ČESKÁ ASOCIACE TECHNICKÝCH PLYNŮ**

U Technoplynu 1324, 19800 Praha 9

Tel: +420 272 100 143 • Fax: +420 272 100 158

E-mail : [catp@catp.cz](mailto:catp@catp.cz) • Internet : <http://www.catp.cz/>



# NÁVOD PRO BEZPEČNÉ POSTUPY PRO KRYOGENICKÁ ZAŘÍZENÍ NA DĚLENÍ VZDUCHU

## ZPRACOVALI:

Roger Argent  
James Currie  
Per-Erik Isaksson  
Andrea Mariotti  
Michel Masson  
Herman Puype  
Frank Ruhland  
Inaki Uriarte

AIR PRODUCTS PLC  
The BOC Group  
LINDE  
SOL SpA  
AIR LIQUIDE SA  
EIGA  
MESSER GROUP GmbH  
PRAXAIR ESPAÑA, S.L.

## ODMÍTNUTÍ ODPOVĚDNOSTI

Všechny technické publikace EIGA a pod jménem EIGA včetně Sbírek praktických postupů, Bezpečnostních postupů a všechny další technické informace v takových publikacích obsažené byly získány ze zdrojů, které považujeme za spolehlivé a zakládají se na informacích a zkušenostech, které jsou běžně k dispozici od členů asociace EIGA a od dalších k datu vydání těchto publikací a informací.

I když asociace EIGA doporučuje svým členům používat své publikace nebo se na ně odkazovat je takové používání publikací asociace EIGA nebo odkaz na tyto publikace členy asociace nebo třetími stranami čistě dobrovolné a nezávazné.

Tedy asociace EIGA a členové asociace EIGA neposkytují řádnou záruku na výsledky a nepřebírají žádnou odpovědnost či ručení v souvislosti s odkazem na informace nebo doporučení a s používáním informací a doporučení obsažených v publikacích asociace EIGA.

Asociace EIGA nemá žádnou kontrolu na čímkoliv, pokud se jedná o provádění nebo neprovádění, chybnou interpretaci, správné nebo nesprávné používání jakýchkoliv informací a doporučení obsažených v publikacích asociace EIGA ze strany osob nebo organizačních jednotek (včetně členů asociace EIGA) a asociace EIGA výslovně v této souvislosti odmítá jakoukoliv odpovědnost.

Publikace asociace EIGA jsou podrobovány periodickému přezkoumávání a uživatelé jsou upozorňováni, aby si získali poslední vydání.

## OBSAH

<u>1</u>	<u>Úvod</u> .....	1
<u>2</u>	<u>Rozsah</u> .....	1
<u>3</u>	<u>Definice</u> .....	3
<u>3.1</u>	<u>Kyselé plyny</u> .....	3
<u>3.2</u>	<u>Adsorpce</u> .....	3
<u>3.3</u>	<u>Zadušení</u> .....	3
<u>3.4</u>	<u>Profukování</u> .....	3
<u>3.5</u>	<u>Na tvrdo pájený hliníkový výměník tepla (BAHX)</u> .....	3
<u>3.6</u>	<u>Plášť</u> .....	3
<u>3.7</u>	<u>Katalyzátor</u> .....	4
<u>3.8</u>	<u>Kavitace</u> .....	4
<u>3.9</u>	<u>Odstředivý</u> .....	4
<u>3.10</u>	<u>Čištění</u> .....	4
<u>3.11</u>	<u>Blok hlubokého chladu</u> .....	4
<u>3.12</u>	<u>Regulační systém</u> .....	4
<u>3.13</u>	<u>Systém čištění surového argonu</u> .....	4
<u>3.14</u>	<u>Kryogenní kapalina</u> .....	4
<u>3.15</u>	<u>Místní var v mrtvých koutech</u> .....	4
<u>3.16</u>	<u>Diferenciální teplota (<math>\Delta T</math>)</u> .....	4
<u>3.17</u>	<u>Odmrazování</u> .....	4
<u>3.18</u>	<u>Odstraňování kyslíku nebo dezoxidace</u> .....	4
<u>3.19</u>	<u>Systémy odstraňování kyslíku nebo dezoxidace</u> .....	4
<u>3.20</u>	<u>Rozpěrný kus</u> .....	5
<u>3.21</u>	<u>Dva blokovací a jeden odlehčovací ventil</u> .....	5
<u>3.22</u>	<u>Suché odpařování</u> .....	5
<u>3.23</u>	<u>Exotermický</u> .....	5
<u>3.24</u>	<u>Expansní stroj</u> .....	5
<u>3.25</u>	<u>Bezpečnostní</u> .....	5
<u>3.26</u>	<u>Filtrační zařízení</u> .....	5
<u>3.27</u>	<u>Zanášení</u> .....	5
<u>3.28</u>	<u>Getr, odstraňovač nečistot</u> .....	5
<u>3.29</u>	<u>Horké opravy</u> .....	5
<u>3.30</u>	<u>Inertní</u> .....	6
<u>3.31</u>	<u>Rozváděcí lopatky</u> .....	6
<u>3.32</u>	<u>Vstupní tryska</u> .....	6
<u>3.33</u>	<u>Systém vybavený přístroji měření a regulace</u> .....	6
<u>3.34</u>	<u>Joule – Thomsonova (JT) expanze</u> .....	6
<u>3.35</u>	<u>Labyrint</u> .....	6
<u>3.36</u>	<u>Zablokování</u> .....	6
<u>3.37</u>	<u>Dolní mez výbušnosti (LEL)</u> .....	6
<u>3.38</u>	<u>Bezpečnostní datové listy materiálu (MSDSs)</u> .....	6
<u>3.39</u>	<u>Čistá přetlaková nátoková výška (NPSH)</u> .....	6
<u>3.40</u>	<u>Dusík NF</u> .....	6
<u>3.41</u>	<u>Hrdlo</u> .....	7
<u>3.42</u>	<u>Atmosféra s nedostatkem kyslíku / atmosféra obohacená dusíkem</u> .....	7
<u>3.43</u>	<u>Atmosféra obohacená kyslíkem</u> .....	7
<u>3.44</u>	<u>Kyslík USP</u> .....	7
<u>3.45</u>	<u>Pot boiling (Místní var)</u> .....	7

3.46	<a href="#">Pool boiling (Místní var)</a>	7
3.47	<a href="#">Srážení</a>	7
3.48	<a href="#">Bezpečnostní tlakový ventil, odlehčovací ventil</a>	7
3.49	<a href="#">Profukování, proplachování</a>	7
3.50	<a href="#">S vratným pohybem</a>	7
3.51	<a href="#">Regenerace</a>	7
3.52	<a href="#">Bezpečná oblast</a>	7
3.53	<a href="#">Bezpečnostní, přístroj vybavený systémem (SIS)</a>	7
3.54	<a href="#">Bezpečnostní povolení</a>	8
3.55	<a href="#">Rozpustnost</a>	8
3.56	<a href="#">Strukturovaná náplň</a>	8
3.57	<a href="#">Spodek</a>	8
3.58	<a href="#">Přívěsný štítek o vyřazení „Tagout“</a>	8
3.59	<a href="#">Horní mez výbušnosti (UEL)</a>	8
4	<a href="#">Nebezpečí pro zdraví</a>	8
4.1	<a href="#">Kryogenické kapaliny</a>	8
4.2	<a href="#">Plynné produkty</a>	9
4.3	<a href="#">Zadušení</a>	9
4.4	<a href="#">Nebezpečí kyslíku</a>	10
4.5	<a href="#">Ochranný oděv</a>	11
5	<a href="#">Všeobecné úvahy o zařízení</a>	11
5.1	<a href="#">Volba místa</a>	11
5.2	<a href="#">Bezpečnostní faktory u dispozičního uspořádání zařízení</a>	11
5.3	<a href="#">Konstrukční materiály</a>	12
5.3.1	<a href="#">Kovy</a>	12
5.3.2	<a href="#">Nekovy</a>	12
5.4	<a href="#">Izolace – jiné než izolace bloku hlubokého chladu</a>	13
5.5	<a href="#">Čištění</a>	13
5.6	<a href="#">Elektrické požadavky</a>	13
5.7	<a href="#">Hluk</a>	14
6	<a href="#">Jakost vstupujícího vzduchu</a>	14
6.1	<a href="#">Znečišťující látky</a>	14
6.2	<a href="#">Reaktivní nečistoty, které se koncentrují v kyslíku</a>	16
6.3	<a href="#">Reaktivní nečistoty, které se koncentrují v dusíku</a>	17
6.4	<a href="#">Komponenty způsobující ucpávání</a>	17
6.5	<a href="#">Mlha a kouř z požárů</a>	17
6.6	<a href="#">Zdroje znečišťujících látek</a>	18
6.7	<a href="#">Identifikace znečišťujících látek</a>	18
6.8	<a href="#">Umístění přívodu vzduchu</a>	18
6.9	<a href="#">Monitorování přívodu vzduchu</a>	19
7	<a href="#">Kompresory</a>	19
7.1	<a href="#">Axiální kompresory</a>	19
7.2	<a href="#">Odstředivé kompresory</a>	20
7.3	<a href="#">Další úvahy o dynamických kompresorech</a>	20
7.3.1	<a href="#">Regulace proti rázu</a>	20
7.3.2	<a href="#">Zpětný ventil</a>	20
7.3.3	<a href="#">Monitorovací zařízení</a>	20
7.3.4	<a href="#">Stupňovaná těsnění</a>	20
7.4	<a href="#">Pístové kompresory</a>	21
7.4.1	<a href="#">Nemazané válce</a>	21

7.4.2	<a href="#">Olejem mazané válce</a>	21
7.4.3	<a href="#">Vodou mazané válce</a>	22
7.4.4	<a href="#">Válce mazané halogenovaným olejem</a>	22
7.4.5	<a href="#">Rozpěrné kusy</a>	22
7.4.6	<a href="#">Kompresory s labyrintovým těsněním</a>	22
7.4.7	<a href="#">Regulace výkonu</a>	23
7.4.8	<a href="#">Pulzační láhve</a>	23
7.4.9	<a href="#">Speciální úvahy o provozu na dusík</a>	23
7.4.10	<a href="#">Monitorovací zařízení</a>	23
7.5	<a href="#">Membránové kompresory</a>	23
7.6	<a href="#">Rotační objemové kompresory</a>	23
7.7	<a href="#">Kompresory chladícího plynu</a>	24
7.8	<a href="#">Šroubové kompresory</a>	24
7.9	<a href="#">Systémy mazání</a>	24
7.9.1	<a href="#">Čerpadla</a>	24
7.9.2	<a href="#">Filtry</a>	24
7.9.3	<a href="#">Chladiče</a>	25
7.9.4	<a href="#">Zásobník</a>	25
7.9.5	<a href="#">Regulace a přístrojové vybavení</a>	25
7.9.6	<a href="#">Maziva pro převody, převodové skříně, klikové skříně</a>	25
7.10	<a href="#">Chladiče a odlučovače</a>	26
7.11	<a href="#">Filtry nebo sítko na sání</a>	26
7.11.1	<a href="#">Filtry vzduchu na vstupu</a>	26
7.11.2	<a href="#">Jiná sítko na sání</a>	26
7.11.3	<a href="#">Úvahy o filtrech pro pístové kompresory</a>	26
7.12	<a href="#">Speciální úvahy o provozu na kyslík</a>	26
7.13	<a href="#">Provozní postupy a postupy údržby</a>	27
8	<a href="#">Odstranění látek znečišťujících vzduch</a>	27
8.1	<a href="#">Metody odstraňování nečistot</a>	27
8.2	<a href="#">Stupně odstraňování nečistot</a>	29
8.3	<a href="#">Provoz jednotky předběžného čištění PPU</a>	31
8.4	<a href="#">Provoz REVEX</a>	34
8.5	<a href="#">Dodatečné mechanické chladiče</a>	37
8.6	<a href="#">Louhové pračky plynu</a>	37
9	<a href="#">Expanzní stroje</a>	37
9.1	<a href="#">Ztráta zatížení nebo překročení rychlosti</a>	38
9.2	<a href="#">Znečištění olejem v procesu</a>	38
9.2.1	<a href="#">Expanzní turbíny</a>	38
9.2.2	<a href="#">Pístové expanzní stroje</a>	39
9.2.2.1	<a href="#">Nemazané pístové expanzní stroje</a>	39
9.2.2.2	<a href="#">Mazané pístové expanzní stroje</a>	39
9.3	<a href="#">Abnormálně nízké teploty</a>	40
9.4	<a href="#">Pevné částice v proudu plynu</a>	40
9.5	<a href="#">Ztráta mazání</a>	41
9.6	<a href="#">Abnormální teplota ložisek</a>	41
9.7	<a href="#">Abnormální vibrace</a>	41
9.8	<a href="#">Abnormální rychlost</a>	41
9.9	<a href="#">Zanesení expanzního stroje ledem nebo oxidem uhličitým</a>	42
9.10	<a href="#">Spuštění a odstavení</a>	42
9.11	<a href="#">Provozní postupy a postupy údržby</a>	42

10	<a href="#">Kryogenní čerpadla</a>	43
10.1	<a href="#">Všeobecně</a>	43
10.2	<a href="#">Typy čerpadel</a>	43
10.2.1	<a href="#">Odstředivá čerpadla</a>	43
10.2.2	<a href="#">Pístová čerpadla</a>	43
10.3	<a href="#">Konstrukční materiály</a>	44
10.4	<a href="#">Návrh celkového systému čerpadla</a>	44
10.5	<a href="#">Speciální úvahy o provozu na kyslík</a>	45
10.6	<a href="#">Motor čerpadla</a>	45
10.7	<a href="#">Provoz čerpadla</a>	46
10.8	<a href="#">Postupy pro provoz a údržbu</a>	46
11	<a href="#">Blok hlubokého chladu</a>	46
11.1	<a href="#">Základy bloku hlubokého chladu</a>	46
11.2	<a href="#">Pláště bloku hlubokého chladu</a>	47
11.3	<a href="#">Izolace</a>	47
11.4	<a href="#">Vnitřní podpěry</a>	47
11.5	<a href="#">Profukování bloku hlubokého chladu a potrubí</a>	47
11.6	<a href="#">Úniky, netěsnosti procesu</a>	48
11.7	<a href="#">Odstraňování částeczek materiálu</a>	48
11.8	<a href="#">Kryogenní adsorbéry</a>	48
11.9	<a href="#">Hladiny kapaliny</a>	50
11.9.1	<a href="#">Vysokotlaká kolona</a>	50
11.9.2	<a href="#">Nízkotlaká kolona</a>	50
11.10	<a href="#">Monitorování znečišťujících látek</a>	51
11.11	<a href="#">Oddělení argonu a jeho čištění</a>	52
11.11.1	<a href="#">Popis procesu</a>	52
11.11.2	<a href="#">Nebezpečí</a>	52
11.12	<a href="#">Profukování nekondenzovatelných složek</a>	53
11.13	<a href="#">Čištění bloku hlubokého chladu</a>	53
11.14	<a href="#">Bezpečná doba setrvání pro kapalný kyslík LOX</a>	53
11.15	<a href="#">Zkapalňování vzduchu v hlavním výměníku tepla</a>	53
11.16	<a href="#">Porušení rovnováhy procesu</a>	53
11.16.1	<a href="#">Obohacení kyslíkem</a>	54
11.16.2	<a href="#">Nedostatek kyslíku</a>	54
11.16.3	<a href="#">Abnormálně nízká teplota</a>	54
11.16.4	<a href="#">Jiná porušení rovnováhy procesu a odstavení</a>	54
12	<a href="#">Systémy ovládání</a>	55
12.1	<a href="#">Funkce systémů vybavených přístroji</a>	55
12.2	<a href="#">Kritické bezpečnostní systémy</a>	55
12.3	<a href="#">Systémy provozní bezpečnosti</a>	56
12.4	<a href="#">Běžný provoz zařízení</a>	57
12.5	<a href="#">Provoz bez obsluhy nebo s částečnou obsluhou</a>	57
12.6	<a href="#">Dálkové ovládání provozu</a>	57
12.7	<a href="#">Další úvahy o systémech řízení na bázi počítače</a>	58
12.8	<a href="#">Další úvahy o bezpečnostních systémech</a>	59
12.9	<a href="#">Úvahy o předpisech</a>	59
13	<a href="#">Zařízení pro manipulace s výrobkem</a>	59
13.1	<a href="#">Skladování kapaliny</a>	59
13.2	<a href="#">Nádoby pro skladování plynu při vysokém tlaku</a>	60
13.3	<a href="#">Zařízení na odpařování kapaliny</a>	61

<u>14</u>	<u>Potrubí zařízení</u> .....	61
<u>14.1</u>	<u>Všeobecné úvahy o potrubí zařízení</u> .....	61
<u>14.2</u>	<u>Všeobecné úvahy o návrhu zpětných ventilů</u> .....	61
<u>14.3</u>	<u>Nebezpečí kyslíkového potrubí</u> .....	62
<u>14.4</u>	<u>Zařízení pro odlehčení tlaku</u> .....	62
<u>14.4.1</u>	<u>Všeobecné úvahy o odlehčovacích zařízení tlaku</u> .....	62
<u>14.4.2</u>	<u>Všeobecné úvahy o zařízeních pro odlehčení tlaku u jednotky na dělení vzduchu</u> 62	
<u>14.5</u>	<u>Kryogenické potrubí</u> .....	63
<u>14.6</u>	<u>Klenuť podpěry se slepými místy</u> .....	63
<u>14.7</u>	<u>Potrubí z uhlíkové oceli</u> .....	64
<u>14.8</u>	<u>Odvětrání</u> .....	64
<u>14.9</u>	<u>Dodávka produktu</u> .....	64
<u>14.9.1</u>	<u>Stanice redukce tlaku</u> .....	64
<u>14.9.2</u>	<u>Oddělení přílišného proudu kyslíku</u> .....	65
<u>15</u>	<u>Procedury odstavení</u> .....	65
<u>15.1</u>	<u>Odstavení bloku hlubokého chladu</u> .....	65
<u>15.2</u>	<u>Likvidace kapaliny a plynu</u> .....	65
<u>15.3</u>	<u>Odstraňování povlaků nečistot, odstraňování námrazy, odtavování</u> .....	66
<u>16</u>	<u>Opravy a kontroly</u> .....	67
<u>16.1</u>	<u>Všeobecné úvahy o údržbě</u> .....	67
<u>16.2</u>	<u>Dozorová kontrola</u> .....	67
<u>16.3</u>	<u>Speciální úvahy o stavbě a opravách</u> .....	67
<u>16.4</u>	<u>Nebezpečí spojené s blokem hlubokého chladu</u> .....	67
<u>16.5</u>	<u>Nebezpečí spojená s prací v prostředích s atmosférou bohatou na kyslík nebo s nedostatkem kyslíku</u> .....	68
<u>16.6</u>	<u>Čištění</u> .....	68
<u>17</u>	<u>Provoz a školení</u> .....	69
<u>17.1</u>	<u>Provozní postupy</u> .....	69
<u>17.2</u>	<u>Postupy v nouzových případech</u> .....	69
<u>17.3</u>	<u>Řízení změny</u> .....	69
<u>18</u>	<u>Reference</u> .....	70

## 1 Úvod

Jako část programu harmonizace průmyslových norem Evropská Asociace Průmyslových Plynů (EIGA) přijala originální normu P – 8\_4 Asociace Stlačeného Plynů CGA.

Tato norma se pokládá za harmonizovanou mezinárodní normu pro použití na celém světě a pro použití všemi členy EIGA, CGA, JIGA, AIGA a ANZIGA. Vydání EIGA má stejný technický obsah jako vydání CGA, avšak to ohledně vlastního vydání provedeny některé změny, v první řadě se jedná o formátování, použití jednotky a některé výrazy. A také odkazy na evropské regionální požadavky předpisů a norem nahrazují předpisy Spojených států.

Kryogenické dělení vzduchu v průmyslovém měřítku vykazuje některá potenciální nebezpečí, která je nutno znát a je nezbytné se na taková potenciální nebezpečí zaměřit. Taková potenciální nebezpečí zahrnují elektrickou energii, plyn za tlaku, velmi nízké teploty, schopnost kyslíku urychlovat hoření a dusivé vlastnosti dusíku, argonu a vzácných plynů [1]<sup>1</sup>.

Technologie kryogenického dělení vzduchu není statická. Byla a je stále progresivní a to po velkou řadu let a toto bude takto pokračovat v důsledku inženýrského vývojového snažení vyvozovaného mnoha těmi, kteří se na tomto podílejí. V důsledku toho mohou být a jsou cykly procesu zařízení, vlastní zařízení a vybavení a provozní podmínky velice rozmanité, mnoha druhů. Tato publikace tedy musí zahrnout některá zobecněná konstatování a doporučení v záležitostech, ve kterých se může vyskytovat značná odlišnost v názorech nebo v praktických způsobech. Uživatelé tohoto návodu by měli uznat, že toto vodítko je prezentováno s pochopením toho, že nemůže zaujmout místo zdravého inženýrského posuzování, školení a zkušeností. Nemůže tvořit sbírku pravidel a předpisů a ani by tak neměl být brán.

## 2 Rozsah

Tento návod slouží zájmu všech, kteří mohou být jakýmkoliv způsobem zapojení nebo kterých se jakýmkoliv způsobem týkají operace zařízení na dělení vzduchu. Tento návod slouží také k tomu, aby se seznámily osoby, které nejsou přímo zapojené v tomto procesu dělení vzduchu, s těmi faktory, které jsou pokládány za důležité z hlediska bezpečnosti.

Tento návod pojednává o bezpečnosti při návrhu zařízení, při jeho umístění, při jeho konstrukci, instalaci a při provozu a údržbě kryogenického zařízení na dělení vzduchu. Důraz je zde kladen na charakteristické rysy zařízení, vybavení, provozu a údržby, které jsou zvláštní pro proces kryogenního dělení vzduchu. Omezeným způsobem se také zde pojednává o vybavení tohoto zařízení, jako jsou vzduchové kompresory, které se používají v jiných průmyslových aplikacích a pro které již byly na jiných místech stanoveny a uvedeny bezpečné praktické způsoby při návrhu a instalaci takového zařízení. A dále, vzhledem k tomu, že tato publikace se nepokládá za nějakou univerzální příručku bezpečných způsobů a postupů pro specifické návrhy nebo specifické charakteristické rysy, je také důležité se obracet na instrukční příručky pro obsluhu a provoz od jednotlivých dodavatelů těchto zařízení a vybavení.

Reprezentativní technologické schéma zařízení na dělení vzduchu je znázorněno na Obrázku 1. Zařízení na plnění lahví, které jsou jako doplněk některých zařízení na dělení vzduchu, nejsou zde předmětem pojednávání a ani toto pojednání není rozšířeno na zařízení, která slouží k získávání vzácných plynů a k čištění vzácných plynů, na potrubní vedení produktů mimo hranice zařízení na dělení vzduchu.

Všechna zařízení na dělení vzduchu mají tyto charakteristické rysy a přednosti:

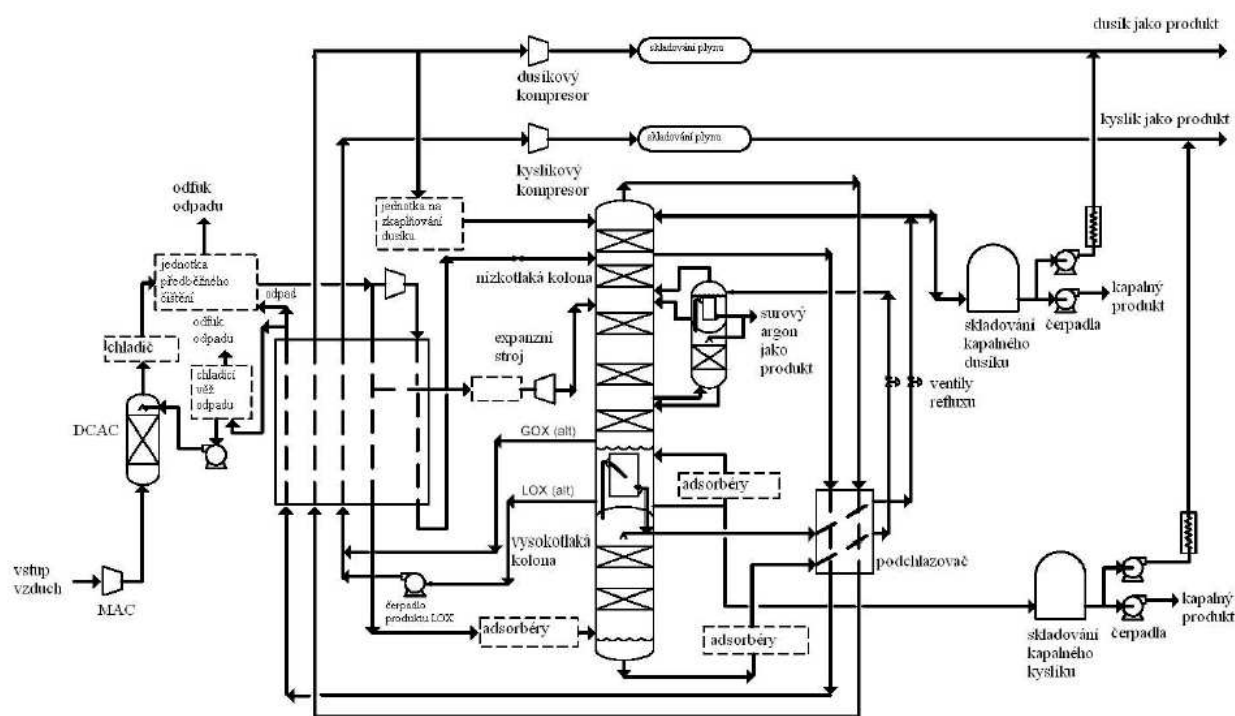
---

<sup>1</sup> Příslušné reference jsou uváděny v závorkách čísly a jsou potom uvedeny v pořadí svého výskytu v části referencí



- komprese vzduchu,
- odstraňování znečišťujících látek ze vzduchu,
- výměník tepla,
- destilace a
- expanze (nebo jiné zdroje chladu).

Obrázek 1 představuje typické technologické schéma pro dělení vzduchu kryogenicou destilací, při které jsou vyráběny jako produkty kyslík, dusík a argon. Vzduch se stlačuje v hlavním vzduchovém kompresoru (MAC) na tlak mezi 4 barg a 10 barg přetlaku. Potom je chlazen na teplotu okolního prostředí. Stopové nečistoty, jako je voda, oxid uhličitý a těžké uhlovodíky jsou v typickém případě odstraňovány buď v jednotce předběžného čištění nebo reverzní výměníku tepla (REVEX). V hlavním výměníku tepla je vzduch chlazen na teplotu blízkou jeho teplotě zkapalnění a potom vstupuje do vysokotlaké destilační kolony (HP). Tlak části proudu vzduchu je redukován v expanzním stroji, čímž se získává chlad, pro krytí ztrát tepla a nedokonalosti procesu. Plynný dusík z horní části vysokotlaké kolony HP kondenzuje ve vařáku kolony a kapalina se používá jako reflux pro obě kolony. Kondenzující dusík uvolňuje teplo pro odpařování kapalného kyslíku (LOX) ve spodní části či patě nízkotlaké kolony (LP), který se potom odebírá jako produkt nebo se vede jako stripující plyn do LP nízkotlaké kolony.



**Obrázek 1 – Reprezentativní technologické schéma zařízení na dělení vzduchu**

Kyslík má nejvyšší bod varu ze všech tří hlavních komponent a je odebírán ze spodu nízkotlaké LP kolony. Dusík se odebírá z hlavy nízkotlaké (LP) nebo vysokotlaké kolony (HP). Proud bohatý na argon se může odebírat uprostřed nízkotlaké LP kolony a čistit na čistý produkt v jiné destilační koloně. Proud produktu se ohřívají na teplotu okolního prostředí vstupujícím vzduchem v hlavním výměníku tepla za účelem opětovného získání, využití chladu. Jestliže je k dispozici dostatečné množství chladu, je také možné odebírat produkty z destilačního systému jako kapalinu. Výroba větších množství kapalných produktů si vyžaduje zvláštního chlazení, kdy chlad je dodáván často prostřednictvím zkapalňovací jednotky dusíku (NLU). Kapalinu je možno skladovat jako zálohu pro potrubní vedení nebo k obchodním účelům.

K výrobě tlakového kyslíku existují dvě typická uspořádání jednotky na dělení vzduchu. V konfiguraci plynového zařízení (také se nazývá „Proces GOX“ nebo „klasický plynový proces“) se kyslík odebírá jako pára ze spodu LP nízkotlaké kolony a je ohříván vstupujícím vzduchem v hlavním výměníku tepla. Jestliže se požaduje jako produkt vysokotlaký HP kyslík, pak tedy je tento kyslík stlačován na požadovaný tlak. Proplachovací proud kapalného kyslíku LOX se odebírá ze spodu LP nízkotlaké kolony, aby se tak zabránilo tomu, že by se stopové nečistoty koncentrovaly nad dovolené bezpečnostní meze. Při „Procesu s čerpaným kapalným kyslíkem LOX“ (také znám jako „proces s vnitřní kompresí“, se kyslík odebírá jako kapalina ze spodu LP kolony, čerpá se potom na požadovaný tlak a je potom odpařován v hlavním výměníku tepla proti vysokotlakému HP vzduchu, který přichází z předřazeného vzduchového kompresoru (BAC). Čerpaný proud kyslíku odstraňuje stopové nečistoty ze spodu nízkotlaké LP kolony, takže tedy oddělený čistící proud kapalného kyslíku LOX je eliminován ze spodu nízkotlaké kolony.

Existuje mnoho jiných uspořádání procesu dělení vzduchu, která jsou šita na míru specificky pro různé směsi produktů a podle požadavků zákazníků. Podrobná diskuse tohoto je mimo rozsah tohoto dokumentu.

### 3 Definice

#### 3.1 Kyselé plyny

Veškeré nečistoty, jako je chlór,  $\text{NO}_x$  a  $\text{SO}_x$ , které mohou vytvářet kyselinu, jestliže se slučují s vodou. POZNÁMKA: - Kyseliny mohou vytvářet korozní podmínky v natvrdo pájeném hliníkovém výměníku tepla a v jiných zařízeních.

#### 3.2 Adsorpce

Jedná se o proces čištění, během kterého se jedna nebo více komponent z plynu nebo z kapaliny přednostně adsorbuje na pevném sušicím adsorbentu nebo jiném adsorbentu.

POZNÁMKA – Typické adsorbenty zahrnují následující:

- Molekulové síto: jedná se o adsorbent ve formě granulí (v typickém případě 13X), který se používá u jednotek na předčištění vzduchu k odstranění vody, oxidu uhličitého a uhlovodíků.
- Alumogel: jedná se o adsorbent ve formě granulí, který se typicky používá u jednotek na předčištění vzduchu nebo v sušicích k odstraňování vody, a
- Silikagel: jedná se o adsorbent ve formě granulí, který se typicky používá v kryogenických adsorbérech k odstraňování oxidu uhličitého a uhlovodíků.

#### 3.3 Zadušení

Dostat se do bezvědomí nebo zemřít v důsledku nedostatku kyslíku.

#### 3.4 Profukování

Jedná se o proceduru údržby nebo přípravy zařízení k provozu nebo při uvádění do provozu, kdy je tekutina profukována skrze potrubí a zařízení za účelem odstranění nečistot, vlhkosti nebo jiných znečišťujících látek.

#### 3.5 Natvrdo pájený hliníkový výměník tepla (BAHX)

Hliníkový deskový a žebrový výměník tepla sestávající ze zvlněných plechů oddělených dělicími plechy a z vnějšího rámu sestávajícího z tyčí s otvory pro vstup a výstup médií. Tento výměník tepla je vybaven sběrnými trubkami a hrdly pro připojení k vnějšímu potrubí.

POZNÁMKA – Přibližná tloušťka zvlněných plechů se pohybuje od 0,2 mm do 0,5 mm, zatímco dělicí stěny mají tloušťku mezi 1,0 mm a 2,4 mm. Více informací je uvedeno v EIGA 702/04, *Bezpečný provoz natvrdo pájených hliníkových výměníků tepla pro výrobu tlakového kyslíku* [23 - 2]

#### 3.6 Plášť

Vnější stěny bloku hlubokého chladu nebo kryogenického potrubního vedení. Příčný průřez může kruhového nebo pravouhlého tvaru.

### 3.7 Katalyzátor

Materiál, který pomáhá podporovat nějakou reakci a sám se přitom nemění.

### 3.8 Kavitace

Nežádoucí tvorba bublinek páry a následující zborcení bubliny nasycené nebo mírně podchlazené kapaliny v čerpadle, což může způsobit ztrátu plnění čerpadla a poškození čerpadla.

### 3.9 Odstředivý

Dynamický kompresor nebo čerpadlo, které pracuje na bázi zrychlování kapaliny v rotačním oběžném kole s následnou konverzí této energie na tlak.

### 3.10 Čištění

Odstraňování stop znečišťujících látek z proudu nebo z procesního zařízení.

### 3.11 Blok hlubokého chladu

Konstrukce obsahující kryogenní destilační kolony, další procesní zařízení, potrubí a izolaci. Může se to také vztahovat na kryogennickou část jednotky na dělení vzduchu.

### 3.12 Regulační systém

Systém, který odpovídá na vstupní signály z procesu, od obsluhy zařízení nebo od obou a generuje výstup, který způsobuje, že proces pracuje žádaným způsobem.

### 3.13 Systém čištění surového argonu

Teplé zařízení zahrnující kompresory, katalytické reaktory, výměníky tepla, sušiče a chladiče, které se používají k odstraňování kyslíku ze surového argonu.

### 3.14 Kryogenní kapalina

Kapalina, která je extrémně chladná, její teplota je nižší než  $-97^{\circ}\text{C}$  ( $-130^{\circ}\text{F}$ )

### 3.15 Místní var v mrtvých koutech

Stav, při kterém kapalina bohatá na kyslík se může zachycovat v dutinách a částech potrubí nebo zařízení a může se odpařit. Když se kapalina odstraňuje, kontinuálně se přidává čerstvá kapalina. Tento jev se také nazývá pot boiling nebo pool boiling.

POZNÁMKA – Tento proces je zvláště nebezpečný tehdy, když na kyslík bohatá kapalina obsahuje uhlovodíky, které se během takového odpařování koncentrují.

### 3.16 Diferenciální teplota ( $\Delta T$ )

Teplotní rozdíl mezi dvěma proudy ve výměníku tepla, který je indikátorem výkonu nebo účinnosti výměníku tepla.

### 3.17 Odmrazování

Procedura preventivní údržby, kdy procesní zařízení se ohřívá, zatímco je současně čištěno s použitím čistého suchého plynu, aby se zajistilo odstranění veškeré nahromaděné vlhkosti, oxidu uhličitého a nečistot z okolního prostředí, z atmosféry. Také je to známé pod pojmem odmrazování, odstraňování ledu a odtavování.

### 3.18 Odstraňování kyslíku nebo dezoxidace

Katalytické odstraňování stop kyslíkových nečistot z plynu prostřednictvím využití reakce s vodíkem.

### 3.19 Systémy odstraňování kyslíku nebo dezoxidace

Systém na bázi použití katalyzátoru, který se používá při čištění argonu, aby se dosáhlo nižší hladiny kyslíku než může být v typickém případě zajištěno jednotkou na dělení vzduchu. Do proudu surového argonu se přidává vodík, který reaguje s kyslíkem za tvorby vody.

### 3.20 Rozpěrný kus

Prodloužený rozpěrný kus, který odděluje procesní zónu čerpadla nebo kompresoru od jejich motoru nebo ložisek, aby se tak zabránilo migraci procesního média, oleje, tepla nebo chladu.

### 3.21 Dva blokovací a jeden odlehčovací ventil

Potrubní / ventilový systém, který se používá tehdy, jestliže dva nebo více systémů nebo částí systémů mají být kompletně oddělené vzájemně od sebe. Obecně sestává ze dvou blokovacích ventilů dimenzovaných na příslušnou linku a malého odvětrávacího ventilu, který je umístěn mezi těmito dvěma uzavíracími ventily.

POZNÁMKA – Jestliže je zapotřebí oddělení, pak tedy blokovací uzavírací ventily jsou uzavřené a odlehčovací ventil je otevřený. Tento odvětrávací ventil odvětrává jakýkoliv únik z kteréhokoliv z uzavíracích ventilů při křížení s jinými systémy.

### 3.22 Suché odpařování

Stav, který nastane tehdy, když kyslíkem bohatá kapalina vnikne do dutin nebo částí potrubí nebo zařízení a tam dojde k jejímu totálnímu odpaření. Dojde tedy potom ke koncentrování všech méně těkavých nečistot v extrémní míře.

### 3.23 Exotermická reakce

Reakce produkující teplo.

### 3.24 Expansní stroj

Stroj, ve kterém expanduje médium z vyššího tlaku na nižší tlak, čímž dochází k odebírání energie (práce) a k tvorbě chladu.

### 3.25 Bezpečnostní

Jestliže dojde k poruše nějaké komponenty systému, pak výsledkem není ohrožení bezpečnosti. Příkladem je oddělovací ventil, k jehož uzavření dojde při přerušení dodávky vzduchu pro regulaci nebo dojde k výpadku energie.

### 3.26 Filtrační zařízení

Zařízení, které odstraňuje a zadržuje částice z proudu plynu nebo z proudu kapaliny.

POZNÁMKA – Velikost odstraňovaných částic závisí na skutečném návrhu takového zařízení. Výrazy filtr, sítko a síto je možno použít ve vzájemné záměně, avšak v typickém případě jsou klasifikované podle odstraňovaných částic a to následujícím způsobem:

- síto: ústrojí, které zachycuje a odstraňuje a zadržuje relativně hrubé částice,
- sítko: ústrojí, které odstraňuje a zadržuje jemné částice nebo
- filtr: ústrojí, které odstraňuje a zadržuje velice jemné částice.

### 3.27 Zanášení

Zablokování nebo zanesení povrchu nějakými znečišťujícími látkami a to v jakémkoliv výměníku tepla, které bude nepříznivě ovlivňovat tlakovou ztrátu nebo výkon. U jednotek na nízkoteplotní dělení vzduchu je způsobeno namrznutým oxidem uhličitým, vodou nebo namrznutými uhlovodíky v kryogenických výměnících tepla.

### 3.28 Getr, odstraňovač nečistot

Reaktivní materiál, který odstraňuje stopy znečišťujících látek z plynu. Vzhledem k tomu, že nečistota je chemicky adsorbována tímto getrem, odstraňovačem nečistot, může se getr buď spotřebovat nebo regenerovat.

### 3.29 Horké opravy

Sestává minimálně z jednoho, jak je uvedeno v následujícím:

- Užívá nástroje s použitím vysoké teploty, jako na příklad hořáku, která vlastně sama může být nebezpečím,
- Opravy, které se provádějí na zařízení za provozu nebo

- Opravy, které se provádějí v nebezpečném prostředí, kde jsou nezbytná speciální bezpečnostní opatření před prováděním, během provádění nebo po provedení takové práce.

POZNÁMKA – Všechny horké opravy si vyžadují pečlivého přístupu, bezpečného dozoru a použití specifických postupů. Doporučuje se v tomto případě použít seznamu kontrol nebo povolení k provádění nebezpečné práce.

### 3.30 Inertní

Není reaktivní.

POZNÁMKA – Příkladem inertních plynů je dusík a argon.

### 3.31 Rozváděcí lopatky

Ústrojí na vstupu do kompresoru, které mění výkon stroje s větší účinností než s použitím škrťacího ventilu na sání.

### 3.32 Vstupní tryska

Ústrojí na vstupu do expanzního stroje, které je součástí procesu expanze. Pohyblivá vstupní tryska se může použít k seřizování výkonu expanzního stroje.

### 3.33 Systém vybavený přístroji měření a regulace

Systém, který v typickém případě sestává ze snímačů (na příklad snímač tlaku, průtoku, teplotní vysílače), logických řešících prvků nebo ovládacích systémů (jako na příklad programovatelné regulátory, rozdělené řídicí systémy) a koncových elementů (jako na příklad regulační ventily), které jsou navrženy k provádění specifických funkcí.

POZNÁMKA – Více informací najdete v IEC 61511, *Provozní bezpečnost: Bezpečnostní přístroji vybavené systémy pro sektor procesního průmyslu – Část 1: Rámec, definice, systém, požadavky na technické vybavení a na přístrojové vybavení* [3].

### 3.34 Joule – Thomsonova (JT) expanze

Proces, prostřednictvím kterého je látka adiabaticky expandována (bez odebrání práce) z vysokého tlaku na nízký tlak a obvykle se toto děje ve škrťacím ventilu.

POZNÁMKA – V případě použití na plynu u zařízení na dělení vzduchu toto potom vede k poklesu teploty.

### 3.35 Labyrint

Typ těsnění plynu, kde se používá řady zubů, aby se tak na minimální hodnotu snížil únik procesního média.

### 3.36 Zablokování

Stav, kdy ústrojí není možno ovládat bez úmyslu. Vědomě lze takovou akci provádět. Toto je k zajištění bezpečnosti pozitivním oddělením zdrojů energie (tlak, elektrická energie, teplota a chemická energie).

POZNÁMKA – Příkladem je tu situace, kde je vypnut přívod elektrické energie a není možno jej opětně zapnout, aniž by se odstranilo nějaké bezpečnostní ochranné zařízení, jako je na příklad visací zámek z ovládacího zařízení. Jiným příkladem je ventil, kde se odmontuje rukojeť a je uložena potom na bezpečném místě dokud nebude bezpečné ovládání takového ventilu.

### 3.37 Dolní mez výbušnosti (LEL)

Nejnižší koncentrace hořlavého plynu v oxidačním činidle, při které se plyn vznítí.

POZNÁMKA – Dolní mez výbušnosti (LEL) se někdy užívá jako spodní mez hořlavosti (LFL).

### 3.38 Bezpečnostní datové listy materiálu (MSDSs)

Dokumenty popisující materiál a s ním spojená nebezpečí, které jsou nadekretované vládou a jsou dány k dispozici výrobcem takového materiálu.

### 3.39 Čistá přetlaková nátoková výška (NPSH)

Rezerva diference (měřeno na výšku) mezi skutečným tlakem kapaliny proudící do čerpadla a tenzí par kapaliny.

### 3.40 Dusík NF

Dusík splňující požadavky *United States Pharmacopeia and National Formulary (USP/NF)* [4] nebo požadavky odpovídajícího evropského lékopisu.

POZNÁMKA – Viz CGA G-10.1, Komoditní specifikace pro dusík, kde jsou uvedeny další informace [5].

### **3.41 Hrdlo**

Trubka připojená k jakékoliv nádobě.

### **3.42 Atmosféra s nedostatkem kyslíku / atmosféra obohacená dusíkem**

Atmosféra, ve které je objemová koncentrace kyslíku menší než 19,5%.

### **3.43 Atmosféra obohacená kyslíkem**

Atmosféra, ve které je objemová koncentrace kyslíku je větší než 23,5 %

### **3.44 Kyslík USP**

Kyslík splňující požadavky [4] *USP/NF* nebo požadavky odpovídajícího evropského lékopisu.

POZNÁMKA – Viz CGA G-4.3, Komoditní specifikace pro dusík, kde jsou uvedeny další informace [6].

### **3.45 Pot boiling (Místní var)**

Viz odstavec 3.15

### **3.46 Pool boiling (Místní var)**

Viz odstavec 3.15

### **3.47 Srážení**

Tvorba pevné látky z roztoku kapaliny nebo páry, když se překročí meze rozpustnosti pro nějakou složku.

### **3.48 Bezpečnostní tlakový ventil, odlehčovací ventil**

Samostatné zařízení, které je navrženo k ochraně nějaké nádoby nebo potrubí před dosažením tlaků vyšších nebo nižších (vakuum) než jsou hodnoty podle návrhu, aby se tak zabránilo porušení potrubí nebo nádob. Toto zahrnuje pojistné odlehčovací ventily a průtržné membrány.

### **3.49 Profukování, proplachování**

Odstranění nějaké nežádoucí znečišťující látky vytlačáním jinou tekutinou.

POZNÁMKA – Profukování procesního zařízení dusíkem zabraňuje styku vlhkosti s kryogenickým zařízením. Kapalný kyslík LOX obsahující uhlovodíky je profukován ze spodku vařáku čistým kapalným kyslíkem LOX.

### **3.50 S vratným pohybem**

Kompresor, expansní stroj nebo čerpadlo objemového typu, které používají píсты.

### **3.51 Regenerace**

Opětná aktivace vypotřebované nebo zaplněné nádoby s adsorbentem, ke které se používá horkého a/ nebo nízkotlakého plynu.

### **3.52 Bezpečná oblast**

Místo, do kterého mohou být bezpečně vypouštěny výfukové plyny, kde nebudou působit škodlivě na pracovníky personálu a na majetek.

POZNÁMKA – Jako bezpečná oblast je také místo, kde okolní materiály jsou slučitelné, kompatibilní s výfukovým plynem.

### **3.53 Bezpečnostní, přístrojový vybavený systém (SIS)**

Systém používaný k realizaci jedné nebo více funkcí, které jsou jako nezbytné k zábraně nebezpečí a/nebo ke zmírnění důsledků.

POZNÁMKA – Bezpečnostní, přístrojový vybavený systém (SIS) sestává z jakékoliv kombinace snímačů (na příklad snímač tlaku, průtoku, teplotní vysílače), logických řešících prvků nebo ovládacích systémů (jako na příklad programovatelné regulátory, rozdělené řídicí systémy) a koncových elementů (jako na příklad regulační ventily). Použití termínu SIS zahrnuje IEC 61511. Byl použit k návrhu, provozování a údržbě bezpečnostního systému [3].

### 3.54 Bezpečnostní povolení

Procedurální dokumenty osvětlující speciální úvahy o bezpečnosti, které jsou vydávané k tomu, aby byla umožněno započítání práce v nějakém specifickém místě.

### 3.55 Rozpustnost

Množství nějaké komponenty, která může zůstat jako rozpuštěná v kapalině nebo páře, aniž by přitom současně docházelo k vysrážení ve formě pevné látky.

### 3.56 Strukturovaná náplň

Plechý ze zvlněného kovu, které jsou uspořádané v destilační koloně za účelem podpory dokonalého styku mezi vzhůru proudící parou a směrem dolů proudící kapalinou.

### 3.57 Spodek

Spodek destilační kolony nebo jiné nádoby, která může obsahovat zásobu kapaliny, zádrž kapaliny nebo rezervní hladinu.

### 3.58 Přívěsný štítek o vyřazení „Tagout“

Písemné oznámení o tom, že nějaká část zařízení je mimo provoz a není možno ji provozovat bez povolení ze strany k tomu oprávněné osoby.

POZNÁMKA – Zařízení, které bylo opatřeno takovým přívěsným štítkem o vyřazení z provozu je v typickém případě opatřeno papírovým štítkem, který je přímo připevněn na příslušné zařízení. Toto označení indikuje, že příslušná položka zařízení je mimo provoz.

### 3.59 Horní mez výbušnosti (UEL)

Nejvyšší koncentrace hořlavého plynu v oxidačním činidle, při které se plyn vznítí. Někde se toto uvádí jako horní mez zápalnosti (UFL).

## 4 Nebezpečí pro zdraví

Některé situace nebezpečné pro zdraví jsou spojené přímo s oblastí stlačeného plynu. Vlastnosti určitých plynných produktů vystavují pracovníky personálu extrémně nízkým teplotám, atmosféře s nedostatkem kyslíku (dusivé atmosféry) nebo atmosféře bohaté na kyslík (zvýšené riziko požáru). Příslušná řádná bezpečnostní opatření, základní znalosti o chování těchto materiálů a aplikace vlastního řádného ochranného zařízení mohou snížit na minimum vystavení působení takovým nebezpečím a rizikům. Viz Bezpečnostní datové listy materiálu (MSDSs) výrobce, kde jsou uvedené specifické informace o materiálech, které jsou použity v zařízeních na dělení vzduchu.

### 4.1 Kryogenické kapaliny

Produkty zařízení na nízkoteplotní dělení vzduchu s sebou přinášejí nebezpečí, jak je to uvedeno v následujícím:

- Kryogenické postižení nebo kryogenní popáleniny, které jsou důsledkem styku pokožky s velmi chladnou parou, kapalinou nebo povrchy. Efekty jsou v tomto případě podobné jako v případě popálenin teplem. Míra takového postižení se mění s teplotou a dobou vystavení se takovému působení. Vystavené, obnažené nebo nedostatečně chráněné části těla se mohou přilepit ke studeným povrchům v důsledku rychlého mrznutí přítomné vlhkosti. Pokožka a živé maso se potom mohou odtrhnout.
- Nebezpečí hypothermie či podchlazení nebo omrzlin (celkové ochlazení těla a mozku) ve studeném prostředí. Zde může být jako varování v případě omrzlin, když dochází ke zmrznutí částí těla. Když klesá tělesná teplota, jako první indikace takového stavu podchlazení je nenormální, podivné chování, po kterém následuje a často to bývá velmi rychle, ztráta vědomí.
- Problémy s dýcháním způsobené vdechováním studeného plynu. Krátkodobé vystavení se působení takových podmínek obecně způsobuje nepohodlí či vyvedení z rovnováhy, avšak

delší působení takových podmínek může vést k efektům, které potom dále vedou k vážným onemocněním, jako je plicní edém nebo zánět plic. A dále,

- Studené plyny jsou těžší než vzduch,. Mají tedy snahu se usazovat dole a proudit do nižších hladin a toto může způsobit vytvoření husté mlhy vodní páry. V závislosti na topografii a na povětrnostních podmínkách může dojít ve značné vzdálenosti od místa úniku ke vzniku nebezpečných koncentrací, ke snížené viditelnosti nebo k oběma těmito jevům.

Další podrobnosti v tomto ohledu jsou uvedené v IGC 115/04, *Skladování plynů z kryogennického dělení vzduchu v areálu uživatelů* [90] a CGA P-12, *Bezpečné manipulace s kryogenními kapalinami* [7].

#### 4.2 Plynné produkty

Dusík a argon jsou jednoduché dusivé látky a jestliže se vyskytují v dostatečném množství, mohou snížit množství kyslíku v místním prostředí pod hranici, která je nezbytná pro život. Jestliže jsou přítomna nějaká znatelná množství uhlovodíkových nečistot, pak to může vést k pocitům nevolnosti, nouze a nucení ke zvracení, k narkóze nebo k závratím. Odstranění z takového prostředí vystavení se působení těmito látkám obecně potom vede k normálním funkcím těla a k normálnímu chování. Atmosféry bohaté na kyslík zvyšují citlivost k zapálení a míry hořlavosti mohou být v takovém případě mnohokrát vyšší než je tomu v normálních prostředích.

#### 4.3 Zadušení

Normální koncentrace kyslíku ve vzduchu je přibližně 21 objemových procent. V EIGA je nebezpečná hladina definována jako 18 objemových % [10]. Ve Spojených státech plyn obsahující méně než 19,5% kyslíku představuje nebezpečné pracovní prostředí, jak je to definováno názvem kapitoly 29 U.S sbírky norem *Code of Federal Regulations (Sbírka federálních předpisů)* (29 CFR) Část 1910.146 [8]. Vytěsnění množství kyslíku v daném objemu vzduchu vytěsněním nějakým inertním plynem představuje potenciální nebezpečí pro pracovníky personálu (viz IGC 44/00, *Nebezpečí plynoucí z inertních plynů* [10]). Viz také dokumenty EIGA týkající se kampaně proti zadušení [83, 84] a další zdroje [9, 11, 12, 13].

V takových případech, kdy obsah kyslíku ve vzduchu se sníží na hodnotu přibližně 15% nebo 16%, rychlost hoření hořlavých materiálů se významným způsobem snižuje. Plamen normálně hořlavých materiálů včetně těch, které se normálně používají jako paliva pro teplo a světlo, zhasne. Toto může být prvotní indikace nebezpečí plynoucího z nedostatečného množství kyslíku. V případě poněkud nižší koncentrace není jednotlivec vdechující takovou atmosféru schopen diagnostikovat situaci, jelikož příznaky ospalosti, únavy, malátnosti, mdloby, ztráty koordinace, chyb v posuzování a zmatku budou maskované stavem euforie, dávající oběti falešný pocit bezpečnosti a dobré situace. Viz Tabulka 1, kde jsou uvedené další typické příznaky působené atmosférou s nedostatečným množstvím kyslíku [9]).

**Tabulka 1 – Účinky při různých úrovních vdechování kyslíku**

Procenta kyslíku na hladině moře (atmosférický tlak = 760 mm Hg)	Účinky
20,9	Normální
19,0	Dochází k některým nepříznivým fyziologickým účinkům, ale jsou nepozorovatelné.
16,0	Zvýšený puls a zvýšená rychlost dýchání. Narušené myšlení a pozornost. Snížení koordinace.
14,0	Pocit přílišné námahy po jejím vynaložení. Přílišné emocionální pocity. Špatná koordinace. Špatné usuzování.
12,5	Velmi špatné usuzování a koordinace. Narušené dýchání, které může způsobit trvalé poškození srdce. Pocit nevolnosti a zvracení.



<10	Neschopnost vykonávat některé pohyby. Ztráta vědomí. Konvulze, křeče. Smrt.
POZNÁMKY	
1 Přizpůsobené z ANSI Z88.2 <i>Ochrana dýchání</i> [14]	
2 Tyto indikace jsou pro zdravotně průměrnou osobu v klidu. Faktory, jako individuální zdravotní stav (jako na příklad, že se jedná o kuřáka), stupeň fyzické námahy a vysoké nadmořské výšky mohou ovlivnit tyto příznaky a hladiny obsahu kyslíku, při kterých k nim dochází.	

Vystavení člověka atmosférám obsahujícím 12% nebo méně kyslíku povedou ke stavu bezvědomí bez varování a dochází k tomu tak rychle, že osoby si nemohou pomoci a chránit se. Toto je skutečnost, jestliže se tohoto stavu dosáhne buď okamžitou změnou prostředí nebo postupným ubýváním množství kyslíku. Zdravotní stav osoby a stupeň činnosti budou mít značný vliv na znaky a příznaky při různých úrovních koncentrace kyslíku. V některých případech může delší přítomnost v prostředí se sníženým množstvím kyslíku způsobit poškození mozku i tehdy, jestliže postižená osoba přežije.

Prostory, kde se může vyskytnout taková atmosféra se sníženým množstvím kyslíku, musí být dobře větrané. Odvětrání inertního plynu by mělo být potrubím vyvedeno mimo budovu nebo do nějaké bezpečné oblasti. Tam, kde je možný výskyt atmosféry se sníženým množstvím kyslíku, musí být přijata speciální bezpečnostní opatření taková jako instalace analyzátorů kyslíku s výstražnými signalizacemi, zajištění minimálního počtu výměn vzduchu za hodinu, realizace speciálních procedur ohledně vstupu nebo kombinace těchto procedur. U všech vstupů musí být umístěna výstražná vyznačení, aby tak byli pracovníci personálu výstražně upozorněni na potenciální nebezpečí výskytu atmosféry se sníženým množstvím kyslíku. Snímače analyzátoru kyslíku by měly být umístěné v místech nejpravděpodobnějšího výskytu takové atmosféry se sníženým množstvím kyslíku a příslušné výstražné signalizace musí být zřetelně viditelné, slyšitelné nebo oboje v místech vstupu osob.

V takových případech, kde existují nějaké pochybnosti o udržení bezpečného prostředí pro dýchání, by se měly používat samostatné dýchací přístroje nebo schválená vzduchová vedení a dýchací masky a to zvláště tam, kde pracovníci personálu vstupují do uzavřených oblastí nebo nádob. Vzduch pro dýchání by měl přicházet z kvalifikovaného nezávislého zdroje. Jako zdroje vzduchu pro dýchání se nesmí používat vzduch pro měření a regulaci zařízení.

Pracovníci personálu pracující v prostředích se sníženým množstvím kyslíku nebo v okolí takových prostředí musí používat řádné postupy včetně vstupu do ohraničeného prostoru.

**NEBEZPEČÍ:** *Vstup do míst s atmosférou se sníženým množstvím kyslíku bez dodržování příslušných řádných postupů povede k vážnému poškození zdraví nebo k úmrtí.*

#### 4.4 Nebezpečí kyslíku

Koncentrace kyslíku vyšší než 23% vytvářejí nebezpečí požáru, avšak nikoliv nebezpečí udušením. Kyslík je nehořlavý, ale podporuje velmi rychle hoření hořlavých materiálů a hoření některých materiálů, které se normálně považují za materiály relativně nehořlavé. I když zdroj energie pro zapálení je vždy nutný v kombinaci s hořlavým materiálem a kyslíkem, kontrola nebo eliminace hořlavých látek představuje bezpečnostní krok. Mazací oleje a jiné uhlovodíkové materiály mohou prudce reagovat s kyslíkem a takovému slučování se musí zabránit.

Personál by neměl být vystavován působení prostředí s atmosférou obohacenou kyslíkem vzhledem ke zvýšenému nebezpečí požáru. Když se koncentrace kyslíku zvyšuje nad 23 % kyslíku, dramaticky se zvyšuje nebezpečí zapálení oděvu. Dokonce i v případě, kdy se jedná o zapálení relativně slabým zdrojem zapálení, jako je tomu na příklad v případě jiskry nebo cigarety, může na oděvu propuknout plamen a oděv může rychle hořet. V prostředí nad 60 % kyslíku, vlas na oděvu a dokonce i lidské vlasy a tělový olej jsou předmětem vznícení ohně, který se rychle rozšiřuje po celém povrchu vystaveném takovému působení.

Oblasti, kde může dojít k výskytu takového vysokého obsahu kyslíku, musí být dobře větrané. Odvětrání plynu musí být potrubím vyvedeno mimo budovu nebo do nějaké bezpečné oblasti. Tam,

kde je možný výskyt atmosféry se zvýšeným množstvím kyslíku, musí být přijata speciální bezpečnostní opatření taková jako instalace analyzátorů kyslíku s výstražnými signalizacemi, zajištění minimálního počtu výměn vzduchu za hodinu, realizace speciálních procedur ohledně vstupu nebo kombinace těchto procedur. U všech vstupů musí být umístěna výstražná vyznačení, aby tak byli pracovníci personálu výstražně upozorněni na potenciální nebezpečí výskytu atmosféry se zvýšeným množstvím kyslíku. Další informace o nebezpečí spojeném s kyslíkem najdete v IGC 4/00, *Nebezpečí požáru u kyslíku a v prostředích obohacených kyslíkem* [15].

#### **4.5 Ochranný oděv**

Řádný oděv a speciální vybavení mohou sloužit ke snížení nebezpečí požáru při práci s kyslíkem nebo popálenin při práci s kryogenními kapalinami nebo plyny, avšak primárním cílem zde je prevence takového nebezpečí.

Izolované nebo kožené rukavice (nevyčiněné a bez oleje pro provoz s kyslíkem) by se měly používat při manipulaci se vším, co je nebo by mohlo být ochlazené působením kryogenních kapalin nebo při účasti při činnostech nakládání a vykládání. Takové ochranné rukavice musí být navlečeny volně, aby je bylo možno snadno sundat v případě, že se na ně rozstříkne nebo do nich dostane taková kapalina.

Kdykoliv se bude provádět manipulace s kryogenními kapalinami, musí se používat obličejový ochranný štít nebo brýle chránící proti postříknutí.

Ochranný oděv by měl mít minimum vlasu. Je k dispozici řada materiálů pro ochranný oděv, které mají retardační účinek vůči ohni, jako je NOMEX, avšak tyto materiály mohou hořet v atmosférách s vysokým obsahem kyslíku. Tyto materiály však mají některé výhody, jelikož většina z těchto materiálů by měla vykazovat samozhášecí charakteristiku, jestliže se odstraní z takového prostředí a dostane se do prostředí s normálním vzduchem. Všechny ochranné oděvy by měly být čisté a bez oleje. Neměly by na sobě mít žádné zdroje vznícení. Obuv by neměla mít cvočky nebo nějaké vystavené kovové ochranné prvky, které by mohly způsobit jiskření.

Jestliže osoby nechtěně vstoupí do kyslíkem obohacené atmosféry nebo jsou vystaveny působení takového prostředí, pak musí takové prostředí pokud možno co nejrychleji opustit. Vyhněte se zdrojům vznícení. Minimálně po dobu půl hodiny nekuřte. Otevření oděvu a jeho vyklepání napomůže rozptýlení zachycených par.

### **5 Všeobecné úvahy o zařízení**

#### **5.1 Volba místa**

Bezpečnost zařízení na dělení vzduchu by měla začít bezpečnostním vyhodnocením navrženého místa pro instalaci takového zařízení. Obecně jsou zařízení na dělení vzduchu umístěna v blízkosti průmyslových oblastí jako doplněk jiných průmyslových a chemických zařízení. Instalace zařízení na dělení vzduchu by měla být v souladu s příslušnými koordinačními normami a stejně tak ve shodě s místními, národními místními či federálními předpisy a nařízeními.

Provoz zařízení by měl být kriticky zhodnocen pokud se jedná o kompatibilitu či slučitelnost s okolním prostředím. Musí být zjištěno potenciální nebezpečí chladicí věže nebo kryogenní mlhy pro sousední zařízení nebo pro provoz vozidel. Měl by být zajištěn odpovídající prostor pro likvidaci kryogenních kapalin.

#### **5.2 Bezpečnostní faktory u dispozičního uspořádání zařízení**

Použití ventilových jam, příkopů či rýh nebo všech těchto pro potrubní systémy kryogenického plynu nebo kapaliny se nedoporučuje a to vzhledem k tomu, že u takových instalací může velice snadno dojít ke vzniku atmosféry bohaté na kyslík nebo s nedostatkem kyslíku. Jestliže potrubní systémy plynu a

kapaliny jsou nainstalovány v uzavřených prostorách, pak se v takovém případě doporučuje realizovat bezpečnostní opatření, jako je nucené větrání a systémy výstražné signalizace. Musí být ustavena příslušná výstražná označení.

Vedení vypouštění na kyslík bohaté kapaliny by se neměla instalovat v příkopech, rýhách. Během času se v takových příkopech, rýhách může nahromadit olej, tuk a odpadky či jiné úlomky. Jestliže by došlo na takovém potrubním vedení k netěsnosti, úniku média, mohlo by dojít k požáru.

Měla by se věnovat pozornost tomu, aby se zabránilo vniknutí rozlité kapaliny do podlažních odvodňovacích nebo kanalizačních systémů.

### 5.3 Konstrukční materiály

Materiály, které se používají ke konstrukci zařízení na dělení vzduchu, jsou během provozu zařízení vystaveny širokému rozsahu teplot, tlaků a nečistot. Tyto konstrukční materiály se musí volit tak, aby byly slučitelné s očekávanými provozními podmínkami a to včetně normálního provozu, spouštění, odstavení a neobvyklých provozních stavů.

Aby byl zajištěn bezpečný provoz kyslíkového systému, měly by být všechny části systému kontrolovány na slučitelnost s kyslíkem za všech podmínek, které mohou nastat [16, 17]. Tyto systémy musí být navrženy takovým způsobem, aby se zabránilo hoření v kyslíku, tedy:

- volbou příslušného materiálu,
- provozováním zařízení v mezích návrhových hodnot tlaku, teploty a průtočného množství a
- získáním příslušné čistoty.

Náhrada materiálů by se neměla provádět, aniž by předtím nebylo toto konzultováno s kvalifikovaným inženýrským zdrojem. Dodavatel materiálu by též měl být kontaktován za účelem získání příslušných informací.

#### 5.3.1 Kovy

I když obvyklé konstrukční materiály, jako je uhlíková ocel, hliník a měď jsou ve velké míře používány při výrobě komponent zařízení na dělení vzduchu, je důležité si uvědomit, že použití těchto materiálů je selektivní a musí být slučitelné s provozními podmínkami zařízení [17]. Tak na příklad, obvyklá uhlíková ocel se nepoužívá při teplotách nižších než  $-29^{\circ}\text{C}$  ( $-20^{\circ}\text{F}$ ), poněvadž při takových teplotách ztrácí houževnatost, stává se křehkou a je vystavena porušení za podmínek rázu. Jako některé kovové materiály, které mohou být bezpečně použité při teplotách nižších než  $-29^{\circ}\text{C}$  ( $-20^{\circ}\text{F}$ ), jsou austenitické nerezové oceli, hliník, měď, Monel, mosaz, křemíková měď a 9 % ní niklová ocel (ocel ASTM A-353). Referenční informace o použití kovů zahrnuje nerezovou ocel [18], hliník [19, 20], měď [21, 22], Monel [23, 24] a mosaz [25].

Uhlíková ocel se obecně používá při teplotách vyšších než  $-29^{\circ}\text{C}$  ( $-20^{\circ}\text{F}$ ) a za podmínek při teplotách okolního prostředí ke konstrukci propojovacích procesních potrubí, skladovacích nádrží a potrubí buď pro kyslík nebo vzduch nebo pro jiné inertní plyny, jako je argon nebo dusík a to vzhledem k ceně [26, 27]. V některých speciálních případech, jako na příklad za přítomnosti vlhkosti, by se měla uvažovat nerezová ocel nebo jiné stejně vhodné materiály, aby se zabránilo působení koroze.

#### 5.3.2 Nekovy

Nekovové materiály, jako jsou plochá těsnění, ucpávky ventilů, izolace a maziva, se musí pečlivě kontrolovat a zkoušet, aby se stanovilo, že mohou být použity ve zvláštních případech použití [28]. Při rozhodování o tom, zda je možno použít materiálu bez snížení návrhové bezpečnostní celistvosti kyslíkového systému, by se měly brát v úvahu všechny faktory spojené s použitím těchto materiálů, jako je teplota, tlak a jiné faktory. U kyslíkového systému se musí množství nekovových materiálů

držet na minimální hodnotě a tam, kde je to možné, měly by se držet stranou od přímého průtoku proudu plynu.

#### 5.4 Izolace – jiné než izolace bloku hlubokého chladu

Propojovací potrubní procesní vedení mezi komponentami zařízení na dělení vzduchu pracujícího při nízkých teplotách vyžaduje izolaci, aby se snížil únik chladu z procesu do okolí na přijatelnou minimální hodnotu a aby se zabránilo vystavení pracovníků personálu extrémně nízkým teplotám. Teplotu a provoz linky určuje typ použité izolace.

Izolace vedení s kapalným kyslíkem LOX nebo jiná vedení, která by mohla přijít do styku s kapalným kyslíkem LOX, by měla být provedena jako nehořlavá, aby byla zajištěna ochrana proti možné reakci v případě netěsnosti, úniku kapaliny. Jiná procesní vedení pracující při teplotách vyšších než je teplota kapalnění vzduchu, přibližně tedy  $-192^{\circ}\text{C}$  ( $-313^{\circ}\text{F}$ ), mohou být izolována s použitím jakékoliv komerčně přijatelné izolace splňující návrhové, konstrukční požadavky. Přednost by měla dostat izolace nehořlavá ve vzduchu. Na vedeních kyslíku nebo kyslíkem obohacených plynů nebo kapalin by se mělo používat spojovacích prvků kompatibilních s kyslíkem a stejně tak s kyslíkem slučitelných těsnících materiálů a parních zábran.

Procesní vedení pracující při teplotách nižších než je teplota kapalnění vzduchu by měla být izolována s použitím s kyslíkem slučitelných materiálů. Jestliže dojde k popraskání nebo ke zhoršení stavu izolace při těchto teplotách, pak vzduch bude difundovat dovnitř izolace, bude docházet ke kondenzaci vzduchu na povrchu trubky a izolační materiál bude vystaven působení na kyslík bohaté kapaliny.

Personál by měl být chráněn izolací nebo oddělením od horkých vedení, s teplotou nad  $60^{\circ}\text{C}$  ( $140^{\circ}\text{F}$ ).

#### 5.5 Čištění

Všechny materiály, které jsou použité v kyslíkových systémech nebo vzájemně propojené s kyslíkovými systémy musí být před uvedením systému do provozu řádně vyčištěné. Okuje z válcování, rez, nečistoty, struska ze svařování, oleje, tuky a jiné organické materiály se musí odstranit. Nikoliv řádně vyčištěné vedení může být v provozu s kyslíkem nebezpečné, poněvadž drobné částice, oleje, tuky a jiné organické materiály se mohou vznítit a hořet. Postupy výroby a při opravách by se měly kontrolovat, aby se tak na minimum snížila přítomnost takových nečistot a tedy, aby se zjednodušily postupy konečného čištění. Viz IGC 33/97, *Čištění zařízení pro provoz s kyslíkem* a CGA G-4.1, *Čištění zařízení pro provoz s kyslíkem* a ASTM G93, *Standardní postupy pro metody čištění a úroveň čistoty pro materiály a zařízení použité v prostředích obohacených kyslíkem* [29, 30, 31].

Kryogenická procesní zařízení a potrubí provozovaná na inertní média by měla být pro provoz s kyslíkem čištěna. Tímto se zabrání tomu, aby se cizí částice dostaly do jiných částí zařízení na dělení vzduchu.

#### 5.6 Elektrické požadavky

Musí se dodržovat příslušné sbírky norem. Jak je to definováno směrnicí ATEX 99/92/EC [32], zařízení na dělení vzduchu nejsou považována za nebezpečná umístění pro elektrická zařízení. Jsou tedy akceptovatelné univerzální typy elektrického zapojení nebo typy s odolností proti povětrnostním vlivům, přičemž toto závisí na tom, zdali se jedná o vnitřní nebo venkovní instalaci.

V prostředích, kdy by se mohly očekávat vysoké koncentrace kyslíku, bychom se měli vyhnout otevřeným nebo nechráněným přepínacím kontaktům. Jednoduché vhodné umístění elektrických zařízení mimo oblastí možného výskytu vysokých koncentrací kyslíku bude potom eliminovat za těchto situací možná nebezpečí.

Některá zařízení mohou mít specifické oblasti nebo specifická zařízení, jako je chladicí systém, ve kterém se používá uhlovodíkové nebo čpavkové chladicí médium nebo oblast zahrnující jednotku na čištění argonu zahrnující použití vodíku a manipulaci s vodíkem, což si vyžaduje speciální úvahy. V takovýchto případech se musí dodržovat návrhové úvahy specifikované v příslušných průmyslových sbírkách norem (směrnice ATEX).

## 5.7 Hluk

Hluk produkovaný kompresory a jejich pohony, expanzními turbínami, vysokými rychlostmi plynu proudícího skrze potrubí a ventily a pojistnými ventily, odlehčovacími ventily tlaku, odfuky nebo obtoky se musí brát v úvahu z hlediska potenciálního nebezpečí poškození sluchu pracovníku obsluhy, pracovníků personálu. Zhodnocení tohoto nebezpečí, průzkumy hluku by se měly provádět po počáteční prohlídce nebo v případě provádění modifikací, které by mohly změnit emitovaný hluk [33 - 37]. Snížení hluku a používání prostředků k ochraně sluchu musí probíhat v souladu se evropskými / vládními směrnicemi. Viz Směrnice 2003/10/EC o minimálních požadavcích na bezpečnost a zdraví týkajících se vystavení se pracovníků rizikům vyplývajícím z fyzikálních činitelů (hluk) [38] a IGC 85/02 Řízení hluku v odvětví průmyslových plynů [96]. Místní, státní a regionální předpisy by mohly být přísnější a měly by být vyšetřovány.

Nová zařízení a měnící se provozní podmínky vyžadují pokračující program stále kontroly a dozoru nad úrovní hluku. Měly by být jako nezbytné periodické audiometrické kontroly (měření citlivosti sluchu) pracovníků v závislosti na úrovních hluku a dobách vystavení se těmto efektům.

## 6 Jakost vstupujícího vzduchu

Jakost vzduchu může mít dopad na volbu umístění zařízení na dělení vzduchu a měla by být pečlivě vyhodnocena. V typickém případě je zařízení na dělení vzduchu umístěno v průmyslové oblasti a tedy, dá se očekávat, že ve vzduchu bude obsažen určitý stupeň znečištění, které se uvolnilo z provozu průmyslových a / nebo chemických zařízení. Stopové znečišťující látky obsažené v atmosférickém vzduchu, zvláště tedy uhlovodíky, mají přímou souvislost s bezpečností provozu zařízení na dělení vzduchu. Je tedy důležité identifikovat tyto nečistoty a jejich hladiny koncentrací v atmosférickém vzduchu. Krátkodobé analýzy jakosti vzduchu nemohou být reprezentativní pro dlouhodobé hladiny látek znečišťujících vzduch. Změna podmínek místa může mít dopad na jakost vstupujícího vzduchu a měly by se tyto místní podmínky periodicky vyhodnocovat nebo by se takové vyhodnocování mělo provádět v případě změn v okolních průmyslových závodech.

### 6.1 Znečišťující látky

Stopové znečišťující látky by se mohly rozdělit do třech hlavních kategorií a to na základě potenciálních problémů, které tyto látky mohou způsobit v zařízení na dělení vzduchu (ucpání, zanesení, reaktivní problémy, korozní problémy) tak, jak je to znázorněno v Tabulce 2. Část 8.1 podrobně popisuje, jak se s každou z těchto znečišťujících látek uvedených v Tabulce 2, zachází v rámci procesu dělení vzduchu.

**Tabulka 2 – Nečistoty ve vzduchu působící zanesení, reakce a korozi**

Ucpání		Reakční působení		Korozní působení	
Chemický název	Symbol	Chemický název	Symbol	Chemický název	Symbol
Vlhkost	H <sub>2</sub> O	Metan	CH <sub>4</sub>	Oxid siřičitý	SO <sub>2</sub>
Oxid uhličitý	CO <sub>2</sub>	Acetylen	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	Oxid sírový	SO <sub>3</sub>
Oxid dusný	N <sub>2</sub> O	Oxid uhelnatý	CO	Sirovodík	H <sub>2</sub> S
		Etylén	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	Chlor	Cl <sub>2</sub>
		Etan	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	Kyselina	HCl

		Vodík Propylén Propan Jiné uhlovodíky Oxidy dusíku Ozón	H <sub>2</sub> C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>  NO <sub>x</sub> O <sub>3</sub>	chlorovodíková Čpavek Jiné sírné sloučeniny Jiné chloridy	NH <sub>3</sub>
--	--	--	---	--	-----------------

Nečistoty s efektem ucpávání zařízení se koncentrují, vysrážejí se jako pevná látka nebo dochází k obojímu v procesu dělení vzduchu. I když ucpávání zařízení představuje provozní problém, může to také vést k suchému varu nebo k místnímu varu, což potom může vést ke koncentrování reaktivních nečistot s následným vytvářením hořlavých směsí. Jako nečistoty s efektem ucpávání zařízení jsou většinou voda, oxid uhličitý a oxid dusný.

Reaktivní nečistoty se v zařízení na dělení vzduchu, jednotce ASU, mohou koncentrovat a vytvářejí potom hořlavé směsi s kyslíkem nebo s obohaceným vzduchem. Jako nejdůležitější reaktivní nečistoty vzduchu jsou metan, etan, etylén, acetylén, propan a propylén. Ostatní vysoce vroucí uhlovodíky jsou v typickém případě odstraňované společně. Uhlovodíkové aerosoly z kouře a zákalu představují speciální typ znečišťujících látek a jsou diskutovány v odstavci 6.5. NO<sub>x</sub> a ozon jsou také reaktivní, ale nepředstavují hlavní předmět zájmu v řádně provozovaných zařízeních na dělení vzduchu.

Nečistoty, jak byly probrány v předchozím textu, se budou koncentrovat v kyslíku. Vodík a oxid uhelnatý se budou koncentrovat v dusíku, v odpadním dusíkovém produktu nebo v obou těchto proudech a obecně nepředstavují bezpečnostní rizika.

Korozní znečišťující látky (kyselé plyny a čpavek) mohou reagovat se zařízením a potrubím s následnými provozními problémy a sníženou provozní životností zařízení. Vzhledem k tomu, že tento dokument primárně pojednává o otázkách bezpečnosti, nejsou tyto látky diskutovány v nějakých větších podrobnostech, jako je tomu v případě nečistot vedoucích k ucpávání zařízení a nečistot reaktivních.

Tabulka 3 představuje standardní návrhový základ ohledně jakosti vzduchu, který v případě neexistence jiných dat může být použit jako maximální současně se vyskytující koncentrace ve vzduchu na vstupu do jednotky na dělení vzduchu. Jestliže tyto koncentrace jsou překročené, pak v takovém případě může být nutné provést změny v návrhu různých komponent jednotky na dělení vzduchu. Dodavateli musí být poskytnuta skutečná data ohledně příslušného místa, jakmile taková data jsou k dispozici.

**Tabulka 3 – Typický standardní návrhový základ ohledně kvality vzduchu**

Nečistoty	Návrhová kvalita vzduchu (ppm/v)
Acetylen	0,3
Oxid uhličitý	400
C <sub>4</sub> + uhlovodíky	1
Etan	0,1
Etylén	0,1
Metan	5
NO <sub>x</sub> (NO + NO <sub>2</sub> )	0,1
Oxid dusný	0,35
Propan	0,05
Propylén	0,2

## 6.2 Reaktivní nečistoty, které se koncentrují v kyslíku

Uhlovodíky a většina jiných reaktivních nečistot vykazují teploty body varu vyšší než je tomu u kyslíku. Koncentrují se v kapalinách bohatých na kyslík, které se nacházejí v patě kol a ve spodu vařáků. Primární nebezpečí spočívá v tom, že se uhlovodíky koncentrují v kapalném kyslíku LOX. Jestliže se tyto nečistoty koncentrují na spodní mez výbušnosti LEL, pak tedy může dojít k reakci s kyslíkem. Spodní mez výbušnosti LEL uhlovodíků v plynném kyslíku GOX se pohybuje mezi 5% a 10%, jestliže je toto vyjádřeno jako ekvivalent metanu a spodní mez výbušnosti LEL v kapalném kyslíku LOX je trochu vyšší [39].

Specifická nebezpečí pro každý uhlovodík jsou uvedena v následujících odstavcích:

- **Metan** je méně těkavý než kyslík a je zcela rozpustný v kapalném kyslíku LOX. Ve většině procesů jednotky na dělení vzduchu ASU je poněkud obtížné koncentrovat metan na nějaké nebezpečné hladiny.
- Těkavost a rozpustnost **Etanu** v kapalném kyslíku LOX, i když je menší než metanu, nevytváří žádnou významnou možnost ke koncentrování na nějaké nebezpečné úrovni nebo k vytvoření nějaké druhé kapalné fáze za předpokladu, že se udržuje v spodu vařáku nějaké odpovídající přiměřené profukování kapaliny.
- **Etylén** představuje zvláštní nebezpečí vzhledem k tomu, že se může vysrážet jako pevná látka za určitých provozních podmínek zařízení na dělení vzduchu a zvláště tedy, když kapalný kyslík LOX se vaří pod tlakem menším než 3,4 bara (44 psia) (viz EIGA 702/04 [2]). Jestliže je v sousedství nějaký zdroj etylénu, pak se musí provést úvaha o návrhu zařízení, aby bylo zajištěno, že etylén zůstane v bezpečných mezích a to buď prostřednictvím změn v procesu, přidáním přístrojového vybavení pro provádění analýz nebo zvýšením profukování kapaliny ve spodu vařáku.
- **Acetylén** je velice nebezpečnou reaktivní nečistotou. Vzhledem ke skutečnosti, že acetylén vykazuje nízkou rozpustnost v kapalném kyslíku LOX, pak tedy, jestliže vstupuje do bloku hlubokého chladu, bude se koncentrovat v kapalném kyslíku LOX a bude se vysrážet jako pevná látka při koncentracích tak nízkých jako 4 ppm až 6 ppm (přičemž toto závisí na tlaku kapalného kyslíku LOX). Tato pevná látka je relativně nestabilní vyžaduje malé energie ke svému vznícení. Jednotka dělení vzduchu, která je vybavená jednotkou pro předběžné čištění PPU odstraňuje ze vzduchu veškerý acetylén, takže se zajistí, že žádný acetylén nevstupuje do bloku hlubokého chladu. Zařízení, která jsou vybavena zařízením REVEX, neodstraňují acetylen ze vstupujícího vzduchu a musí se toto odstranění zajistit v bloku hlubokého chladu a v typickém případě se toto zajišťuje s použitím kryogenických adsorbérů.
- **Propan** představuje relativně nebezpečný uhlovodík a to vzhledem k jeho nízké těkavosti v porovnání s kyslíkem a vzhledem k jeho schopnosti vytvářet druhou kapalnou fázi, jestliže je k tomuto dosti vysoká koncentrace. Při nízkých tlacích se vytváří druhá kapalná fáze dříve než jeho koncentrace v kapalném kyslíku LOX dosáhne spodní meze výbušnosti LEL. Tato druhá kapalná fáze relativně čistého propanu by potom mohla reagovat s kyslíkem obohacenou fází, jestliže by došlo ke vznícení. Propan není odstraňován zařízením REVEX a je pouze částečně odstraňován v jednotce předběžného čištění PPU. Zbývající část se musí odstraňovat profukováním kapaliny.
- **Propylén** je podobný propanu v tom, že vytváří druhou kapalnou fázi v kapalném kyslíku LOX, jestliže jeho koncentrace je k tomuto dosti vysoká. Tato druhá kapalná fáze je reaktivní. Propylén je však odstraňován relativně snadno buď v jednotce předběžného čištění PPU nebo kryogenickou adsorpcí.
- **Jiné uhlovodíky** jsou uhlovodíky s vyšším bodem varu ( $C_4+$ ). Když se molekulová váha zvyšuje, rozpustnost v kapalném kyslíku LOX se snižuje. Je však třeba konstatovat, že tyto látky je možno snadno odstranit s použitím systémů na odstraňování stopových nečistot, jestliže tyto systémy jsou řádným způsobem provozovány.
- **NO<sub>x</sub>** může reagovat s kyslíkem, ale je odstraňován buď v jednotce předběžného čištění PPU nebo kryogenní adsorbci. Jako sloučeniny NO<sub>x</sub> jsou primárně „nitric oxide“ a oxid dusičitý

v atmosférickém vzduchu a jsou to vedlejší produkty nedokonalého spalování. Jestliže se dostanou do bloku hlubokého chladu, pak tedy „nitric oxide“ a oxid dusičitý budou vytvářet stále se zvětšující molekulovou hmotnost sloučenin  $\text{NO}_x$  (oxid dusitý, oxid dusičitý a oxid dusičný), které se potom mohou vysrážet a mohou způsobit ucpání zařízení. Za nízkých teplot mohou sloučeniny  $\text{NO}_x$  reagovat s jakýmkoliv nenasyčenými dieny, které se vyskytují v reverzačních výměnících tepla, za tvorby výbušných gum [78, 79, 81].

POZNÁMKA –  $\text{NO}_x$  („nitric oxide“ a oxid dusnatý) jsou jiné sloučeniny než oxid dusitý.

- **Ozón** je nestabilní a rozkládá se na kyslík, přičemž dochází k uvolňování tepla. Toto představuje potenciální nebezpečí. Ozón se odstraňuje buď v jednotce předběžného čištění nebo kryogenní adsorpcí.

### 6.3 Reaktivní nečistoty, které se koncentrují v dusíku

Vodík a oxid uhelnatý mají své teploty bodu varu nižší než je tomu u kyslíku a budou se tedy koncentrovat v dusíku. Koncentrační faktor je v typickém případě pouze dvakrát až desetkrát, takže tyto složky zůstávají v nízké ppm koncentraci. Vodík a oxid uhelnatý představují problém čistoty, jestliže se vyrábí dusík o velmi vysoké čistotě (UHP). Oxid uhelnatý představuje také problém čistoty, jestliže se vyrábí dusík NF. Tyto složky se musí odstranit jinými prostředky, jako je přídavná katalytická oxidace nebo čištění dusíku.

### 6.4 Komponenty způsobující ucpávání

- **Voda** je v kryogenních kapalinách velice málo rozpustná a před vstupem do destilačních kolon se musí kompletně odstranit. Voda se kompletně odstraní v REVEX nebo v jednotce předběžného čištění PPU.
- **Oxid uhelnatý** je v kapalném kyslíku LOX relativně nerozpustný a odstraňuje se v systému předběžného čištění PPU nebo v systému REVEX nebo kryogenní adsorpcí. Proplachovací proudy kapaliny vařáku mohou pomoci při udržení koncentrace oxidu uhličitého ve spodu vařáku pod bezpečnou mez (viz IGC 65/99, *Bezpečný provoz vařáku / kondenzátorů v jednotkách na dělení vzduchu* (CGA P – 8.4)) [40].
- **Oxid dusný** je v kapalném kyslíku LOX relativně nerozpustný, ale je více rozpustný než oxid uhelnatý. Tedy ve většině aplikací není zapotřebí odstraňování oxidu dusného. Částečně je odstraňován standardní jednotkou předběžného čištění PPU, avšak speciální návrhy této jednotky PPU mohou zvýšit účinnost takového odstraňování. Odstraňuje se také kryogenní adsorpcí. Proplachovací proudy kapaliny vařáku mohou pomoci při udržení koncentrace oxidu dusného ve spodu vařáku pod bezpečnou mez [40, 41].  
Poznámka –  $\text{NO}_x$  (oxid dusnatý a oxid dusičitý) jsou jiné sloučeniny než oxid dusný.

Meze rozpustnosti směsí oxidu dusného a oxidu uhličitého v kapalných kryogenních kapalinách jsou nižší než meze jejich jednotlivých komponent, jestliže obě složky jsou přítomny, poněvadž vytvářejí pevný roztok (viz odstavec 11.10).

### 6.5 Mlha a kouř z požárů

Mlha a kouř z lesních nebo polních požárů, nebo hoření jiné biomasy může představovat významné nebezpečí pro jednotky dělení vzduchu ASU. Rozbor jedné takové oblasti ukazuje, že emise z lesního požáru sestávají z:

- par komponent n-alkanů či parafinických uhlovodíků, aromatických uhlovodíků a některých kyslík obsahujících sloučenin, z uhlovodíků  $\text{C}_3$  až  $\text{C}_{21}$  a
- z aerosolů složených z kapiček o průměru 0,1  $\mu$  až 2  $\mu$ , hlavně uhlovodíků  $\text{C}_8$  až  $\text{C}_{36}$  [42].

V jednotce předběžného čištění PPU jsou adsorbovány pouze sloučeniny v parní fázi, ale aerosoly jsou v typickém případě příliš malé než aby byly zdrženy prachovými filtry na vstupujícím vzduchu nebo u



jednotky předběžného čištění, které v typickém případě zachycují částice 2  $\mu$  až 5  $\mu$  a větší. Aerosoly se budou hromadit ve spodu vařáku a časem se stanou významným nebezpečím.

Chod zařízení v prostředí s takovou mlhou / kouřem po dobu mnoha dní nebo týdnů může představovat významné nebezpečí. Ve většině případů je pravděpodobnost výskytu takového jevu nízká a není třeba realizovat žádná návrhová bezpečnostní opatření. Jestliže však takové podmínky jsou možné, může pak být zapotřebí vysoce účinné filtrace k tomu, aby se zabránilo vstupu těchto aerosolů do bloku hlubokého chladu. Tyto filtry mohou být umístěny na sání hlavního vzduchového kompresoru nebo bezprostředně před jednotkou dělení vzduchu ASU.

Jestliže zařízení na dělení vzduchu pracuje v takovém prostředí s mlhou / kouřem a není navrženo tak, aby mohlo pracovat s vysokou hladinou aerosolů, měla by být rychlost proplachování kapaliny zvýšena pokud je to jen prakticky možné. Zařízení na dělení vzduchu se musí velice pečlivě monitorovat na jakékoliv známky možného hromadění, jako je zvýšení tlakové ztráty, ucpaná síťka, zvýšení rozdílu teplot na vařáku a vyšší koncentrace uhlovodíků ve spodku vařáku. V závislosti na době trvání a intenzitě takového stavu mlhy by se mělo uvážit, zda neprovést odstavení jednotky na dělení vzduchu, provést odtavení nebo obojí.

POZNÁMKA – Mailinger uvádí, že odtavení, odmrazení není účinné pro odstraňování aerosolů [80].

## 6.6 Zdroje znečišťujících látek

Ve vzduchu se vznášející znečišťující látky mohou pocházet z řady zdrojů. Odvětrání, komíny, hoření, bažinaté oblasti, procesní netěsnosti a úniky, emise z ohřívačů na zemní plyn, spaliny z motoru s vnitřním spalováním, odfuky systémů mazání strojů, zavážky a skládky, lesní a polní požáry a většina obvyklých a častých zdrojů. Chemické a naftařské, petrochemické procesy v sousedství a další procesy v místě instalace zařízení na dělení vzduchu se musí pečlivě zkoumat jako možné zdroje znečištění.

Acetylenové láhve se nesmí skladovat nebo užívat v blízkosti přívodu vzduchu do běžícího hlavního vzduchového kompresoru.

V blízkosti vstupu vzduchu do vzduchového kompresoru by měly být umístěny výstražné značky zakazující parkování a provoz spalovacích motorů a svařovacích zařízení v této oblasti. Byly případy, kdy výskyt acetylénu v kapalině hlavního kondenzátoru byl připsán výfukům z diesel lokomotiv na blízké železniční trati.

## 6.7 Identifikace znečišťujících látek

Nečistoty je možno identifikovat prostřednictvím analýzy okolního vzduchu. Jestliže není k dispozici analytické zařízení, pak příspěvek ke znečištění okolního vzduchu z nějakého daného zdroje se může stanovit prozkoumáním reakce nebo procesního proudu, ke kterému je výfuk, komín nebo svíčka připojené. Tak na příklad, u petrochemického zařízení za podmínek, kde je provoz zařízení mimo svůj stabilní vyrovnaný provoz, je možno spočítat nebo přesně odhadnout typy a množství chemických látek, které by mohly být vyfukovány, jelikož mohou proudit z pojistného ventilu nebo odfuku. Tabulka 3 poskytuje standardní základ návrhu kvality vzduchu pro typické průmyslové okolní prostředí. Toto je možno použít, jestliže nejsou k dispozici jiné informace.

## 6.8 Umístění přívodu vzduchu

Místo, kde je odebírán vzduch pro vzduchový kompresor, musí být mimo místo potenciálního zdroje vzduchem unášených nečistot. Tato vzdálenost od těchto míst závisí na schopnosti zařízení odstraňovat nečistoty, aby se zabránilo nebezpečným úrovním nečistot uvnitř zařízení na dělení vzduchu a stejně tak to závisí na rychlosti větru a na dalších povětrnostních podmínkách, které mohou ovlivnit zředění nebo rozptýlení znečišťujících látek.

Vyvýšený přívod vzduchu může s sebou přinášet výhodu plynoucí z rychlosti větru a jiných povětrnostních podmínek, které mohou ovlivnit zředění nebo rozptýlení znečišťující látek. V krajním případě je možno uvažovat dva přívody vzduchu, které jsou umístěny tak, že v případě, že vzduch u jednoho přívodu je znečištěn, pak střídací přívod vzduchu je umístěn tak, aby byl buď proti větru nebo s bočním větrem od zdrojů znečištění.

## 6.9 Monitorování přívodu vzduchu

Analýza přiváděného vzduchu může být jako nezbytná v případech, kdy je vysoká pravděpodobnost znečištění vzduchu okolního prostředí. Analytické metody se v tomto případě mohou měnit od periodického stanovování celkových koncentrací uhlovodíků ke kontinuální analýze jak pro identifikaci tak pro hladinu koncentrace každého druhu uhlovodíků. Typ a frekvence takové analýzy se musí stanovit specificky pro každé zařízení, přičemž se musí brát v úvahu návrh procesu zařízení a prostředí, ve kterém zařízení pracuje.

V místech, kde se provádí kontinuální analýza, se musí data o nečistotách zaznamenávat. Tyto záznamy se musí periodicky zkoumat, aby bylo možno stanovit, zda nedochází v tomto ohledu k vývoji nějakých trendů. Jakékoliv ztelnější zvýšení hladin znečišťujících látek se musí zkoumat a pokud možno co nejdříve řešit.

Analýzátor, který normálně provádí monitorování přiváděného vzduchu, se může přesunout ke kapalině spodu vařáku nebo k produktu LOX (kapalný dusík) k provádění periodické analýzy koncentrace nečistot.

Zařízení na dělení vzduchu, která jsou umístěna v místech, kde takové nebezpečí existuje a kde je provoz bez obsluhy nebo zautomatizovaný, by měla zahrnovat funkci řídicího systému pro odstavení zařízení na dělení vzduchu ASU, když úrovně koncentrací jsou vysoké.

## 7 Kompresory

Tato část v přehledu uvádí typy kompresorů v jednotkách na dělení vzduchu, v jejich pomocných systémech a v uvažovaných speciálních aplikacích. Hlavními typy kompresorů jsou dynamické stroje nebo turbínové stroje, které zahrnují axiální a odstředivé, radiální kompresory a objemové stroje zahrnující typy s vratným pohybem, membránové, rotační a šroubové.

### 7.1 Axiální kompresory

Axiální kompresory se obvykle používají pro hlavní vzduchový kompresor u velkých zařízení na dělení vzduchu. Když se používá axiálních kompresorů, měly by se brát v úvahu dynamické provozní charakteristiky kompresoru se zvláštním důrazem na rázové podmínky. Je zapotřebí provádět přísný kritický rozbor torzní a příčný u celého systému kompresor – převodové ústrojí – motor. Je tu obvyklé použití jedné nebo více řad stavitelných lopatek statoru pro regulaci výkonu kompresoru. Musí se věnovat pozornost návrhu ovládacího mechanismu lopatky statoru s důrazem na prevenci úsad rzi a nečistot na tomto mechanismu, což vede k uváznutí během provozu. Speciální pozornost se také musí věnovat prvním třem řadám rotačních lopatek, kde vlhkost může způsobit rezavění a porušení vyvážení. Těleso kompresoru by mělo být navrženo na maximální možný tlak, ke kterému může dojít za jakéhokoliv provozního stavu včetně rázů. Bezpečnostní normy pro kompresor jsou dány v ASME B19.1, *Bezpečnostní normy systémů vzduchového kompresoru*, a ASME B19.3, *Bezpečnostní normy kompresorů v procesních odvětvích průmyslu* [43, 44].

## 7.2 Odstředivé kompresory

Odstředivé kompresory se široce používají pro provoz hlavního vzduchového kompresoru, stejně tak jako na kyslíkový produkt, na dusíkový produkt a pro provoz dusíkového cyklu. Jako je tomu u axiálního stroje, pečlivá pozornost by se měla věnovat provozním charakteristikám v porovnání s očekávanými požadavky na provoz zařízení. Pro každé zařízení by se měl provádět přísný kritický rozbor torzní a příčný včetně ozubeného převodu a pohonu. Těleso kompresoru by mělo být navrženo na maximální možný tlak, ke kterému může dojít za jakéhokoliv provozního stavu včetně rázů. Regulace výkonu se v typickém případě provádí pomocí nastavitelných vstupních vodičích lopatek minimálně na prvním stupni kompresoru.

## 7.3 Další úvahy o dynamických kompresorech

### 7.3.1 Regulace proti rázu

Všechny axiální a odstředivé kompresory musí být vybaveny automatickým regulačním systémem proti rázu s vhodným obtokem nebo vypouštěcím ventilem. Čas odezvy neboli časová konstanta tohoto systému proti rázu by měla být konzistentní s dynamikou procesního systému.

### 7.3.2 Zpětný ventil

Zpětný ventil musí být nainstalován na výstupním výtlačném vedení bezprostředně za odvětrávací nebo recirkulační obtokovou přípojkou všech dynamických kompresorů, aby se tak zabránilo rázu a obrácenému otáčení. Při provozu s vlhkým plynem by měly být pohyblivé části provedeny z nerezavějícího materiálu, aby tak byl zajištěn řádný provoz ventilu.

### 7.3.3 Monitorovací zařízení

Musí se dodržovat doporučení výrobce ohledně monitorování provozních parametrů, výstražných signalizací a odstávek.

Sondy vibrací typu reagující na přiblížení a příslušné monitory musí být nainstalovány na systémech axiálních a odstředivých kompresorů k měření pohybu hřídele a k ovládní systémů výstražných signalizací a odstavení z provozu. Data z těchto snímačů by se měla periodicky analyzovat. Jestliže odečítané hodnoty nejsou normální nebo je kompresor odstaven v důsledku vysokých vibrací, může pečlivý kritický rozbor takových dat provedený specializovanými odborníky poskytnout pohled na příčiny vysokých odečítaných hodnot vibrací. Dokud se příčina vysokých odečítaných hodnot vibrací nevyřeší a neodstraní, nesmí se takový kompresor znovu spouštět.

Může dojít k přetížení motorů pohánějících dynamické kompresory za určitých podmínek zimního období nebo za abnormálních provozních podmínek. Je možno věnovat pozornost regulátorům meze intenzity proudu převyšujícím regulaci výkonu stroje.

### 7.3.4 Stupňovaná těsnění

Všechny dynamické nebo turbokompresory používají určitý typ odstupňovaných hřídelových těsnění za účelem minimalizace nebo eliminace úniku tlakového procesního plynu ven do okolního prostředí a aby se zabránilo znečištění procesního plynu olejem. Těchto stupňových těsnění se také používá k regulaci úniků procesního plynu mezi stupni kompresoru na společné hřídeli. Nejvíce používaným typem stupňovitých hřídelových těsnění je systém labyrintových těsnění, kde určitý únik se může tolerovat. V závislosti na požadavcích procesu, na nebezpečí nebo na obojím v souvislosti se stlačovaným plynem, je možno použít jiné typy těsnění. Příklady jiných typů těsnění jsou uvedeny v následujícím:

- Jednoduchá nebo vícenásobná labyrintová těsnění s vyrovnáváním dovolují zavádět mezi labyrinty ucpávkový vyrovnávací plyn pro účely maximálního zadržení procesního plynu a v typickém případě se tento typ těsnění používá u kyslíkových a dusíkových kompresorů. Jako obvyklý ucpávkový plyn se používá dusík.
- Plovoucí těsnění s uhlíkovými kroužky se používají k zajištění minimálního úniku procesního plynu a v typickém případě se používají u dusíkových kompresorů a u některých vzduchových kompresorů. Tato plovoucí těsnění s uhlíkovými kroužky nacházejí široké použití v takových případech, kde tlaky stlačeného plynu jsou vysoké a úniky by byly drahé, nebo
- Dynamická těsnění se suchým plynem se používají k zajištění minimálního úniku procesního plynu během provozu a pro téměř přetlakové utěsnění během odstávky. Dynamická těsnění se suchým plynem se v typickém případě používají tam, kde úniky procesního plynu jsou nebezpečné nebo drahé.

Labyrintová těsnění se také používají k tomu, aby se zabránilo migraci mazacího oleje z těles ložiska kompresoru do okolního prostředí nebo do procesního plynu. V nádrži mazacího oleje kompresoru se udržuje mírný podtlak, aby bylo zajištěno, že skutečně do hřídelového těsnění vstupuje ucpávkový vzduch.

## 7.4 Pístové kompresory

Pístové kompresory se široce používají na produktech jako tedy na kyslíku, dusíku a na surovém argonu a pro provoz na vysokotlakém vzduchu. Jako dva typy pístových kompresorů jsou kompresory s nemazanými válci, bezmazné a kompresory s mazanými válci. V následujícím jsou uvedeny některé faktory, které ovlivňují volbu pístového kompresoru:

- složení plynu,
- kompresní poměry,
- tolerance ohledně znečištění plynu olejem,
- požadavky na údržbu.

### 7.4.1 Nemazané válce

Je k dispozici několik materiálů pro nemazané pístní kroužky, kroužky jezdců a pro těsnění tyče. Většinou obvykle používanými materiály jsou Teflon a plněný Teflon. Zvláštní pozornost by se měla věnovat konečné úpravě povrchu pístních tyčí a stěn válce při bezmazném provozu a to nejenom při přípravě zařízení k provozu a při uvádění do provozu, ale také během provozní životnosti zařízení. Ventily kompresorů při provozu bez mazání mohou mít teflonové nebo ekvivalentní knoflíky nebo vedení.

### 7.4.2 Olejem mazané válce

Výrobce kompresoru doporučuje specifikace maziva válce, které závisí na očekávaných teplotách, na velikosti válce, na rychlosti pístu a na charakteristických vlastnostech stlačovaného plynu. Pro mazání válce a převodů (kliková skříň) se používají různá maziva. Maziva pro válce a klikovou skříň by se neměla vzájemně zaměňovat nebo míchat.

Jestliže se v klikové skříni použije minerální olej, pak tedy by se měl periodicky testovat za účelem stanovení toho, zda došlo k migraci syntetického oleje z válců podél pístních tyčí a do klikové skříně. Jestliže koncentrace syntetického oleje přesáhne hodnotu doporučenou výrobcem, pak se tedy musí provést výměna oleje klikové skříně.

Jestliže se minerální olej používá při provozu na vzduch, pak je v takovém případě důležité periodicky kontrolovat tvorbu karbonu, uhlíku v zařízení a v potrubí ve směru technologického toku za kompresorem. Krátce po spuštění by se měly kontrolovat ventilové kapsy a potrubí za účelem

stanovení, zda byly použity správné rychlosti přívodu. Přílišné rychlosti přívodu způsobují vyšší usazování karbonu a možné zanesení kapaliny.

Jestliže se stávající kompresor převádí z minerálního oleje na syntetický olej, měl by být konzultován jak výrobce kompresoru tak výrobce maziva. Obvykle se musí důkladně vyčistit kompletní vnitřek válců, maznice, mezichladiče a vzájemně propojovací potrubí a v některých případech musí být odstraněny stávající vnitřní nátěry. Průhledítka na maznicích provedená z umělé hmoty musí být nahrazena skleněnými. Všechna pryžová a neoprenová plochá těsnění se musí nahradit těsněními z Teflonu nebo z plněného Teflonu. Výrobce kompresoru by měl dodat stírací kroužky klikové skříně a pístní tyče jako efektivní v obou směrech, aby se syntetické mazivo válce nemohlo dostat do klikové skříně, která ještě bude používat minerální olej.

Míra mazání válce by měla být jako minimální nezbytná pro omočení celé stěny válce. Vyšší míra mazání má za následek přílišné úsady karbonu na ventilech a v průchodech. Neměly by se vyskytovat žádné louže oleje ve ventilových komorách nebo v propojovacím potrubí. V závislosti na typu oleje a maznice je jako obecně dostačující jedna kapka z maznice za minutu na válec pro 93 m<sup>2</sup> (1000 ft<sup>2</sup>) povrchu mazaného válce za minutu. Výrobce kompresoru doporučuje rychlosti přivádění pro každý válec při spouštění, avšak vodítkem pro další seřizování a nastavování by měla být zkušenost z následných kontrol.

V případě použití olejem mazaných kompresorů je třeba u zařízení ve směru toku za kompresorem odstranit olej z proudu procesního plynu. Toto v typickém případě sestává z použití mechanických separátorů, po kterých následují filtry, shlukovače, adsorpční vrstvy nebo jde o jakékoliv kombinace těchto prvků. Tyto systémy se musí udržovat v souladu s doporučeními výrobce, aby tak bylo zajištěno kompletní odstranění oleje. Toto je zvláště kritické, když kompresor je hlavním vzduchovým kompresorem a přestřík oleje by vedl k zanesení bloku hlubokého chladu.

#### **7.4.3 Vodou mazané válce**

Válce kompresorů mazané mýdlovou vodou nebo vodou by měly být provozovány v souladu s pokyny výrobce. Nikdy by se nemělo používat mýdla typu detergentu. Měla by se věnovat pozornost použití destilované nebo demineralizované vody, aby se zabránilo silným úsadám mýdla na ventilech.

#### **7.4.4 Válce mazané halogenovaným olejem**

Válce kompresoru mazané halogenovaným olejem by měly být provozovány v souladu s pokyny výrobce. Jsou k dispozici halogenovaná maziva, která jsou bezpečná pro použití v systémech kyslíkového kompresoru.

#### **7.4.5 Rozpěrné kusy**

Jednokomorové distanční kusy jsou akceptovatelné při provozu kompresoru na vzduch nebo na inertní plyn. Dvoukomorový distanční kus by se měl používat při bezmazném provozu na kyslík a v klikové skříně kompresoru se musí udržovat mírný podtlak. Řádný návrh distančního kusu by měl vyhovět jednomu plnému zdvihu plus prostor potřebný pro odstříkovací kroužek na pístní tyči tak, aby žádná část pístní tyče, která je omočená olejem z klikové skříně se nedostala do styku s kteroukoliv z částí, které jsou ve styku s procesním plynem. Při provozu s vysoce čistým plynem může být distanční kus na straně válce pod tlakem, aby se tak zabránilo znečištění procesního plynu vzduchem.

#### **7.4.6 Kompresory s labyrintovým těsněním**

Kompresory s vertikálním labyrintovým těsněním se používají jak při provozu s kyslíkem tak při provozu s inertním plynem a závisí na těsně namontovaném pístu s drážkováním labyrintu pro utěsnění. V případě utěsnění tyče se používají karbonové labyrintové kroužky.

### 7.4.7 Regulace výkonu

U pístových kompresorů je regulace výkonu normálně zajišťována prostřednictvím kapes vůle, ventilových zdvihátek, odlehčovačů ventilu nebo pomocí automatických recirkulačních ventilů. Měla by být věnována pozornost volbě kapes vůle, aby se nesnížil výkon na jedné straně válce o více než 50%, aby se tak zabránilo přílišné opětné kompresi plynu a následnému potom přehřátí. Jednotky s více stupni potřebují uzpůsobení redukce výkonu na všech stupních, aby se zabránilo vysokým teplotám na výstupu, které by byly způsobené nevyrovnanými kompresními poměry.

### 7.4.8 Pulzační láhve

V případě všech mazaných kompresorů se musí pulzační lahve periodicky kontrolovat na karbonové úsady a v případě potřeby se musí vyčistit.

### 7.4.9 Speciální úvahy o provozu na dusík

Při provozu mazaného pístového dusíkového kompresoru je možné, že se nahromadí určité množství neoxidovaného uhlíkatého materiálu. U těchto systémů došlo k výbuchu, když koncentrace kyslíku v plynu se zvýšila na významně vyšší hodnotu než je hodnota normální. Dusíkový systém by se měl monitorovat za účelem zjištění nějakého významného zvýšení koncentrace kyslíku. Mazané pístové stroje, které se po dlouhou dobu používají v provozu na dusík nebo na jiné inertní plyny, se musí kontrolovat a čistit od částic vznikajících v důsledku opotřebení nebo od úsad maziva a teprve potom mohou být použity v provozu s kyslíkem.

### 7.4.10 Monitorovací zařízení

V závislosti na velikosti kompresoru a na použití kompresoru jsou místa uvažovaná pro indikátory, ukazovací přístroje, dálkové výstražné signalizace nebo pro ústrojí k odstavení stroje, podle doporučení výrobce.

Na všech pístových kompresorech by měl být namontován spínač vibrační seismického typu. U velkých jednotek by měl být uvažován minimálně jeden spínač na každé dva kompresní zdvihy.

## 7.5 Membránové kompresory

Membránové kompresory se normálně používají v takových případech, kdy je zapotřebí komprese médií bez nečistot na vysoký tlak. Požadavky na převody, chlazení a monitorování jsou podobné, jako je tomu u pístových kompresorů. Měla by být věnována pozornost systémům pro detekci netěsností na membráně.

Při použití membránového kompresoru v provozu na kyslík by hydraulickou tekutinou pod membránou měl být roztok mýdlové vody nebo halogenovaná tekutina vzhledem k tomu, že je bezpečná při použití v provozu na kyslík. Vzhledem ke skutečnosti, že u membrán může docházet k únavovým porušením a hydraulická kapalina se dostane do styku s plynným kyslíkem, je žádoucí v tomto případě nainstalovat detekční zařízení ke zjišťování úniků média.

## 7.6 Rotační objemové kompresory

Rotační objemové kompresory se v typickém případě v nízkotlakých případech používají pro provoz se vzduchem a inertním plynem. Tyto rotační objemové kompresory by měly být opatřeny těsněními, aby se zabránilo možnému znečištění procesního plynu olejem.

## 7.7 Kompresory chladícího plynu

Jak odstředivé stroje tak objemové stroje se používají v provozu chlazení. Zvláštní pozornost by měla být věnována provozu zařízení na odlučování oleje vzhledem k tomu, že olej se může míchat s chladícím médiem. Měl by být udržován správný provoz odlehčovačů, obtoku horkého plynu nebo oběma, aby se tak zabránilo vstupu kapalného chladícího média do kompresoru za podmínek nízkého zatížení, což může vést k závažným poškozením zařízení. Přechod na provoz s alternativním chladícím médiem musí být prováděn podle doporučení ze strany výrobce.

## 7.8 Šroubové kompresory

Šroubové kompresory se mohou používat v provozu na vzduch, inertní plyny nebo chladící média. Tyto šroubové kompresory jsou buď olejem mazané nebo bez mazání. V případě použití kompresorů mazaných olejem je zapotřebí, aby v zařízení ve směru technologického toku za kompresorem byl olej odstraněn z proudu procesního plynu. Toto v typickém případě sestává z použití mechanických separátorů, po kterých následují filtry, shlukovače, adsorpční vrstvy nebo jde o jakékoliv kombinace těchto prvků. Tyto systémy se musí udržovat v souladu s doporučeními výrobce, aby tak bylo zajištěno kompletní odstranění oleje. Toto je zvláště kritické, když šroubový kompresor je hlavním vzduchovým kompresorem a přestřik oleje by vedl k zanesení bloku hlubokého chladu.

## 7.9 Systémy mazání

Systém mazání by měl být přiměřený vzhledem k jednotlivým požadavkům příslušného zařízení. Obecně lze konstatovat, že tento systém bude zahrnovat nádrže oleje, chladič, filtry, čerpadla a pomocné regulační zařízení.

### 7.9.1 Čerpadla

Jako minimální provedení, měl by být mazací systém vybaven hlavním olejovým čerpadlem a rezervním, záložním zdrojem oleje. Hlavní olejové čerpadlo může být poháněno hřídelí, motorem, může být opatřeno parním nebo pneumatickým pohonem. Jako náhradní zdroj může být čerpadlo s motorovým pohonem, parním pohonem nebo pneumatickým pohonem nebo to může být systém tlakového zásobníku oleje. Jestliže se použije dvou čerpadel, pak tato čerpadla by neměla být závislá na stejném zdroji energie. Každé čerpadlo by mělo být vybaveno filtrem nainstalovaným na vstupu do čerpadla a zpětným ventilem na výtlaku čerpadla. V případě použití systému se zásobníkem by tento měl být automaticky uveden v činnost pro dodávání oleje do ložisek kompresoru během dojezdu, jestliže by došlo k poruše hlavního čerpadla.

Tlak v akumulačním zásobníku by se měl kontrolovat během časově plánované údržby kompresoru.

Měla by být učiněna opatření k tomu, aby bylo umožněno odpovídající mazání dynamických kompresorů během výpadku hlavního čerpadla mazání. Tyto alternativy zahrnují následující:

- ochrana proti opačnému směru otáčení u hlavního olejového čerpadla,
- akumulační nádrže oleje membránového typu, které jsou dimenzované pro dodávání dostatečného množství oleje pro dojíždění a
- nadzemní nádrže oleje, které jsou odpovídajícím způsobem dimenzované pro dodávání dostatečného množství oleje pro dojíždění.

### 7.9.2 Filtry

Při filtraci oleje by se měly odstranit částice větší než 10  $\mu$ . Výměna takových filtrů by se měla provádět kdykoliv tehdy, když se dosáhne výrobcem specifikovaného maximálního dovoleného tlakového rozdílu. Je možno v tomto případě použít zdvojených filtrů oleje. Tyto jednotky by měly být v potrubním paralelním zapojení s použitím ventilů kontinuálního převodu průtoku, které se

montují na straně sání a na straně výtlačku. Měla by být učiněna opatření k umožnění výměny filtračních vložek během normálního provozu. Každé těleso filtru by mělo být opatřeno odvětrávacími a plnicími ventily, aby tak bylo umožněno kontrolované přidávání oleje do nově vyměňované jednotky a dále by měly být opatřeny vypouštěcí ventily za účelem usnadnění odmontování filtru.

### 7.9.3 Chladiče

Výměníky tepla by měly být navrženy podle TEMA, ASME nebo jiných průmyslových nebo národních sbírek norem, podle toho, jak je to zapotřebí [48, 49] a měly by být v souladu s PED [97]. Tlak mazacího oleje by měl být vyšší než tlak chladicího média, aby se tak zabránilo úniku vody do oleje během provozu.

### 7.9.4 Zásobník

Objem této zásobní nádrže by měl být dostatečný k tomu, aby mohl přijmout veškerý olej z mazacího systému, poněvadž při odstavení se olej odvádí do této zásobní nádrže. V případech, kdy takové nadzemní nádrže nebo akumulární zásobníky se používají pro potřeby dojetí v nouzovém případě, musí být do těchto zásobních nádrží zabudován dostatečný zvláštní objem k tomuto účelu. Tento zásobník musí být utěsněn, aby se zabránilo vnikání nečistot a vlhkosti do oleje.

### 7.9.5 Regulace a přístrojové vybavení

U velkých kompresorů by měly být v tlakových systémech mazacího oleje opatřeny dvojitě snímače tlaku mazacího oleje. Toto přístrojové vybavení by mělo spustit pomocné olejové čerpadlo, odstavit kompresor a poskytnout povolovací signál startu.

Mělo by být zahrnuto přístrojové vybavení k detekci následujících podmínek:

- nízký tlak oleje (výstražná signalizace a odstavení),
- vysoká teplota oleje (výstražná signalizace),
- nízká hladina mazacího oleje v jímce (výstražná signalizace a odstavení ohříváče mazacího oleje),
- vysoký diferenční tlak na olejovém filtru (výstražná signalizace),
- nízká teplota mazacího oleje (pouze povolovací start) a
- provoz zálohového čerpadla (výstražná signalizace).

Za každým objemovým čerpadlem by měl být zahrnut odlehčovací pojistný ventil tlaku a ke kontrole tlaku systému by měl být použit regulační ventil tlaku. Snímání tlaku pro regulační ventil by mělo být na přívodu oleje do zařízení.

U chladiče oleje by měl být nainstalován regulační ventil teploty oleje k udržení požadované teploty na přívodu oleje.

### 7.9.6 Maziva pro převody, převodové skříně, klikové skříně

V této části jsou popsána maziva k použití v převodech, v převodových skříních a v klikových skříních u všech typů kompresorů. Maziva pro válce pístových kompresorů jsou popsána v části 7.4.2.

Obecně by se měl použít mazací olej dobré jakosti, který odpovídá doporučením výrobce. Tyto mazací oleje mohou být buď minerální oleje nebo směs syntetických olejů.

Zkoušení mazacího oleje by se mělo provádět pravidelně, podle časového rozpisu. Minimální zkoušky, které se provádějí, by měly zahrnovat následující:

- spektrální chemická analýza – chemický obsah,
- analýza fyzikálních vlastností – počítání partikulátu, částic, váhová a objemová procenta,



- viskozita,
- testování neutralizačního čísla –obsah kyselin a
- obsah vody.

### 7.10 Chladiče a odlučovače

Chladiče by měly být navrženy podle TEMA, ASME nebo podle jiných národních nebo průmyslových norem, jak to bude zapotřebí [48, 49] a měly by vyhovovat PED [97]. Speciální pozornost by měla být věnována chemickým nečistotám v okolním prostředí, které mohou vést k vytvoření kyselých podmínek v mezichladičích a dodatečných chladičích vzduchového kompresoru, což vede ke korozi napětím u trubek chladiče. Je zde důležité zajištění odpovídajícího přívodu čisté, upravené chladicí vody.

### 7.11 Filtry nebo sítka na sání

Každý kompresor musí být vybaven filtrem na sání nebo sítkem na sání, aby se tak zabránilo vstupu částic do kompresoru. Tento filtr nebo sítko musí být v provedení podle doporučení výrobce.

#### 7.11.1 Filtry vzduchu na vstupu

Bude požadována dvoustupňová filtrace. V případě silně znečištěných prostředích by se mělo počítat s dodatečnou filtrací. V případě, že je to zapotřebí, musí být opatřena sítka proti hmyzu a kryty proti dešti.

U velkých zařízení na dělení vzduchu se doporučuje nainstalovat výstražnou signalizaci diferenčního tlaku. Velká tělesa filtrů by měla být chráněna proti příliš vysokému diferenčnímu tlaku, který by mohl způsobit zborcení jako důsledek zablokování filtru.

#### 7.11.2 Jiná sítka na sání

Okatost sítka by měla být v souladu s doporučeními výrobce kompresoru. Toto sítko by mělo být navrženo tak, aby vydrželo plný provozní tlak, který na ně působí v tomto místě systému. Na takovémto filtru se může aplikovat měřidlo diferenčního tlaku, aby bylo možno stanovit potřebu čištění.

#### 7.11.3 Úvahy o filtrech pro pístové kompresory

Volba, návrh a konstrukční provedení filtrů na sání pístových kompresorů musí brát v úvahu efekt pulsací toku proudu plynu.

### 7.12 Speciální úvahy o provozu na kyslík

Při stlačování kyslíku a při práci s kyslíkem existují speciální nebezpečí a je třeba zvláštní pozornosti a je nutno použít speciální materiály v takovém případě a dodržovat speciální provozní podmínky pro zajištění bezpečného provozu kyslíkového kompresoru. Zvláště tedy, teplota plynu na výstupu z každého stupně kompresoru se musí udržovat na hodnotě nebo hodnotou, jak je uvedeno ve specifikacích výrobce kompresoru. Podrobnosti v tomto ohledu jsou uvedené v IGC 13/02 *Kyslíkové potrubní systémy* (CGA G-4.1, CGA G-4.4 *Průmyslové způsoby přenosu plynného kyslíku a rozvodné potrubní systémy*), CGA G-4.6, *Montáž kyslíkového kompresoru a návod k provozu*, IGC 27/01/E, *Odstředivé kompresory pro provoz na kyslík*, a IGC 10/81, *Speciální úvahy o použití pístových kompresorů v provozu s kyslíkem* [29, 45, 46, 47, 82].

Každý kyslíkový kompresor by měl být vybaven oddělovacími ventily na vstupním a na výtlačném potrubí. Pro zajištění maximální bezpečnosti by měly být tyto ventily opatřeny dálkovým ovládním

s ruční a automatickou regulací. Mezi oddělovacími ventily a přírubou na výtlaku kompresoru by měl být nainstalován odvětrávací ventil.

U nemazaných pístových kyslíkových kompresorů může být utěsnění pístní tyče vodou chlazené.

Čistící otvor, ventilová zdvihátka a odhlehčovací ventil nebude používán v pístových kyslíkových kompresorech.

### 7.13 Provozní postupy a postupy údržby

K uvedení do provozu, tedy ke spuštění každé kompresorové jednotky, k jejímu provozování a odstavení se musí použít písemných postupů. Periodicky se musí monitorovat klíčové provozní parametry. Nenormální podmínky a trendy se musí prošetřovat a vyřešit. Zvláště tedy, kompresory produktů by měly být odstaveny při nízkém tlaku na sání, aby se tak zabránilo znečištění produktu, strhávání vakua nebo obojímu u kryogenického zařízení.

Pro každou kompresorovou jednotku by měl být připraven časový rozpis preventivní údržby. Frekvence provádění preventivní údržby by měla být založena zpočátku na doporučeních prodejce a eventuálně na základě historických dat.

## 8 Odstranění látek znečišťujících vzduch

### 8.1 Metody odstraňování nečistot

Existují různé metody odstraňování stopových komponent, jak je uvedeno v následujícím:

- Jednotky **předběžného čištění PPU** sestávají ze dvou nebo více nádob naplněných adsorbentem. Jedna nádoba pracuje a odstraňuje nečistoty ze vzduchu, zatímco druhá nádoba je mimo hlavní provoz linky a je ve stádiu regenerace. Tato nádoba může být opatřena jednou, dvěma nebo více vrstvami či loži adsorbující látky, přičemž toto je na míru navrženo k odstraňování specifických komponent. Typické používané adsorbenty jsou přirozený oxid hlinitý (alumina) či alumogel pro potřeby odstraňování vody a molekulové síto 13X pro potřeby odstraňování vody, oxidu uhličitého a uhlovodíků. Jednotky předběžného čištění PPU odstraňují veškerou vodu obsaženou ve vzduchu, odstraňují více jak 99,9 % oxidu uhličitého a odstraňují mnoho uhlovodíků. Některé lehké uhlovodíky zde nejsou odstraňovány a toto potom musí být zajištěno v bloku hlubokého chladu v kombinaci s profukováním kapaliny a kryogenickými adsorbéry.
- Jednotky **REVEX** sestávají z jedné nebo více BAHX. Vzduch se všemi nečistotami v něm obsaženými se vede do BAHX. Voda, 99% oxidu uhličitého a výše vroucí uhlovodíky jsou v jednotce REVEX vymražené a odstraněné. Po určitém časovém období (2 minuty až 15 minut) je průchod vzduchu odtlakován a odpadní plyn z procesu se vede stejnou cestou v protiproudu do vzduchu. Nečistoty jsou odstraňovány proudem nízkotlakého odpadního plynu a průchody jsou vyčištěné. Jsou periodicky přepínány dvě sady střídajících se průchodů, aby tak byl udržen konstantní průtok vyčištěného vzduchu do destilačních kolon. Některé ze znečišťujících látek se v tomto systému REVEX neodstraní, primárně se jedná o stopová množství oxidu uhličitého a nízko vroucí uhlovodíky včetně acetylénu. Kryogenické adsorbéry a proplachování kapaliny brání koncentrování těchto sloučenin na nebezpečné hladiny v zařízeních dále ve směru technologického toku.
- **Regenerátory** jsou podobné jednotce REVEX s tím rozdílem, že namísto BAHX, nádoby naplněné křemencovým oblázkovým šterkem jsou tu použity, aby působily jako jakási tepelná jímka. Když je vzduch ochlazován chladem uloženým v těchto křemencových oblázcích, dochází k vymrznutí nečistot na těchto oblázcích a tyto nečistoty jsou tedy odstraňovány z proudu vzduchu.

Po časovém období asi (2 minuty až 15 minut) se provede přepnutí těchto nádob a odpadní plyn odstraňuje vymrzlé nečistoty a ochlazuje tyto obložky na provozní teplotu. Dvě sady přepínacích regenerátorů se periodicky přepínají a tímto se udržuje konstantní průtok vyčištěného vzduchu do destilačních kolon. Trubky obsahující produkty, kyslík nebo dusík, jsou někdy vedené skrze vrstvu těchto křemencových obložek, čímž dochází k ohřevu plynů na teplotu okolního prostředí. A také, část proudu vzduchu se může vést obtokem kolem těchto regenerátorů a je čištěna ve vysokotlakých sušičích, v jednotce RVEX, v louhových pračkách nebo v jakékoliv kombinaci těchto prvků. Některé nečistoty se v regenerátorech neodstraní a v první řadě se tedy jedná o stopová množství oxidu uhličitého a nízkou koncentraci uhlovodíků včetně acetylénu. Kryogenní adsorbéry a proplachování kapaliny zabrání tomu, aby se tyto látky koncentrovaly na nebezpečné hladiny v zařízení dále ve směru technologického toku.

- **Louhové pračky** se v typickém případě používají ve starších vysokotlakých jednotkách na dělení vzduchu. Vzduch ze vzduchového kompresoru s mezilehlým tlakem se nejdříve vede do louhových praček, kde dochází ke kompletnímu odstranění oxidu uhličitého prostřednictvím chemické reakce s cirkulujícím vodným roztokem hydroxidu sodného v absorpční koloně. Vzduch je potom dále komprimován na vysoký tlak v hlavním vzduchovém kompresoru na vysoký tlak. Veškerý olej a vysokovroucí uhlovodíky jsou odstraňovány v adsorbéru oleje a vzduch se potom vede do sušičů s aluminou, kde dochází k odstranění vody. Proud vzduchu je potom veden do hlavního výměníku tepla a zbývající uhlovodíky jsou odstraňovány v kryogenních adsorbérech a v kapalných produktech.
- **Katalytické oxidátory**, umístěné na výtlaku stupně vzduchového kompresoru se používají k oxidaci nečistot, jako jsou uhlovodíky, vodík a oxid uhelnatý. Acetylen vyžaduje teploty v rozsahu 152°C až 157°C (305°F až 315°F). Jiné znečišťující složky si mohou vyžadovat teploty až 427°C (800°F). K ověření řádného provozu těchto katalytických oxidátorů by měly být opatřeny analyzátory.
- **Dodatečné chladiče s přímým stykem** (DCAC) se u některých zařízeních používají za hlavními vzduchovými kompresory. Primárním účelem těchto jednotek je chladit horký vzduch před vstupem do jednotek předběžného čištění PPU nebo REVEX. Dodatečné chladiče s přímým stykem mohou také sloužit k čištění vzduchu od prachu a ve vodě rozpustných nečistot, jako je oxid siřičitý, sirovodík a čpavek.

Poznámka: Jestliže je zapotřebí toto čištění, je zapotřebí řádné úpravy vody.

Vzhledem k velkým množstvím vody v kapalně formě v přímém styku se vzduchem představuje separace kapaliny kritickou záležitostí. Přenos vody bude významným způsobem zatěžovat zařízení dále ve směru technologického toku, zvláště jednotku předběžného čištění PPU. Také se musí řádně ovládat a udržovat regulace hladiny kapaliny. Jestliže má regulace hladiny poruchu a voda se z dodatečného chladiče s přímým stykem DCAC neodstraňuje, pak se věž DCAC rychle zaplní vodou a dojde k rozsáhlému přenosu do zařízení dále ve směru toku. Toto způsobí velké škody na zařízení dále ve směru toku. Jestliže se však odstraní příliš velké množství vody, pak se ztratí kapalinový uzávěr na spodu DCAC a vysokotlaký vzduch se dostane do vratného potrubí chladičí vody do chladičí věže. Toto způsobí velké škody na chladičí věži, pokud se vratné potrubí chladičí vody řádně neodfoukne do bezpečného místa.

V systémech REVEX je průtok vzduchu mnohem větší během krátkého období kvůli průchodu proudů přepínacího vzduchu a dusíku. Toto se musí brát v úvahu při návrhu DCAC a systému odstraňování vody.

U mnoha zařízeních se k jednotce Dodatečného chladiče s přímým stykem DCAC přidává druhá část, kde chladičí voda dále ochlazuje vzduch. Tato ochlazená voda se může získávat buď v mechanickém chladiči nebo v odpařovacím chladiči, kde se část odpadu bohatého na dusík dostává do přímého styku s vodou. Malá část vody se odpařuje a současně se tak ochlazuje

zbývající voda. Toto chlazení může být dosti extenzivní a během zimního období se musí věnovat pozornost tomu, aby se zabránilo zamrzání vody.

**VÝSTRAŽNÉ UPOZORNĚNÍ:** Plyn ve věži je chudý na kyslík a může způsobit udušení.

Musí se také uvažovat možnost obohacení tohoto plynu kyslíkem během najíždění zařízení nebo výjimečných provozních stavů zařízení.

## 8.2 Stupně odstraňování nečistot

Stupně odstraňování nečistot jsou uvedeny v Tabulkách 4 a 5 společně s jinými metodami odstraňování stopových nečistot. Tabulka 4 ukazuje, která metoda odstraňování je účinná pro každou ze stopových nečistot a pro každý typ procesu.

Poznámka: - Žádný proces nezahrnuje všechny tyto stupně.

- Stupeň 1 Adsorpce na molekulovém síti nebo na přirozeném oxidu hlinitém v adsorbérech jednotky předběžného čištění
- Stupeň 2 Usazování ze vzduchu v jednotce REVEX a opětné odpařování do proudu nízkotlakého odpadního plynu
- Stupeň 3 Adsorpce na silikagelu ze vzduchu opouštějícího hlavní výměník a vstupujícího do destilačních kolon.
- Stupeň 4 Adsorpce ze surového kapalného kyslíku LOX opouštějícího spodek vysokotlaké kolony na silikagelu v adsorbérech kapalně fáze
- Stupeň 5 Adsorpce z čistého kapalného kyslíku LOX ve spodu nízkotlaké kolony na silikagelových „kuličkách“ v ochranném adsorbéru
- Stupeň 6 Odstranění v produktu kapalného kyslíku LOX (nebo proplachu) opouštějícím spodek nízkotlaké kolony
- Stupeň 7 Odstranění v produktu plynného kyslíku GOX opouštějícím spodek nízkotlaké kolony (jestliže se kapalným kyslíkem LOX odebírá ze spodu a odpařuje se v hlavním výměníku tepla, pak je toto typ odstraňování – stupeň 6)

**Tabulka 4 – Typické odstraňování v procesu předběžného čištění PPU**

Stupeň	1 (PPU)	3 a 4 (adsorbér páry nebo bohaté kapaliny)	5 (ochranný adsorbér)	6 (LOX proplach nebo produkt)	7 (GOX)
Metan				X nebo P	O
Etan				X	
Acetylen	X		O	T	
Etylén	P		O	P	
Propan	P		O	P	
Propylén	X			T	
C <sub>4</sub> +	X			T	
Voda	X				
Oxid uhličitý	X		O	T	
Oxid dusný	P		O	P	
NO <sub>x</sub>	X				
O <sub>3</sub>	X				
LEGENDA					
X – V zásadě kompletní odstranění v kroku					
P - Částečné odstranění v kroku					
O – volitelný, nestandardní (je-li zahrnut, pak částečné nebo kompletní odstranění komponenty)					

T – Odstranění všech stop, které jsou přítomny

Tabulka 5 – Typické odstraňování v procesu REVEX

Stupeň	1 (PPU)	3 a 4 (adsorbér páry nebo bohaté kapaliny)	5 (ochranný adsorbér)	6 (LOX proplach nebo produkt)	7 (GOX)
Metan				X nebo P	O
Etan				X	
Acetylen		X	T	T	
Etylén			P	P	
Propan			P	P	
Propylén		P	P	T	
C <sub>4</sub> +	X	T			
Voda	X	T			
Oxid uhličitý	P	P	T	T	
Oxid dusný		P	P	P	
NO <sub>x</sub>	X	T			
O <sub>3</sub>		X	T		
LEGENDA					
X – V zásadě kompletní odstranění v kroku					
P - Částečné odstranění v kroku					
O – volitelný, nestandardní (je-li zahrnut, pak částečné nebo kompletní odstranění komponenty)					
T – Odstranění všech stop, které jsou přítomny					

### 8.3 Provoz jednotky předběžného čištění PPU

Provoz jednotky předběžného čištění PPU v typickém případě sestává z následujících kroků:

- **Online – Provoz v lince** – Nádoba je v provozu v lince a nádobou proudí vzduch. Stopové nečistoty jsou odstraňovány adsorpcí. V typickém případě se jako kontrolní komponenta používá oxid uhličitý a analyzátor se používá ke stanovení, zda je adsorbent nasycen. Když dojde k nasycení adsorbentu (nebo předtím), je krok provozu v lince zastaven.
- **Odtlakování** – Nádoba je odstavena z provozu a je odvětrána do atmosféry.
- **Regenerace** – Skrze nádobu je veden suchý odpadní plyn a odstraňuje stopové nečistoty. Tento plyn je odvětráván do atmosféry.
- **Opětné natlakování** – Nádoba je opět uvedena pod tlak přívodu do bloku hlubokého chladu pomocí části proudu suchého vzduchu zbaveného oxidu uhličitého z jiné nádoby, která je v provozu v lince.
- **Paralelní** – Otevřou se ventily umožňující, aby vzduch proudil skrze čerstvě zregenerovanou nádobu. Ventily nádoby, která je běžně v provozu linky, jsou také ponechány otevřené, takže vzduch proudí skrze obě lože, vrstvy paralelně. Tento krok zajišťuje, aby čerstvé lože bylo zcela funkční než se uvede mimo linku nádoba s nasyceným adsorbentem.

K vypuzení nečistot se při regeneraci většinou používá horký, suchý plyn. V tomto případě je po určité časové období regenerační plyn horký a potom následuje ochlazující proud, který vrátí teplotu lože na téměř provozní teploty předtím, než se adsorpční lože vrátí zpět k provozu v lince. Tento proces se nazývá Temperature Swing Adsorption (TSA) (Adsorpce změnami teploty), poněvadž se teplota mění mezi téměř teplotou okolního prostředí při provozu v lince a vyšší regenerační teplotou. Při tomto procesu TSA se v typickém případě pohybuje doba provozu v lince od 2 do 12 hodin.

Regenerace se také jednoduše může provádět s použitím nižšího tlaku regeneračního plynu k odstranění nečistot. Tento proces se nazývá Pressure Swing Adsorption (PSA) (Adsorpce změnami tlaku) a doba provozu v lince se v typickém případě pohybuje od 5 minut do 30 minut.

Výrobce poskytne pro jednotku předběžného čištění PPU specifické pokyny pro provoz a tyto pokyny pro obsluhu by se měly dodržovat.

Systémy předběžného čištění vzduchu jsou v typickém případě navrhovány tak, aby odstranily ze vzduchu veškerou vodu, většinu oxidu uhličitého a mnoho uhlovodíků. Jednotka předběžného čištění vzduchu odstraní všechny uhlovodíky C<sub>4</sub>+, acetylén a propylén. V typickém případě odstraňuje část etylénu a propanu a v podstatě žádný metan a etan. Speciální adsorbenty mohou odstranit více nečistot. Oxid uhličitý je jako značkovací sloučenina a v typickém případě je pro zajištění řádné funkce této jednotky předběžného čištění nainstalován analyzátor.

**VÝSTRAŽNÉ UPOZORNĚNÍ:** *Klíčovým bezpečnostním faktorem je skutečnost, že jednotka předběžného čištění odstraňuje oxid uhličitý a uhlovodíky. Pro zajištění bezpečného provozu jednotky na dělení vzduchu je jako zásadní řádný chod této jednotky předběžného čištění. Oxid uhličitý se musí odstranit kvůli tomu, aby se zabránilo vysrážení a zanášení, ucpávání, které potom může vést k suchému, místnímu varu, ke hromadění uhlovodíků a konečně k reakci uhlovodíků a kyslíku. Jednotka PPU je navržena k odstranění mnoha uhlovodíků a jestliže tato jednotka není řádným způsobem provozována, pak tyto se budou uvnitř procesu hromadit.*

Jakýkoliv průnik či průraz oxidu uhličitého by měl být omezen na takovou míru, aby to nebylo více, než vyplývá z doporučení výrobce. Typickou úrovní pro výstražnou signalizaci je hodnota 1 ppm a tato hodnota by se měla používat v případě, jestliže výrobce neposkytuje žádné doporučení. Jestliže dojde k proskoku oxidu uhličitého, pak se musí okamžitě přepnout adsorpční nádoba, jestliže jiná nádoba, která je mimo provoz linky, je kompletně zregenerována. V následujícím jsou uvedeny další kroky, které by se měly podniknout.

- zkrácení následných dob provozní periody nádoby v provozu linky,
- snížit průtočné množství vzduchu a
- monitorovat ve spodu vařáku koncentrace oxidu uhličitého, oxidu dusného a uhlovodíků a zajistit, aby tyto byly v bezpečných mezích zvětšením míry proplachu kapalného kyslíku LOX na maximum.

Zařízení by se mělo odstavit, jestliže dojde k některé z následujících situací:

- hladina koncentrace oxidu uhličitého z jednotky předběžného čištění přesahuje 10 ppm,
- koncentrace ve spodu vařáku přesahují bezpečné meze nebo
- nádobu adsorbentu nelze přepnout do 30 minut po výstražné signalizaci vysokého obsahu oxidu uhličitého a kdy není k dispozici žádná analýza ze spodu vařáku.

Nízké, ale kontinuální proklouzávání a pouštění oxidu uhličitého je právě tak nebezpečné, jako významný proskok na konci cyklu a to vzhledem k tomu, že tato skutečnost indikuje, že nečistoty ve vzduchu, jako acetylén, jiné uhlovodíky a vlhkost také obcházejí adsorpční lože. Zařízení by nemělo být provozováno po nějakou delší dobu, jestliže úroveň kontinuálního pronikání dosahuje 0,2 ppm až 0,5 ppm oxidu uhličitého (podle detekční schopnosti analyzátoru). Jestliže k tomuto dojde, pak vyšetřete příčinu takového zvýšeného pronikání oxidu uhličitého a zavolejte technickou pomoc.

Aby jednotka předběžného čištění pracovala správně, efektivně, musí být každý krok regenerace kompletní a správný. Tímto se zajistí, že adsorbent bude zase mít plnou schopnost pro další krok při provozu v lince.

Klíčové proměnné veličiny každého typu procesu se musí monitorovat a dodržovat. V případě adsorpce TSA, tedy změnami teploty, je adsorbent regenerován teplem, takže tedy se musí do adsorpční nádoby zavést odpovídající množství tepla. Po správné časové období musí být dosaženo správné teploty regenerace, průtočné množství regeneračního plynu musí být odpovídající a doba ohřevu musí být dostatečně dlouhá.

Krok chlazení musí také být dostatečný, aby se zajistilo kompletní ochlazení nádoby před jejím přepnutím zpět do provozního cyklu linky. Jestliže krok chlazení není dostatečný, pak adsorpční kapacita bude snížena, horký plyn se vede do zařízení ve směru toku za zařízením a působí škody. Aby se zabránilo poškození filtru a kryogenického zařízení ve směru toku za tímto zařízením, měla by zde být nainstalován výstražná signalizace vysoké teploty a odstavení kvůli vzduchu na výstupu adsorpce TSA jednotky předběžného čištění PPU.

Ve všech případech musí být regenerační plyn suchý. Jestliže existuje nějaké potenciální nebezpečí vniknutí vody do regeneračního plynu, pak tedy by se mělo použít analyzátor rosného bodu. (nejobvyklejším zdrojem vniknutí vody do regeneračního plynu je nějaká netěsnost na parním ohřivači, jestliže se používá parního ohřivače k ohřevu regeneračního plynu). Jestliže zareaguje výstražná signalizace rosného bodu regeneračního plynu, pak tedy zdroj vniknutí vody do regeneračního plynu by se měl v takovém případě rychle prošetřit a problém vyřešit neboť jinak by došlo k trvalému poškození adsorbentu.

Teplu pro regeneraci se obvykle získává prostřednictvím plynem topených, parních nebo elektrických ohřivačů. Každý systém by měl být opatřen ochranou teplotní a na odstavení při nízkém průtoku, aby tak byla chráněna celistvost a neporušenost ohřivače a zbývající části systému a to zvláště v případě ztráty průtoku regeneračního plynu.

V případě PSA jsou klíčovými proměnnými veličinami průtočné množství a tlak regeneračního plynu. Pro zajištění řádné regenerace by měly být tyto proměnné veličiny monitorovány. Měla by být nainstalována výstražná signalizace nízkého průtočného množství regeneračního plynu, aby tak byla obsluha upozorněna o nedostatečné regeneraci.

Systém PSA v typickém případě působí více kolísání tlaku na přívodu vzduchu do bloku hlubokého chladu. Pro zajištění stabilního provozu bloku hlubokého chladu se musí regulovat rychlost opětného tlakování.

Během fáze regenerace je nádoba adsorbéru pod nízkým tlakem. Je důležité uvést nádobu adsorbéru v podstatě na tlak přiváděného vzduchu dříve, než se otevrou přívodní ventily k navrácení adsorbéru do provozní fáze linky. Jestliže se přívodní ventil vzduchu (buď vstupní nebo výstupní) dříve, než bude nádoba adsorbéru na tlaku přiváděného vzduchu, povede to ke značným a trvalým škodám v důsledku opětného rychlého natlakování. Mělo by se tu použít vzájemných tlakových blokad, aby se zabránilo otevření ventilů v nesprávný čas.

Obsah vody v přiváděném vzduchu se musí udržovat pod jeho maximální projektovanou hodnotou nebo dojde k předčasnému proskoku oxidu uhličitého, když bude příliš velké množství vody vytěšňovat oxid uhličitý. Nejobvyklejším zdrojem příliš velkého množství vody je vysoká teplota vzduchu přiváděného do jednotky předběžného čištění.

Poznámka – Malé zvýšení teploty indikuje významně přílišné množství vody, poněvadž obsah vody ve vzduchu se přibližně zdvojnásobuje na každé zvýšení teploty přiváděného vzduchu o 10°C.

Je také důležité, aby se zajistilo, že ze zařízení před jednotkou předběžného čištění nebude přenášena či unášena žádná voda v kapalné formě. Tato kapalina by přetížila adsorbent, vedlo by to k vytěšňování oxidu uhličitého a způsobilo by to předčasný proskok. Kromě toho ještě může voda v kapalné formě poškodit adsorbent a způsobí teploty více jak 100°C uvnitř a na výstupu z adsorpčního lože.

Adsorbenty jsou v typickém případě zrnité materiály o velikosti zrn 1 mm až 5 mm. Tyto materiály jsou náchylné k porušení nebo k vytváření prachu v případě, že by jednotka předběžného čištění nebyla provozována správným způsobem. Kromě toho je malé množství prachu již přítomno v adsorbentu při počátečním plnění adsorbéru. Ve směru toku za adsorbéry se doporučuje instalovat filtry prachu, aby se zabránilo vnikání prachu do kryogenického zařízení.



Jako adsorbenty jsou účinné sušící látky, pohlcovače vlhkosti a při plnění a vyprazdňování se s nimi musí manipulovat opatrně. Tyto materiály snadno pohlcují vodu a mohou se stát rychle horkými, přičemž toto může dosáhnout více jak 100°C. Před prováděním těchto operací se řádně seznamte s pokyny výrobce a s příslušnými bezpečnostními listy.

V mnoha případech je regenerační plyn obohacen kyslíkem, buď během normálního provozu, při spouštění nebo při výjimečných procesních stavech. Tato možnost se musí uvažovat během návrhu, projektu. Regenerační materiály a čištění musí být vhodné pro maximální koncentraci kyslíku, která se u nich může vyskytovat. Regenerační ohřivače by mohly být zdrojem vznícení.

Molekulové síto adsorbuje dusík přednostněji vzhledem ke kyslíku. Když se provádí odtlakování nádob, odvětrává se plyn setrvávající v prázdných dutinách a je nahrazován dusíkem obohatěným plynem, který se uvolňuje z adsorbentu.

**VAROVÁNÍ:** *Nádoby s molekulovým sítem mohou obsahovat na dusík bohatou atmosféru, která může způsobit udušení kohokoliv, kdo by vstoupil do takové nádoby nebo by pracoval v blízkosti nějakého otvoru nádoby, Kdokoliv bude pracovat uvnitř nebo v blízkosti takové nádoby, musí použít postupů pro vstup do ohraničených oblastí.*

#### 8.4 Provoz REVEX

V jednotce REVEX se vzduch vystupující z hlavního vzduchového kompresoru chladí na teplotu okolního prostředí. Vzduch potom vstupuje do hlavního výměníku tepla, kde je dále ochlazován na kryogenní teploty. Když je ochlazován, voda, oxid uhličitý a některé uhlovodíky vymrzají na plochách výměníku tepla. Nízkovroucí uhlovodíky, nízké hladiny oxidu uhličitého a veškerý oxid dusný obsažený ve vzduchu vstupují do hlavního výměníku tepla a vstupují do sekce destilačních kolon zařízení na dělení vzduchu. Tyto stopové nečistoty buď potom odcházejí ze systému v různých prouděch produktů ( buď plynných nebo kapalných) nebo jsou odstraňovány kryogenní adsorpcí.

Vzduch je ochlazován ohřívajícími se proudy plynu: kyslík, dusík a odpadní plyn. Po několika minutách přepínací ventily nasměrují proud vzduchu do průchodů, kde dříve proudil odpadní plyn a odpadní plyn je nasměrován do průchodů, kde dříve byl vzduch. Když se odpadní plyn ohřívá v BAHX, odpařuje se a odstraňuje, vynáší komponenty, které se usadily na plochách výměníku tepla, čímž se průchodný prostor čistí.

V tomto výměníku tepla se musí udržovat pečlivá bilance, aby tak bylo zajištěno, že budou odstraněny usazené nečistoty. Odpadní plyn má větší kapacitu vynášet stopové nečistoty, poněvadž je při nízkém tlaku, je však o několik stupňů chladnější než je proud vzduchu, což snižuje schopnost odstraňovat stopové nečistoty. Fyzikální vlastnosti vzduchu a odpadního plynu jsou takové, že bez přijetí nějakých zvláštních opatření je odpadní plyn je na studeném konci výměníku tepla příliš studený, aby odstraňoval stopové nečistoty. Po nějaké době není studený konec výměníku tepla kompletně vyčištěný a eventuálně dojde k ucpání.

Aby se usnadnilo toto čištění, je zapotřebí více studeného plynu na studeném konci výměníku tepla. Nejobvyklejší metoda spočívá v tom, že se vezme část dusíku z hlavy vysokotlaké kolony a ohřívá se v hlavním výměníku tepla. Tento teplejší vysokotlaký plyn se nyní může expandovat, Když se tento plyn expanduje, je potom dostatečně studený k tomu, aby byl přidán do proudu nízkotlakého dusíku na studeném konci hlavního výměníku tepla, čímž je opatřen zvláště studený plyn. Tento proud se nazývá proudem opětného ohřevu ( nebo nevyváženosti) a jeho řádná regulace je zásadní pro kompletní vyčištění jednotky REVEX.

Zatímco dusík z vysokotlaké kolony je nejobvyklejším zdrojem tohoto proudu nevyvážení, je možno použít i jiné proudy, v závislosti na procesu.

Teploty ve středním bodě jednotky REVEX se musí pečlivě monitorovat. Jestliže jsou příliš nízké, je příliš velký tok proudu nevyvážený, což snižuje kapacitu pro čištění od oxidu uhličitého a zvyšuje rozdíl teplot  $\Delta T$  na teplém konci. (Zvyšováním rozdílu teplot  $\Delta T$  na teplém konci se zvyšují potom požadavky procesu na chlad a není účinný). Jestliže je tento proud nevyvážený příliš malý, pak tedy teploty ve středním bodu jsou příliš vysoké a rozdíl teplot  $\Delta T$  na studeném konci výměníku tepla bude příliš velký, což povede k nepřiměřenému čištění od oxidu uhličitého. I když přesný rozsah přijatelných teplot v uvedeném středním bodě závisí na procesu a měl by být získán od výrobce, pohybuje se typický přijatelný rozsah teplot ve středním bodě v rozmezí od  $-70^{\circ}\text{C}$  do  $-120^{\circ}\text{C}$ .

Většina zařízení je vybavena dvěma hlavními výměníky v paralelním zapojení. Každý hlavní výměník tepla musí být opatřen individuálním měřením teploty ve středním bodu. Je kritickou záležitostí pro odstraňování oxidu uhličitého, aby teplota každého středního bodu byla regulována tak, aby byla v přijatelném rozsahu. Každý hlavní výměník tepla musí být vybaven vyrovnávacím ventilem na nereverzujícím proudu (v typickém případě to je kyslík) ke korekci kolísání proudu, která jsou způsobená rozdíly v průtokových odporech v jednotlivých potrubích a ve výměníku tepla. Tento ventil se může seřizovat tak, aby umožňoval větší či menší průtok do každého výměníku tepla, čímž se zajistí udržení jednotlivých teplot ve středním bodě v přijatelných mezích. V typickém případě se tyto ventily nastaví během počáteční přípravy zařízení k provozu a při uvádění do provozu a zřídka se jejich nastavení potom mění.

Teplota na studeném konci se musí udržovat nad teplotou kapalnění vzduchu. Když se výměník tepla přepne, zásoba kapaliny se ztratí, když vzduch kapalný v hlavním výměníku. Tato ztráta chladu je nepřijatelná a může také dojít k poškození zařízení.

Teplota na studeném konci se musí udržovat pod maximální dovolenou teplotou (tuto hodnotu poskytne výrobce), aby se tak zajistilo, že uhlovodíky jsou v jednotce REVEX a nepřenesou se ve vysokých koncentracích do kolony na dělení vzduchu. Jestliže někdy teplota na studeném konci stoupne nad maximální dovolenou teplotu, pak v takovém případě se musí okamžitě zastavit průtok vzduchu skrze nádobu do kolony na dělení vzduchu. Spusťte pouze až po dosažení bezpečné teploty.

Jestliže výměník tepla není řádným způsobem čištěn, pak tedy usazený oxid uhličitý zůstává v jednotce REVEX. Toto má dopad na provoz zařízení snížením přestupu tepla a zvýšením teplotní diference na teplém konci, což tedy vede ke zvýšení potřeby chladu. Zvýšený rozdíl teplot  $\Delta T$  na teplém konci je v typickém případě první indikací nějakého problému s vyčištěním. Jestliže takové neodpovídající čištění dosti pokračuje dále, pak se také zvyšují tlakové ztráty na vzduchu a na odpadním proudu, avšak toto je v typickém případě dlouho potom, co se teplotní diference  $\Delta T$  na teplém konci stala nepřijatelnou.

Typická doba práce v proudu, tedy provozní perioda výměníku tepla činí 4 min až 10 minut. Snížením této provozní periody se zvyšuje schopnost čištění systému, avšak vyžaduje to více chladu a zvyšuje to ztráty přepínáním.

Jestliže se provede odstavení zařízení, musí se z jednotky REVEX vypustit voda. Kdyby se toto neprovedlo, voda by mohla zamrznout a zablokovat nebo poškodit výměník tepla. Je zapotřebí řádného teplého profukování aby se zabránilo tomu, že by se teplý konec výměníku tepla stal příliš chladným. Jestliže teplota na teplém konci výměníku tepla poklesne pod  $0^{\circ}\text{C}$  ( $32^{\circ}\text{F}$ ), pak před opětovným spuštěním by se měly použít speciální procedury definované výrobcem.

Proudy vzduchu a odpadního plynu na teplý konci výměníku tepla jsou nasměrovány do příslušných míst prostřednictvím přepínacích ventilů. Studený konec výměníku tepla je v typickém případě opatřen zpětnými ventily. Tyto spínací a zpětné ventily musí být řádným způsobem udržovány, aby tak byl zajištěn spolehlivý provoz.

Při ochlazování vzduchu kondenzuje v hlavním výměníku voda, tedy je v kapalném stavu. Jakékoliv korozní plyny obsažené ve vstupujícím vzduchu se budou v této vodě rozpouštět a mohou působit velmi korosivně na hlavní výměník tepla. Jestliže jsou ve vzduchu obsažené velké hladiny kyselých plynů, pak by se měl vzduch předem upravit, aby se těmto komponentám zabránilo ve vstupu do hlavního výměníku tepla. Hliník v na tupo pájeném hliníkovém výměníku tepla BAHX je zvláště citlivý na korozi ze strany chloru a  $\text{SO}_x$ .

V jednotkách REVEX jsou cykly tlaku a teploty po každých několika minutách. Po mnoha letech provozu mohou tyto změny vést k poruše v důsledku únavy u výměníků tepla a kanály začnou vykazovat netěsnosti. Proudění produktů by se měly běžně monitorovat na netěsnosti, úniky a v případě potřeby by se měly provádět opravy výměníků tepla. Takové opravy jsou speciální a měly by být prováděny k tomu oprávněnými a kvalifikovanými pracovníky.

Některé stopové nečistoty se dostanou skrze hlavní REVEX a to vzhledem k jejich relativně nízké teplotě varu. Většinou se to týká acetyleny, který v jednotce REVEX nevymrzá. Acetylen je pouze trochu rozpustný v kryogenních kapalinách a jakékoliv pevné krystaly, které se vytvoří, mohou se rozkládat s explozí. Oxid uhličitý také může v malých ppm množstvích opouštět hlavní výměník tepla a může se srážet v zařízení dále ve směru toku, přičemž se vytváří místa, kde může docházet k suchému varu. Tyto dvě komponenty jsou odstraňovány kryogenní adsorpcí (viz 11.8) a proplachem ze spodu nízkotlaké kolony. Minimální rychlost proplachování je specifikována v IGC 65/99 [40].

Vzhledem k tomu, že přívod do jednotky REVEX obsahuje nečistoty, které mohou způsobit ucpávání, je třeba spouštění věnovat velkou pozornost. Výrobce k tomu poskytuje zvláštní pokyny. Základní postup je však v typickém případě následující:

- a) Ved'te část vzduchu do výměníku tepla a potom ved'te tento teplý vzduch o teplotě  $45^{\circ}\text{C}$  až  $65^{\circ}\text{C}$  ( $110^{\circ}\text{F}$  až  $150^{\circ}\text{F}$ ) do kryogenního zařízení, aby se odpařila veškerá voda v zařízení.
- b) Oddělte destilační kolonu (kolony).
- c) Ved'te vzduch do hlavního výměníku tepla, snižte tlak a vra'te vzduch do kanálů pro odpadní plyn. Přepněte výměníky tepla na relativně krátký pracovní cyklus. Ved'te část vzduchu do expanzního stroje pro zajištění chladu k podchlazení výměníků tepla. Výstup z expandéru by se měl vést do okruhu odpadního plynu za účelem minimalizace proudu pro čištění.
- d) Podchlaďte rovnoměrně výměníky tepla, aby se zabránilo hromadění oxidu uhličitého a ucpání.
- e) Když je teplota na studeném konci hlavního výměníku přibližně asi  $-70^{\circ}\text{C}$  ( $-100^{\circ}\text{F}$ ), je v vzduch v podstatě bez vody. Tento suchý vzduch se potom používá k profukování kryogenní části zařízení, aby bylo zajištěno, že v systému již není žádná voda v parní fázi.
- f) Po profuknutí kryogenního systému ochlazujte na teploty kapalného vzduchu a potom ustavte normální průtoky proudů.

Některé výševroucí komponenty se v jednotce REVEX kompletně nevyčistí a to i v případě, že se řádně udržují teploty ve středním bodu. Tyto komponenty se musí odstraňovat periodickým odtáváním. Při takovém odtávání se během několika hodin tyto komponenty uvolní. Zvláště komponenty  $\text{NO}_x$  je možno uvolnit v relativně vysokých koncentracích. Pracovníci obsluhy by měli během těchto časových období věnovat pozornost tomu, aby jejich vystavení bylo v bezpečných mezích. V případech, kdy atmosféra obsahuje  $\text{NO}_x$  a konjugované dieny, mohou tyto komponenty reagovat za tvorby gumy, která zůstane uvnitř jednotky REVEX. Tato guma se musí odstraňovat periodickým odtáváním. Jestliže by bylo umožněno jejich nahromadění do určitých mezí, pak by mohlo dojít ke spontánnímu výbuchu [78, 79, 81].

Když se bude provádět odstavení jednotky REVEX, musí k tomu být použity příslušné postupy, aby bylo zajištěno, že potom opětné spuštění bude bez poruch a bezpečné. Výměník tepla by měl být kompletně uzavřen, aby se zabránilo průtoku studeného plynu skrze výměník tepla.

Jestliže teplý konec výměníku tepla je příliš studený, dojde k zamrznutí vody a k poškození výměníku tepla. Pro potřeby opětovného spuštění musí být teplota na teplém konci výměníku tepla nad minimální hodnotou určenou výrobcem. Musí být specifikovány postupy pro ohřátí výměníků před jejich uvedením do provozu s přepínáním, jestliže teploty na teplém konci výměníku jsou pod minimálními hodnotami danými výrobcem.

### **8.5 Dodatečné mechanické chladiče**

Mechanické chladiče se někdy používají ke kondenzaci vlhkosti z stlačeného vzduchu, aby se tak snížilo zatížení vodou jednotky předběžného čištění PPU nebo jednotky REVEX, aby se zvýšila kapacita adsorbentu v jednotce PPU a aby se zvýšila provozní účinnost procesu. Toto chlazení se získá odpařováním chladicího média v chladiči. Tyto chladiče by měly být opatřeny regulací nízké teploty, aby se tak zabránilo vymrzání vody v procesním proudu zpracovávaném tímto chladičem.

Musí se uvažovat možnost netěsností, úniků z chladicího systému. V závislosti na tlacích může vzduch unikat do chladicího systému a potenciálně může dojít k vytvoření výbušné směsi. Alternativně zase, chladicí médium může unikat do procesu a opětně při tvorbě výbušné směsi. Chladicí médium může potom také proudit do zařízení dále ve směru technologického toku a tento vliv na proces se též musí brát v úvahu.

Možnost a nebezpečí úniků musí uvažovat scénář normálního provozu, spouštění zařízení a odstavování zařízení.

Jestliže údržba nebo oprava tohoto zařízení zahrnuje otevření systému nebo možné vystavení se působení chladicího média, musí se vzít v úvahu toxické a hořlavé vlastnosti použitého chladicího média. Protokol z Montrealu a národní vládní předpisy omezují použití mnoha fluorovaných uhlovodíků a zakazují jejich uvolňování do atmosféry [50]. Speciální zařízení a postupy jsou jako nezbytné k uchování těchto chladicích kapalin během provádění údržby. Veškeré netěsnosti na chladicím médiu vedoucí k únikům do atmosféry musí být okamžitě opraveny.

### **8.6 Louhové pračky plynu**

Louhové pračky plynu se příležitostně používají k odstraňování oxidu uhličitého ze vzduchu. Nejvýznamnější nebezpečí, které je spojeno s těmito louhovými pračkami je manipulace louhovým roztokem. V důsledku vystavení se působení louhového roztoku může dojít k vážným popáleninám. Musí se dodržovat doporučení výrobce o bezpečné manipulaci s roztokem louhu. Při provádění jakýchkoliv prací kolem takového louhového systému se musí používat ochranný pryžový oblek a ochranné štíty obličejů.

Kolem spojek a hřidel u těsnění čerpadel by měly být nainstalovány ochranné kryty, aby se zabránilo rozstříku louhového roztoku do okolního prostředí a na pracovníky personálu.

V mnoha případech použití za těmito louhovými pračkami jsou zařazeny sušiče k odstranění zbývající vody ze vzduchu. Mělo by se však v tomto případě poznamenat, že tyto sušiče nejsou navrhovány k odstranění oxidu uhličitého a jiných nečistot, ale pouze k odstraňování vody. Všechny systémy sloužící k zábráně unášení louhu do sušičů se musí udržovat podle pokynů výrobce.

## **9 Expanzní stroje**

Expanzní stroje se používají k opatření chladu pro proces. Jsou dva typy expanzních strojů, expanzní turbíny a pístové expanzní stroje.

Expanzní stroje odebírají energii z proudu procesu a současně přitom pohání elektrická, mechanická nebo hydraulická zařízení, která jsou k expanznímu stroji připojena. Energii z expanzních turbin se

obvykle využívá v generátorech, dmyhadlech, v přídavných kompresorech nebo v olejových dynamometrech. Energie z pístových expanzních strojů se obvykle využívá v přímo spojených kompresorech nebo prostřednictvím řemenového převodu v připojených elektrických generátorech.

Při provozování expanzních strojů se musí brát v úvahu následující:

- ztráta zatížení nebo překročení rychlosti,
- znečištění procesu olejem,
- abnormálně nízké teploty,
- pevné částičky v proudu plynu,
- ztráta mazání,
- abnormální teploty ložisek,
- abnormální vibrace,
- abnormální rychlost,
- zanesení expanzního stroje ledem nebo oxidem uhličitým a
- spouštění a odstavení.

Časové rozpisy údržby se mohou uspořádat podle pracovních hodin nebo na kalendářním základě, aby to bylo co nejvhodnější pro specifické zařízení.

## **9.1 Ztráta zatížení nebo překročení rychlosti**

Jestliže z nějakého důvodu zatěžovací zařízení z nějakého důvodu nepokračuje v aplikování zatížení na hřídel expanzního stroje, pak v takovém případě práce vykonávaná expandujícím plynem způsobí, že u expanzního stroje dojde k rychlému zvýšení rychlosti a to až do takové míry, kdy může dojít k mechanickému poškození.

Expanzní stroje musí být vybaveny systémem ovládní odstavení v důsledku překročení rychlosti, kdy takový systém zastaví stroj v případě, že dojde ke ztrátě zatížení. Expanzní stroje zatížené generátorem musí také být vybaveny příslušným přístrojovým vybavením ke snímání oddělení od silové sítě a odstavení stroje dříve, než dojde k poškození.

## **9.2 Znečištění olejem v procesu**

### **9.2.1 Expanzní turbíny**

Expanzní turbíny jsou vybavené labyrintovým systémem utěsnění plynu, aby se tak zabránilo unikání extrémně chladného procesního plynu do okolního prostředí nebo do ložisek a aby se zabránilo znečištění procesu olejem. Nesprávné relativní tlaky médií v dutinách těsnícího systému nebo ztráta tlaku těsnícího plynu vedou potom k unikání studeného procesního plynu nebo k migraci oleje podél hřídele a potom do proudu procesního plynu. V závislosti na návrhu a konstrukci expanzního stroje může být těsnící plyn dodáván buď z procesního plynu nebo z nějakého externího zdroje. Externí zdroj těsnícího plynu by měl být opatřen pro situaci, kdy je expanzní stroj odstaven, aby se tak zabránilo migraci studeného plynu, na kyslík bohatého plynu nebo obou plynů do olejem mazané sekce expanzního stroje.

Tento těsnící plyn musí být suchý, musí být bez oleje a musí být filtrován, aby se tak zabránilo znečištění systému a poškození expanzního stroje.

Měření tlaku utěšňovacího či ucpávkového plynu musí být zahrnuto do ovládacího systému expanzního stroje. Tlak utěšňovacího či ucpávkového plynu musí být udržován nad minimální hladinou doporučenou výrobcem, aby tak bylo umožněno startování a provoz expanzního stroje. Jestliže tlak utěšňovacího plynu poklesne pod takovou minimální doporučenou hodnotu, musí se okamžitě provést odstavení expanzního stroje a čerpadla mazacího oleje. Jestliže tlak utěšňovacího

plynu poklesne pod minimální hodnotu, když je expanzní stroj odstaven, pak v takovém případě musí regulační systém odstavit čerpadlo mazání.

Jestliže se objeví olej na odfuku utěšňovacího plynu, pak to znamená, že je příliš vysoká spotřeba mazacího oleje nebo je zde důvod k podezření na znečišťování olejem. Pak tedy by měl být expanzní stroj odstaven z provozu a buď by měl být opraven nebo vyměněna čistící vložka. Procesní potrubí, které je připojeno k expanznímu stroji by se mělo kontrolovat na jakékoliv znečištění olejem a v případě potřeby by se mělo provádět vyčištění.

## **9.2.2 Pístové expanzní stroje**

Jsou dvě třídy pístových expanzních strojů, tedy nemazané a mazané pístové expanzní stroje.

### **9.2.2.1 Nemazané pístové expanzní stroje**

Nemazané pístové expanzní stroje jsou navrhovány se zvláště dlouhými otevřenými distančními kusy a pístní tyče jsou opatřeny odstříkovacími nákrůžky, aby se tak zabránilo migraci oleje z mazané sekce pístního expanzního stroje. Tento otevřený distanční kus by se měl pravidelně kontrolovat, aby tak bylo zajištěno, že v této oblasti nedochází k akumulaci oleje.

### **9.2.2.2 Mazané pístové expanzní stroje**

I když olejem mazané expanzní turbíny jsou navrhovány se systémy čištění od oleje, může přílišné množství oleje způsobit přetížení tohoto čistícího systému a může to vést ke konečnému znečištění zařízení olejem.

Rychlost přivádění oleje do vrtání válce by se mělo udržovat na minimální hodnotě, aby to bylo slučitelné s dobrou provozní životností kroužků a se stavem válce.

Množství oleje procházejícího válcem mazané expanzní turbíny není omezeno na množství, které je zaváděno skrze maznici válce. Olej klikové skříně, který je někdy v množstvích, která daleko přesahují tento průtok maznice, se může zavádět na klikový konec válce. Tento stav je obvykle způsoben určitou chybnou funkcí stíracích kroužků oleje pístní tyče nebo poruchou v odvádění nahromaděného oleje od distančních kusů.

V případě mazaných expanzních strojů se musí věnovat velká pozornost zařízení na odstraňování oleje. Zařízení na odstraňování oleje je obvykle typu s plněnou vrstvou nebo je typu mechanického filtru. Toto zařízení na odstraňování oleje se provozuje buď po pevné časové období nebo tak dlouho, dokud nedojde ke specifikované tlakové ztrátě v tomto systému. V takovém okamžiku je potom tento odstaven z provozu a obvykle je regenerován s použitím horkého a přednostně inertního plynu. Je v tomto případě důležité, aby průtočné množství proudícího regeneračního plynu a jeho konečná teplota na výstupu byly udržovány na takových úrovních, jak je specifikováno výrobcem.

Po provedení takové regenerace by se měl tento systém ochladit na teplotu, která je předepsána v příslušném návodu k obsluze a teprve potom se uvede opět do provozu. Toto je zvláště důležité v takovém případě, kdy procesní proud obsahuje dostatečné množství kyslíku k tomu, aby mohlo dojít k podpoře hoření.

Některé systémy mechanické filtrace jsou regenerovány tak, že se vyjme filtrační vložka z vlastního filtru a provede se praní v nějakém rozpouštědle. Tato vypraná filtrační vložka se potom suší a potom se opět nainstaluje do příslušného filtru. Je nutno zde věnovat pozornost tomu, aby bylo provedeno kompletní vyprání a vysušení, aby tak bylo zajištěno, že bude filtrační vložka řádně opět nainstalována, aby se tak potom zabránilo obtoku filtru.

Potrubní vedení bezprostředně ve směru technologického toku buď za plněným ložem nebo za mechanickým filtrem by se mělo často kontrolovat během počátečních fází provozu, aby tak bylo zajištěno, že potom nebude docházet k obtoku filtru nebo k pronikání znečišťujících látek.

Tato plněná lože by se měla vyměňovat minimálně tak často, jak je to doporučeno výrobcem, pokud neexistuje dostatečná historie provozu k umožnění prodloužení provozní bezpečnosti takého plněného lože.

### 9.3 Abnormálně nízké teploty

Provoz expanzních strojů pod teplotou rosného bodu expandovaného plynu vede k tvorbě kapaliny v expanzním stroji. Přítomnost kapaliny ve válci pístového expanzního stroje způsobuje ta největší poškození. V expanzních turbínách, které nejsou navrženy na podmínky částečného zkapalňování, může přítomnost kapiček kapaliny způsobit erozi trysek nebo erozi oběžného kola a oboje může vést ke ztrátě účinnosti, může to vést k nevyvážení a k případnému mechanickému poškození. Expanzní turbíny, které jsou navrženy tak, že tolerují přítomnost kapaliny na jejich výstupu, mohou být provozovány bez nebezpečí poškození v důsledku eroze.

Ke stanovení stavu příslušného média na výstupu z expanzního stroje by se měly kontrolovat návrhové provozní podmínky expanzního stroje vzhledem k příslušným fyzikálním vlastnostem (Diagram Teplota – Entropie) expandovaného plynu.

Aby se zabránilo tvorbě kapaliny u expanzních strojů, které nejsou navrženy pro takový provoz s kapalinou, měla by být výstupní teplota z expanzního stroje udržována na hodnotě ne studenější než 3°C až 8°C (5°F až 15°F) nad rosným bodem expandovaného plynu.

Expanzní stroje, které nejsou navrženy na práci spojenou s tvorbou kapaliny, by měly být opatřeny zařízením na monitorování teploty na výstupu z expanzního stroje, které bude zajišťovat výstražnou signalizaci v případě výskytu nízké teploty.

Teplota na vstupu expanzního stroje by se měla udržovat tak, jak je u vedeno v doporučení výrobce. V extrémním případě, velice nízká teplota na vstupu může způsobit tvorbu kapaliny ve vstupních tryskách do expanzní turbíny.

### 9.4 Pevné částice v proudu plynu

Jestliže jsou přítomny ve vstupním proudu plynu do expanzního stroje, pak tedy mohou částice šupin či okují z potrubí nebo jemné podíly vysoušecího činidla způsobit vážné škody erozního rázu na vnitřních částech expanzního stroje. Expanzní turbíny jsou zvláště citlivé na opotřebení trysek, oběžného kola a labyrintových těsnění plynu. U pístových expanzních strojů se v tomto případě projevuje zrychlené opotřebovávání kroužků a vyložení.

Ke snížení množství vstupujících pevných částic do expanzního stroje na nějakou minimální hodnotu by se měla používat vstupní sítko.

Tato sítko se obvykle provádějí z jemně vlněné síťoviny. Mělo by se provádět monitorování hodnoty tlakové ztráty na vstupním sítku, přičemž by tu současně měla být nainstalována výstražná signalizace za účelem stanovení toho, kdy bude nutné provést čištění nebo výměnu a k zajištění toho, že nedojde k takové tlakové ztrátě, která by mohla způsobit porušení. Toto sítko by mělo být navrženo a zkonstruováno tak, aby jmenovitá hodnota tlaku, který by způsobila zborcení, byla větší než hodnota očekávaného provozního tlaku expanzního stroje.

## 9.5 Ztráta mazání

Ztráta mazání u expanzního stroje vede potom rychle k rozsáhlému poškození stroje. Ložiska expanzní turbíny jsou opatřena nuceným olejovým mazáním a to buď prostřednictvím přímo spojených čerpadel oleje nebo prostřednictvím elektromotorem poháněných čerpadel oleje. Ložiska pístového expanzního stroje jsou opatřena mazáním rozstříkem s použitím oleje z klikové skříňe nebo jsou opatřena nuceným mazáním prostřednictvím příslušných olejových čerpadel, která jsou poháněná přímo klikovou hřídelí nebo jsou poháněná dálkově.

V případě, kdy se pro mazání použije olejových čerpadel přímo spřažených, je také jako nezbytné použít pomocného čerpadla s elektrickým pohonem nebo akumulárního zásobníku. Tlak oleje tohoto systému musí být monitorován s použitím snímače tlaku, který může nastartovat pomocné olejové čerpadlo v případě, kdy tlak oleje poklesne a který může zajistit odstavení expanzního stroje v případě, kdy bude tlak dále klesat. V takových případech, kdy k mazání je použito olejových čerpadel s elektrickým pohonem, je nutno použít akumulární zásobník, aby tak bylo zajištěno mazání během stavu, kdy se expanzní stroj nachází ve stavu výpadku elektrické energie. Když se použije takových akumulárních zásobníků, pak tyto by měly být automaticky uváděné v činnost.

Tlak v akumulárním zásobníku by se měl kontrolovat během časově rozepsané, naplánované údržby expanzního stroje.

## 9.6 Abnormální teplota ložisek

Během provozu expanzních strojů může dojít ke stavu, kdy jsou vysoké nebo nízké teploty ložisek expanzního stroje. K takovým abnormálním teplotám ložisek může dojít v případě, že je omezen průtok oleje do ložisek, v případě, že je vyvozováno abnormální zatížení na ložiska nebo v případě poškození ložiska. Abnormálně nízké teploty ložisek se zvláště vztahují na expanzní turbíny a může k tomu dojít v případě, že se vyskytují velké netěsnosti na těsnění nebo v takovém případě, kdy jsou omezeny průtoky oleje. Expanzní turbíny a většina pístových expanzních strojů jsou vybavené přístrojovým vybavením pro měření teploty. Toto přístrojové vybavení by mělo také poskytovat funkce výstražné signalizace a odstavení. Pracovníci obsluhy by měli sledovat významné odchylky od normálních provozních teplot a měli by vyšetřovat příčiny takových odchylek. Detekce teploty ložiska na studeném konci je často součástí okruhu pro povolení startu u takové expanzní turbíny.

## 9.7 Abnormální vibrace

Kdykoliv dojde k přílišným vibracím, může to vést k významnému poškození expanzní turbíny. Na všech expanzních turbínách musí být nainstalovány snímače vibrací na principu přiblížení a příslušné monitory za účelem měření pohybu hřídele a tyto snímače by měly ovládat výstražné signalizace nebo systémy odstavení nebo oboje. Údaje z těchto snímačů se musí periodicky analyzovat. Jestliže jsou odečítané hodnoty abnormální nebo se expanzní turbína odstaví v důsledku vysokých vibrací, pak v takovém případě může pečlivý kritický rozbor údajů příslušnými experty poskytnout pohled na příčiny vysokých odečítaných hodnot vibrací. Expanzní turbína se nesmí znovu uvést do provozu, dokud nebude vyřešena příčina vysokých odečítaných hodnot vibrací.

V typickém případě je pístový expanzní stroj opatřen seismickým vypínačem.

## 9.8 Abnormální rychlost

Expanzní turbíny mohou být citlivé na poškození, jestliže jsou kontinuálně provozované mimo své meze návrhových rychlostí, buď jsou příliš vysoké nebo se pohybují v blízkosti kritické rezonanční frekvence. Tato kritická rychlost a kritické rezonanční frekvence (nejsou zóny prodlevy) jsou definovány výrobcem. Během spouštění je nezbytné při zatěžování expanzní turbíny rychle přejít přes oblast kritických rezonančních frekvencí. Je dobrou konstrukční praxí zahrnout takové rychlostní



meze (meze otáček) do řídicího systému expanzní turbíny. Jestliže výrobce definuje zónu bez prodlevy, pak se tedy musí nainstalovat příslušné odstavení.

### **9.9 Zanesení expanzního stroje ledem nebo oxidem uhličitým**

Provoz expanzního stroje může být nepříznivě ovlivněn tvorbou ledu nebo tvorbou úsad oxidu uhličitého na vstupním sítku nebo uvnitř vlastního expanzního stroje. Typické zdroje těchto znečišťujících látek jsou uvedeny v následujícím:

- proskok nečistot v zařízení předběžného čištění,
- netěsnost, únik vody z chladičů kompresoru,
- abnormální provozní stav na jednotce REVEX,
- nasávání atmosférického vzduchu během fáze odstavení a
- nesprávné provádění odmrazování, odtavování.

K zanesení expanzního stroje může dojít bezprostředně po výskytu jednoho z těchto uvedených jevů nebo tehdy, když dojde k migraci nahromaděných nečistot z kteréhokoli místa uvnitř bloku hlubokého chladu při změně provozních podmínek.

Pracovníci obsluhy by měli monitorovat provoz expanzního stroje a stejně tak by měli monitorovat hodnotu diferenčního tlaku na vstupním sítku expanzního stroje. Zhoršení provozu nebo vysoká hodnota diferenčního tlaku mohou indikovat zanesení expanzního stroje. Potřeba častého provádění odtavování expanzního stroje může indikovat probíhající problémy se zanášením.

### **9.10 Spuštění a odstavení**

Měla by se dodržovat výrobcem zařízení doporučená procedura spouštění k aplikaci příslušného zatížení. Speciální pozornost se musí věnovat zatěžování expanzního stroje. Expanzní turbína si může vyžadovat rychlé aplikování zatížení, aby se tak zabránilo provozu při nízkých kritických rychlostech, které by mohly vést k poškození expanzního stroje.

Odstávky musí být navrženy takovým způsobem, aby se zastavil tok plynu do expanzního stroje uzavřením ventilu na vstupu do expanzního stroje. Je také dobrou praxí uzavřít vstupní trysky expanzního stroje nebo přesunout vačku pístového expanzního stroje do polohy bez průtoku. V případě expanzních strojů zatěžovaných generátorem musí být regulační systém navržen takovým způsobem, aby se zabránilo vypnutí generátoru předtím, než dojde k zastavení toku plynu. Jestliže by se toto nedodrželo, pak by to mohlo vést k poškození expanzního stroje. Během normálně časově rozvržené údržby expanzního stroje by se měla vždy provádět kompletní funkční zkouška řídicího systému pro zajištění bezpečnosti expanzního stroje.

Vzhledem ke svému konstrukčnímu provedení může generátorem zatěžovaný expanzní stroj pracovat jako kompresor, jestliže generátor působí jako motor. Toto může vést k přehřátí a závažným mechanickým poškozením. Tento kontrolní bezpečnostní systém by měl být navržen takovým způsobem, aby se zabránilo provozu generátoru expanzního stroje jako motoru a to zahrnutím speciálních elektrických snímacích ústrojí. I když některé dřívější návrhy systému regulace expanzního stroje dovolovaly startování expanzního stroje nejdříve motorovým pohonem generátoru, nepředstavuje toto nyní běžnou návrhovou praxi.

### **9.11 Provozní postupy a postupy údržby**

Ke spuštění, k provozování a k odstavení každého expanzního stroje s jeho zatěžovacími zařízeními se musí používat písemné postupy. Klíčové provozní parametry se musí periodicky monitorovat. Abnormální provozní podmínky a trendy musí být vyšetřovány a musí se vyřešit.

Pro každý expanzní stroj a jeho zatěžovací zařízení by měl být zpracován časový rozpis preventivní údržby. Frekvence provádění preventivní údržby by měla být založena zpočátku na doporučeních ze strany prodávajícího nebo případně na historických datech.

Údržba na pístových expanzních strojích se v typickém případě provádí jednou za rok.

## **10 Kryogenní čerpadla**

### **10.1 Všeobecně**

Funkční návrh a provoz zařízení na dělení vzduchu může záviset na použití jednoho nebo více kryogenních čerpadel. Typ použitých čerpadel se může měnit v závislosti na požadavcích procesu nebo na požadavcích konečného uživatele. Tato čerpadla si mohou vyžadovat následující:

- přenos procesních kapalin z jedné destilační kolony do druhé destilační kolony,
- cirkulovat kapalným kyslík LOX skrze vařák,
- cirkulovat procesní kapaliny skrze adsorbér,
- čerpat kapalně produkty mezi procesními nádržemi a skladovacími nádržemi,
- čerpat kapalně produkty na vyšší tlak pro odpařování v hlavním výměníku tepla zařízení na dělení vzduchu,
- čerpat kapalně produkty z nízkotlakých skladovacích nádrží do vysokotlakých skladovacích nádrží a/nebo do záložních odpařovačů a
- čerpat kapalně produkty mezi skladovacími zásobníky a přepravními cisternami nebo železničními cisternami.

### **10.2 Typy čerpadel**

#### **10.2.1 Odstředivá čerpadla**

Odstředivá čerpadla se mohou navrhovat tak, aby splnila široký rozsah požadavků na průtočné, dopravované množství a na tlakovou výšku. Tato čerpadla se mohou montovat buď v horizontálním směru nebo ve vertikálním směru. Velikost oběžného kola, rychlost otáčení hřídele a počet stupňů takové čerpadla určují dosažitelný tlak a průtočné, dopravované množství.

#### **10.2.2 Pístová čerpadla**

Pístové čerpadlo představuje stroj s nízkým objemovým dopravovaným množstvím / a generujícím vysokou tlakovou výšku. Vstupní potrubí a plášť válce jsou v typickém případě opatřeny vakuovou izolací a to za účelem snížení na minimum úniků tepla a aby se zabránilo odpařování vstupující kapaliny. V příslušném návrhu je možno zahrnout tlumiče pulsací, aby se tak na minimální hodnotu snížil kladivový efekt média, která je působena vysokou rychlostí pístu v pístovém stroji.

Pístové čerpadlo se může používat kontinuálně v jednotce na dělení vzduchu k odvádění kapalného produktu, v typickém případě se jedná o kapalným kyslík a k čerpání produktu na velmi vysoký tlak předtím, než je tento odpařován v hlavním výměníku tepla. Takové pístové čerpadlo také může být použito přerušovaně k odvádění kapalného produktu ze skladovací nádrže a k jeho čerpání na velmi vysoký tlak předtím, než je tento odpařován ve výměníku tepla. Odpařovaný produkt se může použít k plnění vysokotlakých plynových lahví nebo k plnění nádob s plynem.

Vzhledem k vnitřní schopnosti pístových kompresorů generovat velmi vysoké tlaky na výtlaku:

- Musí opatřené odpovídající PRD za účelem ochrany pracovníků personálu a zařízení před přetlakem a nebezpečnými podmínkami proudění.
- Přístrojové vybavení čerpadla a elektrické ovládací orgány musí zahrnovat automatické odstavení vysokého tlaku a nízké elektrické zátěže motoru.

- Měřidla na vysokotlakém výtlaku by měla být vybavena tlumiči otřesů, čočkami z umělé hmoty a odfukovými otvory.

### 10.3 Konstrukční materiály

Všechna kryogenická čerpadla musí být vyrobena z materiálů, které jsou vhodné pro předpokládané procesní podmínky, aby byl zajištěn bezpečný a spolehlivý provoz. Obsah kyslíku v médiu, se kterým se tu pracuje, se podle čistoty může měnit od velmi vysokého obsahu do nevýznamného obsahu kyslíku a to v závislosti na procesních podmínkách. Při stanovování, zda by nějaké čerpadlo mělo být navrhováno pro provoz na kyslík, by se měla uvažovat čistota média v celém pracovním rozsahu včetně normálního provozu, spouštění, odstavení a během výjimečných procesních podmínek. Volbu materiálů pro konstrukci čerpadel na kyslík řídí přísnější návrhová pravidla. Viz CGA G-4.7, *Návod k instalaci horizontálních, stabilních, elektrickým motorem poháněných čerpadel na kapalný kyslík*, který je průvodcem pro odstředivá kyslíková čerpadla (Harmonizovaný dokument EIGA, který bude publikován) [51]. Výrobci mohou poskytnout specifická doporučení pro pístová čerpadla na kyslík.

### 10.4 Návrh celkového systému čerpadla

Při navrhování a montáži kryogenického čerpadla se musí věnovat pozornost tomu, aby bylo zajištěno, že namáhání potrubí v důsledku smršťování potrubí při podchlazení, v důsledku hmotnosti kapaliny, tvorby ledu a dynamických sil z provozovaného čerpadla budou izolována od tělesa čerpadla, aby se tak zabránilo poškození. Toto lze splnit navržením pružnosti provedení potrubního systému na sání a na výtlaku čerpadla a zajištěním řádné podpory těchto potrubních vedení. Přednostní metodou takové zábrany přenášení namáhání je použití pružných spojů, přípojek, jako jsou opletené pružné hadice v místech kde navazuje čerpadlo na potrubní systém.

Do sacího vedení by mělo být u čerpadla nainstalováno na vstupu sítko bránící tomu, aby pronikající částice poškodily stroj. Doporučená velikost ok sítka na vstupu do čerpadla musí být určena výrobcem čerpadla (viz reference [51]). Dává se přednost instalaci vstupního sítka mezi čerpadlo a pružnou přípojku.

Potrubní systém kryogenních čerpadel musí být navržen tak, aby nevykazoval netěsnosti a úniky, což se zajišťuje minimalizací použitých závitových spojů a šroubovaných spojů. Unikající kryogenní média mohou způsobit prasknutí krytů, pouzder z uhlíkové oceli, přípevňovacích rámu, těles motorů a mohou vést k zamrznutí ložisek motoru.

**VÝSTRAŽNÉ UPOZORNĚNÍ:** Úniky kyslíku kolem hnacích motorů čerpadla mohou vést k vytvoření zvláště nebezpečného stavu vedoucího k požáru nebo výbuchu.

Použití plechů z nerezové oceli, konstrukčních, stavebních prvků nebo krytů se může doporučit k ochraně pracovníků a zařízení v případě výskytu úniku kapaliny. Dispoziční uspořádání potrubí a umístění čerpadla musí být takové, aby v případě vývinu takového úniku kapaliny byla tato kapalina odvedena od jakéhokoliv zařízení, od základů čerpadla nebo z jakékoliv jiné oblasti, která je ohrožená studeným médiem nebo atmosférou s vysokým obsahem kyslíku.

Na sacím vedení každého čerpadla se musí namontovat PRD, aby tak byly těleso a těsnění čerpadla chráněné před přetlakem v případě stavu zachycené kapaliny. Nastavená hodnota tlaku tohoto odlehčovacího, pojistného ústrojí musí být nastavena pod maximálním dovoleným pracovním tlakem tělesa a ucpávky čerpadla.

Měla by být věnována pozornost umístění a uspořádání čerpadla a jeho potrubí tak, aby podchlazování čerpadla a plnění mohlo být prováděno s minimálními obtížemi a s minimálními ztrátami produktu. Sací potrubí čerpadla ze zásobníku kapaliny musí být pokud možno co nejkratší a s minimem ohybů a armatur. Přiměřená veličina (NPSH) by měla být k dispozici u všech hladin skladovacího zásobníku

kapaliny, aby se tak předešlo kavitaci v čerpadle. Podchlazovací a recirkulační vedení vybavené příslušným regulačním ventilem by mělo vracet studený plyn a přebytečnou čerpanou kapalinu nazpátek do skladovacího zásobníku kapaliny při podchlazování čerpadla nebo při provozu čerpadla. Tato funkce recirkulace by měla být automatizována s použitím přístrojového vybavení pro regulaci tlaku. Jakákoliv odvětrávaná kapalina by měla být vypouštěna do bezpečného místa. (viz odstavec 15.2). Měly by být opatřeny ventily pro oddělení čerpadla od zdroje kapaliny, když toto čerpadlo není v provozu nebo v případě nouze. Na výstupu by měl být také nainstalován zpětný ventil.

Oblast mechanické ucpávky hřídele čerpadla by měla být ofukována inertním suchým plynem za účelem omezení tvorby ledu kolem ucpávky.

Řádná izolace sacího potrubí je důležitá k minimalizaci úniku tepla do kapaliny na sání, což potom zajišťuje snadné plnění čerpadla a dobrý provoz čerpadla. Ztráty chladu u sacího potrubí se musí zahrnout do příslušného výpočtu veličina (NPSH). Použitý izolační systém může zahrnovat kovové potrubní vedení a blok čerpadla nebo individuální izolaci komponent potrubí (buď izolace v uzavřené buňce nebo s vakuovým pláštěm) a měl by být utěsněn proti vnikání vlhkosti. Jestliže se použije konstrukce izolace kovového kanálu a bloku čerpadla, pak musí být zajištěno profukování inertním plynem. V typickém případě, jestliže je použito konstrukce bloku čerpadla, pak všechny potřebné oddělovací ventily na sání a na výtlačku, vstupní sítkové filtry, pružné přípojky a zpětné ventily jsou umístěny uvnitř tohoto bloku čerpadla.

V závislosti na návrhových požadavcích procesu by mohlo výtlačné potrubí z čerpadla včetně vedení podchlazování a recirkulace být neizolované.

### **10.5 Speciální úvahy o provozu na kyslík**

Zvláštní pozornost je nutno věnovat návrhu, výrobě, montáži, instalaci a provozu čerpadel na kapalný kyslík LOX [51].

### **10.6 Motor čerpadla**

Motor čerpadla musí být řádným způsobem dimenzován, aby zvládl veškerá očekávaná zatížení, která jsou u čerpadla vyžadována. U odstředivého čerpadla je možné, že se překročí jmenovitá hodnota výkonu motoru za podmínek nízkého výtlačného tlaku a čerpadlo by tedy mělo být opatřeno ochranou proti přetížení motoru. Vertikální a horizontální odstředivá čerpadla poháněná přímo spojeným prodloužením hřídele motoru musí mít pozitivní prostředky k fixování axiální polohy hřídele motoru. Toto je obvykle zajišťováno aplikací axiálního ložiska.

Mezi tělesem ložiska čerpadla a mezi tělesem ložiska konce motorového pohonu by měla být přiměřená tepelná bariéra a to buď prostřednictvím distančního kusu nebo s použitím izolačního materiálu, aby se tak zajistila ochrana ložiska před působením extrémně nízkých teplot. Když je hřídel motoru přímo spojena s čerpadlem a čerpadlo je odstaveno z provozu při kryogenických teplotách po nějakou delší dobu, může být opatřen elektrický ohřívač koncového ložiska motorového pohonu. Takový motor také může být opatřen ohřívačem motorového prostoru.

Motory by měly být celkově uzavřeného typu s chlazením ventilátorem.

Mazáním pro ložiska motoru u motorů kryogenních čerpadel na kapalný dusík nebo na kapalný argon mohou být mazací tuk a oleje na bázi minerálního oleje s určením pro nízké teploty, jestliže konstrukce motoru zajišťuje oddělení mazaných komponent od čerpadla. Speciální pozornost se musí věnovat tomu, aby bylo zajištěno, že nemůže mazivo ložisek motoru vniknout do procesního potrubí.

## 10.7 Provoz čerpadla

Vyhnete se spouštění čerpadla, dokud takové čerpadlo nedosáhne své provozní teploty, aby bylo, že se naplnění čerpadla kapalinou udrží a aby se zabránilo poškození čerpadla. Ztráta naplnění čerpadla kapalinou může být způsobena nedostatečným podchlazením kapaliny, nedostatečnou hladinou ve skladovacím zásobníku kapaliny nebo velkou tlakovou ztrátou na filtračním sítku na vstupu. Odstředivá čerpadla také mohou ztratit své naplnění, jestliže výtláčný tlak se stane příliš vysokým nebo příliš nízkým.

Čerpadla na kapalinu se musí okamžitě odstavit, jestliže se objeví nějaká známka poruchy provozu, jako je na příklad přílišný únik z ucpávky, vnitřní dření nebo neobvyklý hluk.

Kyslíkové čerpadlo ve studené záloze se musí periodicky odpouštět a proplachovat čerstvou kapalinou, aby se tak časem zabránilo hromadění uhlovodíků v kapalině čerpadla.

Čerpadlo, které je vybaveno externími ložisky, by nemělo zůstat odstavené a zaplavené kapalinou, pokud se neopatří prostředky, které zabrání přílišnému ochlazení vnějších ložisek čerpadla.

Ručně ovládané čerpadlo se musí stále při provozu místně monitorovat tak, bylo možno podle potřeby učinit příslušná nápravná opatření.

Plnicí čerpadla cisteren mohou být automatická nebo ruční. Na příklad viz CGA P-31, *Návod pro systémy plnění cisternových vozů*, kde jsou uvedeny další informace [52].

Ochrana proti ztrátě průtoku u čerpadla nebo proti kavitaci u čerpadla se může zajistit monitorováním nízkého elektrického zatížení motoru, nízkým výtláčným tlakem čerpadla, nízkým diferenčním tlakem na čerpadle nebo nízkou hodnotou veličiny NPSH. Zařízení NPSH může sloužit také k tomu, aby zabránilo spuštění čerpadla bez jeho dodatečného podchlazení nebo bez potřebné vstupní nátokové výšky.

## 10.8 Postupy pro provoz a údržbu

Ke spuštění, provozování a odstavování každé čerpací jednotky musí být použito písemných postupů. Periodicky se musí monitorovat klíčové provozní parametry. Abnormální podmínky a trendy se musí prošetřovat a vyřešit.

Pro každou čerpací jednotku by měl být připraven časový rozpis provádění údržby. Frekvence provádění by se měly zakládat zpočátku na doporučeních prodávajícího a případně na historických údajích.

Po provedené údržbě čerpadla se hřídel čerpadla musí volně otáčet.

## 11 Blok hlubokého chladu

Tato část stručně uvádí rozbor řady návrhových faktorů ovlivňujících bezpečný provoz a údržbu bloku hlubokého chladu a procesního zařízení, které je v bloku umístěné.

Další informace o konstrukci a provozu specifického zařízení bloku hlubokého chladu lze nalézt v EIGA 701/04 EIGA 702/04 a IGC 65/99 [2, 40, 53].

### 11.1 Základy bloku hlubokého chladu

Pro bloky hlubokého chladu by se mělo používat monolitických základů a tyto základy by měly být v souladu s místními normami včetně požadavků na seismickou činnost a zatížení od větru.

Do počátečního návrhu by se měla zahrnout opatření pro počáteční nebo budoucí ohřev základů (nucené vyhřívání nebo přirozené ohřívání okolním prostředím), aby se tak zabránilo namrzání v důsledku chladu z kryogenního zařízení. K detekci abnormálních teplotních podmínek mohou pomoci termoelektrické články, které jsou v základu namontovány.

### 11.2 Pláště bloku hlubokého chladu

Na plášti bloku hlubokého chladu by měla být opatřena zařízení jako ochrana proti přetlaku a zařízení pro detekci podtlaku. Počet a druh těchto ústrojí a nastavený tlak by měly být založené na konfiguraci bloku hlubokého chladu, na tlaku a průtočném množství procesního proudu, na tlaku profukovacího plynu a také na tom, zda jako izolace bloku je použito minerální vaty, vermikulitového materiálu nebo perlitu. Tato ústrojí by měla být nainstalována k tomu, aby se zabránilo odvětrávání na pracovníky a zařízení.

Plášť bloku se udržovat těsný. Periodicky se musí provádět kontrola preventivní, běžná kontrola prostorů ventilových těsnění, těsnění přístupových panelů a podobně. V případě potřeby se musí provést oprava. Plášť bloku a zvláště se jedná o jeho střešní část se musí udržovat ve stavu, kdy je opatřen nátěrem a těsný proti vodě.

Hromadění vlhkosti uvnitř bloku hlubokého chladu může způsobit tvorbu bloků ledu, které degradují izolaci, omezují pohyby potrubí a potenciálně toto může vést k poškození potrubí. K poškození potrubí dochází obecně ve fázi odtavování nebo podchlazování, kdy potrubí je vystaveno extrémním změnám teploty. V případě izolací bloku hlubokého chladu perlitem existuje další nebezpečí jak pro pracovníky personálu tak pro procesní zařízení v důsledku tvorby bloků ledu a jejich klesání dolů blokem.

### 11.3 Izolace

Izolace musí být slučitelná s kyslíkem. Perlit představuje nejobvykleji používaný izolační materiál v blocích hlubokého chladu (viz CGA P-8.3, *Řízení perlitu*) (Harmonizovaná dokument EIGA bude vydán) [54]. Vermikulit a minerální vata také představují přijatelné izolační materiály. Při manipulaci s vermikulitem je třeba opatrnosti a to vzhledem k tomu, že obsahuje azbest. Olej se používá jako medium pro kontrolu prachu při výrobě izolační minerální vaty, ale nemělo by se dovolit, aby jeho obsah přesáhl 0,175 procent hmotnostních (3,5 libry na tunu). Minerální vata s nízkým obsahem chloridu by se měla specifikovat jako zábrana proti porušením nerezové oceli korozí napětím v případě, že se izolace stane vlhkou.

### 11.4 Vnitřní podpěry

Musí se v tomto případě použít materiálů, které jsou vhodné pro vystavení se působení kyslíku a nízkých teplot. Měly by se provádět kontroly, aby se zajistilo, že před vlastním instalováním izolace jsou všechny přepravní podpěry odstraněny.

### 11.5 Profukování bloku hlubokého chladu a potrubí

Za účelem vyloučení vlhkosti a vzduchu měly by být bloky hlubokého chladu a potrubní kanály profukovány s použitím suchého dusíku a stále by se měl udržovat mírný přetlak. Plynný dusík který může obsahovat maximálně 5% kyslíku:

- brání zkapalňování vzduchu ve styku se studeným procesním zařízením. Zkapalněný vzduch může vytvořit v bloku hlubokého chladu louže na kyslík bohaté kapaliny. Jestliže je izolace porušená nebo blok ohřátý, mohou se tyto louže rychle odpařovat. Toto rychlé odpařování může činit perlit pohyblivým nebo může dojít k přetlaku v bloku hlubokého chladu.
- Brání vstupu vlhkosti, což udržuje vlastnosti izolace. Vnikání vlhkosti působí problémy, jak je to popsáno v odstavci 11.2 a

- Udržuje obsah dusíku na minimální hodnotě. Jakékoliv zvýšení obsahu kyslíku indikuje procesní netěsnosti nebo vnikání vzduchu.

Periodicky se musí monitorovat čistota a tlak uvnitř bloku hlubokého chladu. Tlakoměry nainstalované na plášti bloku hlubokého chladu mohou též být užitečné při detekci netěsností uvnitř bloku. Systém profukování dusíkem by měl být navržen tak, aby to zabránilo vniku podtlaku v kterékoliv části bloku hlubokého chladu.

### 11.6 Úniky, netěsnosti procesu

Úniky kapaliny nebo studeného plynu by měly být opraveny co nejrychleji, jak jen je to prakticky možné a to vzhledem k možnému namrznání základu bloku a zvedání, vzhledem k možné erozi procesního zařízení perlitem, k možnému přetlaku uvnitř bloku a praskání konstrukčních prvků a panelů z uhlíkové oceli. Důsledky úniků kapaliny jsou obecně horší a mohou si vyžadovat více bezprostřední pozornosti.

Každý únik uvnitř bloku hlubokého chladu s práškovou izolací by měl být prošetřen a opraven co nejrychleji, jak je to prakticky možné. V případě práškové izolace může malý únik nastavit cirkulaci prášku, zvyšovat otvor a může to vést k dosti rychlé erozi připojeného potrubí nebo zařízení. Toto může zavést izolaci do procesního proudu.

Omrzlá místa a změny v čistotě a tlaku plynu k profukování pláště bloku hlubokého chladu představují první indikace netěsností na procesním zařízení.

Potenciálními zdroji netěsností jsou mechanické spoje jako jsou přírubové spoje nebo závitové spoje. Tam, kde je to možné, měli bychom se vyhnout použití takových spojů uvnitř studeného bloku. V případě použití perlitové izolace se mohou použité přírubové ventily oddělit od zbytku bloku hlubokého chladu prostřednictvím nehořlavých přepážek naplněných minerální vatou nebo jiným vhodným izolačním materiálem, takže potom je možný přístup k těmto ventilům a přírubám kvůli provádění údržby, aniž bylo nutno vyprazdňovat veškerý perlit.

### 11.7 Odstraňování částeczek materiálu

K zábraně migrace materiálu procesním systémem mohou být zapotřebí mechanický filtrační zařízení. Tato zařízení mechanické filtrace jsou obvykle umístěna u zdroje materiálu, který může migrovat a na vstupu do zařízení, které by mohlo být citlivé na přítomnost takového migrujícího materiálu. Jako příklady jsou:

- Vstupní a výstupní síta by měla být nainstalována k zadržení adsorbentu v adsorpčních nádobách.
- Sítko by měla být nainstalována na vstupech do čerpadel, expanzních strojů nebo kompresorů a
- Sítko by mohla být opatřena při suchém varu kyslíku (viz EIGA 702/04 [2]).

Vzhledem ke svému specifickému účelu zadržovat nebo akumulovat možný migrující materiál, měla by se tato zařízení periodicky kontrolovat a čistit.

Došlo k významným nehodám, když takové částičky (na příklad perlit nebo silikagel) se dostaly do spodku nízkotlaké kolony a došlo k zablokování průchodů ve vařáku. Toto může potom vést k místnímu varu a k nebezpečnému hromadění uhlovodíků. Jestliže nějaký důkaz ukazuje, že se takové částice dostaly do spodku nízkotlaké kolony, pak tedy se v takovém případě musí zařízení odstavit a částice odstranit.

### 11.8 Kryogenické adsorbéry

Kryogenické adsorbéry se mohou umístit na různých místech procesu za účelem odstraňování uhlovodíků a oxidu uhličitého.

U zařízení s reverzačními, přepínacími výměníky tepla se musí nainstalovat kryogenické adsorbéry za účelem odstraňování uhlovodíků a stop oxidu uhličitého ze vzduchu, který proudí přepínacím výměníkem a vstupuje do kryogenických destilačních kolon. Kryogenické adsorbéry se mohou nainstalovat u jednotek vybavených jednotkou předběžného čištění PPU k odstranění znečišťujících látek, které by mohly projít přes tuto jednotku předběžného čištění.

I když adsorbéry nejsou v typickém případě navrženy k adsorpci oxidu dusného, průmyslová zkušenost ukazuje, že většina jich je účinných při odstraňování oxidu dusného z kapalných proudů.

Kryogenické adsorbéry by se měly provozovat v souladu s doporučeními výrobce, aby se tak zabránilo pronikání adsorbovaných nečistot. Kryogenické adsorbéry by měly být regenerovány s použitím suchého plynného dusíku neobsahujícího olej. Za nepříznivých procesních podmínek nebo tehdy, když dojde k proskoku nečistot, pak by se měl v takovém případě adsorbér regenerovat častěji.

Kde výrobce poskytl minimální požadavky na průtok kryogenickým adsorbérem, mělo by se toto striktně dodržovat, aby tak bylo zajištěno odstraňování nečistot. Toto průtočné množství může být indikováno měřením průtočného množství nebo měřením tlakové diference. U kryogenických adsorbérů, které odstraňují nečistoty z parní fázi, může významné zvýšení teploty proudu způsobit náhlou desorpci znečišťujících látek, které se tak uvolní a jsou do zařízení dále ve směru technologického toku. Toto může způsobit významné bezpečnostní riziko.

Skutečné umístění adsorbérů v procesním systému závisí na specifickém návrhu procesu. Některé příklady jsou uvedené v Tabulce 6.

**Tabulka 6 – Názvy kryogenních adsorbérů**

Umístění	Obvyklé názvy
Přívod vzduchu do vysokotlaké kolony	Lapač gelu na studeném konci, uhlovodíkový adsorbér
Přívodní proud vzduchu do nízkotlaké kolony	Boční odlehčovací lapač gelu
Proud kapaliny ze spodku vysokotlaké kolony	Uhlovodíkový adsorbér, adsorbér bohaté kapaliny, lapač gelu z kapaliny vařáku
Spodek nízkotlaké kolony	Ochranný adsorbér, filtr LOX, recirkulační lapač gelu
Výtlač čerpadel na kapalný kyslík LOX	Ochranný adsorbér, filtr LOX, recirkulační lapač gelu

Jestliže jsou opatřeny jednotlivé adsorbéry různých typů, pak tedy by se měly regenerovat po jednom, aby se na minimum snížilo vystavení se stále procházejícím nečistotám. Toto opatření se neaplikuje, jestliže jsou opatřeny zdvojené adsorbéry stejného typu.

Jako adsorpčního materiálu se obecně používá silikagelu.

Bezpečnostní opatření, která se aplikují při regeneraci a ochlazování kryogenického adsorbéru zahrnují následující:

- Dodržujte výrobcem doporučená průtočná množství regeneračního plynu, aby se tak zabránilo fluidizaci silikagelu a jeho narušování.
- Dodržujte výrobcem doporučené teploty a doby jednotlivých kroků, aby se zajistilo kompletní odstranění adsorbovaných nečistot.
- Vyhněte se rychlým teplotním změnám (jak při ohřívání tak při ochlazování), aby se zabránilo porušování silikagelu.
- Při podchlazování zavádějte kryogenické kapaliny pomalu, aby se zabránilo fluidizaci a porušování silikagelu.
- Zabraňte vstupu vody v kapalné formě, což by vedlo k porušení silikagelu.



Když se silikagel drobí na malé částice a prach, pak toto může vést k vážným bezpečnostním problémům a v takovém případě, by se měla provést výměna silikagelu co nejdříve, jak je to jen prakticky možné. Příznaky takového porušování silikagelu mohou zahrnovat špatný výkon takového kryogenického adsorbéru, sníženou úroveň hladiny silikagelu v nádobě adsorbéru, prach nebo částičky silikagelu objevující se na odvodu regeneračního plynu nebo zvýšenou tlakovou ztrátu v okruhu kryogenického adsorbéru. Jestliže se kterýkoliv z takových příznaků objeví, musí se ihned provést příslušné vyšetřování a musí se odstranit příčina. Migrace silikagelu může vést k zanesení výměníků tepla zařazených dále ve směru technologického toku, což může vést k suchému varu a ke zvýšení rizika uvolnění energie.

Během odstávek v rámci plánované údržby se musí měřit úroveň vrstvy ve všech kryogenických adsorbérech.

Další rady pro provoz jsou uvedené v IGC 65/99, Dodatek 1 [77].

## **11.9 Hladiny kapaliny**

### **11.9.1 Vysokotlaká kolona**

Během normálního provozu je zapotřebí dostatečné hladiny kapaliny ve spodu vysokotlaké kolony, aby byl zajištěn kapalinový uzávěr, který zabrání obtoku par a aby byl zajištěn průtok kapaliny do kryogenických adsorbérů, jestliže tyto jsou nainstalované. Hladina kapaliny ve vysokotlaké koloně se musí udržovat na maximální hodnotě nebo pod takovou maximální hladinou doporučenou výrobcem. Tímto se zabrání hydrostatickému poškození („vodnímu rázu“) vnitřních komponent kolony. Před spuštěním se musí hladina ve spodu vysokotlaké kolony snížit na hodnotu pod maximální hladinou doporučenou výrobcem.

### **11.9.2 Nízkotlaká kolona**

Pro vařáky s termosifonem se hladina kapaliny ve spodu nízkotlaké kolony musí udržovat na úrovni doporučené výrobcem, aby tak byla zajištěna správná recirkulace kapaliny ve vařáku. Tímto se zabrání koncentrování nečistot v kapalném kyslíku LOX na nějakou nebezpečnou úroveň. Další podrobnosti v tomto ohledu jsou uvedené v IGC 65/99 [40].

U zařízení vybavených vařáky s tokem směrem dolů nebo v případě kolon, které nejsou vybavené vařákem se hladina kapaliny ve spodu nízkotlaké kolony musí udržovat v rozsahu hladin kapaliny doporučeného výrobcem, aby tak byla zajištěna dostatečná hydrostatická výška pro jakákoliv připojená procesní čerpadla.

Různé nevyvážené provozní stavy nebo odstávky, které povedou k náhlému přerušení průtoku vzduchu do destilačních kolon, mohou způsobit, že kapalina v nízkotlaké koloně a v koloně surového argonu steče do spodku nízkotlaké kolony. Hladina ve spodu kolony tak stoupne a může přesáhnout hrdlo odběru plynného kyslíku. Diferenční tlak mezi kolonou a okruhem plynného dusíku a/nebo výškou hladiny v jímce může tlačit kapalinu ze spodku skrze hlavní výměníky tepla do teplého potrubí okruhu plynného kyslíku. Návrh by měl zahrnovat nahoru směřující smyčku v potrubí studeného plynného kyslíku, hojný objem ve spodu nízkotlaké kolony nebo jiná odpovídající opatření, aby se zabránilo výskytu takového nebezpečí. Při odstávování zařízení by měl být kyslíkový ventil na teplém konci uzavřen, aby se zabránilo přenosu kapaliny.

Před opětovným najížděním studeného zařízení vypusťte spodek nízkotlaké kolony na takovou hladinu, jak je to doporučeno výrobcem. Tímto se zajistí, že již nebude tak vysoká hladina kapaliny ve spodu nízkotlaké kolony, která by mohla vést k poškození zařízení nebo k přenášení kapaliny na teplý konec zařízení.

### 11.10 Monitorování znečišťujících látek

Monitorování nečistot v typickém případě předpokládá kvalitu vzduchu okolního prostředí (viz odstavec 6.1).

Doporučená analýza a meze nečistot v kapalině spodku nízkotlaké kolony jsou popsány v IGC 65/99 [40].

Frekvence provádění analýzy závisí na cyklech zařízení, na umístění zařízení, na povětrnostních podmínkách a na jakýchkoliv abnormálních podmínkách. V případě zařízení vybavených systémem REVEX a/nebo regenerátorem se musí běžně provádět analýza acetylénu v souladu s doporučeními výrobce. Celkové uhlovodíky a specifické uhlovodíky by se měly kontrolovat periodicky v souladu s doporučeními výrobce na všech zařízeních. Jakákoliv divergence, odchylka od normálních hladin by se měla vyšetřovat a měla by se určit příčina takové změny.

Monitorování kapaliny ze spodku nízkotlaké kolony na oxid uhličitý představuje hodnotný provozní parametr nebo návod na odstavení. U zařízení, která používají kryogenické adsorbéry, může být zvyšující se koncentrace oxidu uhličitého v kapalině ve spodku nízkotlaké kolony jiná než z dočasně nevyváženého provozu nebo při obtoku kryogenického adsorbéru indikátorem proskoku z kryogenických adsorbérů. Jestliže se toto ponechá bez nápravy, pak potom mohl následovat proskok acetylénu.

U zařízení na předběžné čištění vzduchu PPU se monitorování oxidu uhličitého v typickém případě provádí na výstupu z tohoto zařízení na předběžné čištění. Považuje se za dobrou provozní praktiku provádět také periodické analýzy na oxid uhličitý v kapalině ve spodku nízkotlaké kolony. Další návod je uveden v IGC 65/99 [40].

Úroveň oxidu uhličitého za jeho mezemi rozpustnosti představuje indikaci potenciálního problému. Pevný oxid uhličitý může ucpat průchody ve vařáku. Suchý var potom může vyústit v lokalizované a nebezpečné úrovni koncentrací uhlovodíků za dolní mez výbušnosti (LEL). Monitorování oxidu uhličitého prostřednictvím infračervené analýzy může pomoci vyhnout se problému spojeným s ucpáváním pevným oxidem uhličitým. Alternativně může být oxid uhličitý monitorován ve spodku nízkotlaké kolony odebráním vzorku kapaliny do čiré skleněné vakuové Dewarovy nádoby s úzkým hrdlem a potom pozorováním čirosti kapaliny. Úroveň oxidu uhličitého nad 5 ppm způsobuje mléčný vzhled a nakonec potom jsou zřejmé vločky pevného oxidu uhličitého.

**VÝSTRAŽNÉ UPOZORNĚNÍ:** *Všechny kryogenické kapaliny jsou extrémně studené. Kryogenické kapaliny a jejich chladné odpařené páry mohou velmi rychle způsobit omrznutí lidské tkáně. Při odebrání vzorků kryogenních kapalin se musí používat řádné osobní ochranné prostředky. Viz CGA P-12 [7].*

V kapalině ve spodku nízkotlaké kolony se může koncentrovat a potenciálně srážet oxid dusný. [40]. Pevný oxid dusný může způsobit ucpání průchodů ve vařáku. Suchý var potom může vést v lokalizované a nebezpečné úrovni koncentrací uhlovodíků za dolní mez výbušnosti LEL. Provozování zařízení v souladu s pokyny výrobce obvykle zabrání tomu, aby se oxid dusný koncentroval nad bezpečné provozní meze. K detekci přítomnosti oxidu dusného je možno uvažovat periodické monitorování, jako je test dávky nebo zkouška na čirost. Jestliže se zjistí zvýšené hladiny oxidu dusného, pak v takovém případě může být užitečné provádět monitorování kapaliny ve spodku nízkotlaké kolony na přítomnost oxidu dusného častěji.

Mez rozpustnosti oxidu uhličitého v kapalném kyslíku LOX činí při atmosférickém tlaku přibližně 5 ppm. Mez rozpustnosti oxidu dusného v kapalném kyslíku LOX činí při atmosférickém tlaku přibližně 140 ppm až 160 ppm. (viz IGC 65/99 [40]). Při vysokých tlacích jsou tyto meze vyšší. Oxid uhličitý a oxid dusný, jestliže jsou oba přítomny, budou tvořit pevný roztok. Z praktického hlediska spočívá důležitost pevného roztoku v tom, že mez rozpustnosti každé komponenty bude nižší, jestliže jsou obě

komponenty přítomné [55, 56]. K identifikaci složení sledované sraženiny je jako nezbytné provádět podrobnější analýzu.

## 11.11 Oddělení argonu a jeho čištění

### 11.11.1 Popis procesu

Oddělování a čištění argonu v bloku hlubokého chladu zařízení na dělení vzduchu začíná s koncentrací argonu na asi 8% až 20% uprostřed nízkotlaké kolony. Potom se vede do boční destilační kolony, kde se argon dále koncentruje na hodnotu 96% až 99,9 % nebo více. U některých zařízení používajících náplňové kolony nepotřebuje hlavový produkt kolony další odstraňování kyslíku. U většiny jiných zařízení obsahuje surový argon 0,1% až 4% kyslíku a potřebuje další zpracování v systému na čištění surového argonu. Ve většině obvyklých technologií se kyslík odstraňuje na stopová množství prostřednictvím katalyticky podporované tepelné reakce s kyslíkem (deoxidace nebo DEOXO). Méně často používaná technologie používá kyslíkových getrů regenerovaných vodíkem.

Po odstranění kyslíku se vodík a stopový dusík mohou odstraňovat z argonu s použitím konečného destilačního stupně.

### 11.11.2 Nebezpečí

S použitím vodíku v systému čištění surového argonu jsou spojena následující nebezpečí:

- Každý plyn obsahující více jak 4% kyslíku v přítomnosti více jak 4% vodíku představuje potenciálně výbušnou směs. Musí být učiněna taková bezpečnostní opatření, aby koncentrace jak vodíku tak kyslíku nepřesáhly současně 4%. U většiny deoxo jednotek je koncentrace vodíku téměř vždy větší než 4%, takže je tedy kritickou záležitostí omezit maximální obsah kyslíku v surovém argonu.
- Může dojít k přehřátí katalytického reaktoru nad jeho návrhovou teplotu v případě, že surový argon obsahuje příliš velké množství kyslíku a to vzhledem k tomu, že během této reakce se vyvíjí teplo. Může být jako nezbytné recyklovat argon bez obsahu kyslíku na výstupu z jednotky deoxo za účelem snížení obsahu kyslíku na bezpečnou mez. Reaktor by se měl odstavit vždy, kdy koncentrace kyslíku překročí maximální dovolenou hodnotu specifikovanou výrobcem zařízení. Jestliže není k dispozici taková specifikace od výrobce zařízení, pak tedy hodnota 2% představuje typickou maximální hodnotu koncentrace kyslíku. Během spouštění systému na čištění argonu je velice důležité, aby obsah kyslíku v surovém argonu před zaváděním vodíku se pohyboval pod mezní prahovou hodnotou obsahu kyslíku.
- Exotermická reakce může vést k teplotám přesahujícím 540°C (1000°F). Za účelem ochrany nádob a příslušného potrubí by mělo být nainstalováno odstavení v důsledku vysoké teploty. V normálním případě reaktor není izolován, aby se mohlo teplo ztrácet do okolí. Kolem nádoby reaktoru a kolem horkého potrubí musí být nainstalovány vhodné bariéry pro ochranu osob.
- Měla by být monitorována koncentrace vodíku na výstupu z reaktoru. Jestliže se tato hodnota dostane na hodnotu vyšší, než jak je doporučeno výrobcem, měly by být v takovém případě podniknuty příslušné akce za účelem snížení koncentrace vodíku na bezpečné meze. Systém přívodu vodíku do systému čištění surového argonu musí být opatřen automatickým zdvojeným systémem blokování, uzavření a odvětrání, který bude oddělovat vodík během odstávky tohoto systému.
- Je nanejvýš důležité zabránit migraci vodíku do takových částí zařízení, které obsahují kyslík. Musí se použít řádné oddělovací systémy, jako na příklad zpětné ventily a automatické blokovací ventily. V systému pro čištění argonu použijte separátní profukovací a odváděcí sběrná potrubí, aby se zabránilo tomu, že by tato sběrná potrubí byla cestou, kde by vodík mohl vstupovat do odváděcích vedení jednotky na dělení vzduchu ASU.
- U jednotek na dělení vzduch s getry je důležité omezit koncentraci kyslíku v surovém argonu a koncentraci vodíku v regeneračním plynu, aby se zabránilo přehřátí. Takové přehřátí může nevratným způsobem poškodit materiál getru.

- Vodík je hořlavý plyn, který hoří neviditelným plamenem a vyžaduje si dodržování speciálních opatření pro manipulaci s tímto plynem. Viz IGC 102/03, *Směrnice pro provádění bezpečnostního auditu*, IGC 121/04 *Směrnice pro dopravu vodíku*, IGC 15/96, *Stanice plynového vodíku*, IGC 6/02, *Bezpečnost při skladování, manipulaci a distribuci kapalného vodíku*, viz také CGA G-5, *Vodík*, CGA G-5.4, *Norma pro potrubní systémy vodíku v místech spotřebitele*, CGA G-5.5, *Odvětrávací systémy vodíku*, a CGA P-28, *Dokument návodu pro plán řízení rizik pro objemové systémy kapalného vodíku* [85, 86, 87, 88, 57, 58, 59, 60].
- Vodík pro potřeby čištění argonu může přicházet z mnoha zdrojů: jako čistý plyn nebo jako kapalina, disociovaný čpavek, metanol, elektrolytické články nebo jako odváděný plyn z rafinérií a chemických zařízení. Čistota vodíku se musí pohybovat v přijatelných mezích. Stopové nečistoty mohou ovlivňovat volbu materiálu, čistotu produktu a/nebo mohou způsobit otravu katalyzátoru reaktoru nebo materiál getru. A dále
- Systém sušiče musí řádně pracovat, aby se zabránilo pronikání vlhkosti, která by mohla namrznat v kryogickém zařízení dále ve směru technologického toku.

### 11.12 Profukování nekondenzovatelných složek

Nízkovroucí stopové nečistoty ve vzduchu, jako jsou vodík, helium a neon se budou koncentrovat na vrchu vysokotlaké kolony. Nízkovroucí nečistoty se mohou koncentrovat tak, že to může být dostatečné k degradaci provozu kondenzátoru vařáku. Tyto nečistoty je možno odstraňovat buď:

- Plyným procesním proudem, který je odebírán z hlavy vysokotlaké kolony nebo
- Odfukem na proud dusíku opouštějícího kondenzátor vařáku. Toto odvětrání se v typickém případě odvádí do odpadního plynu nebo do procesního proudu vstupujícího do nízkotlaké kolony nebo do odpadního proudu opouštějícího nízkotlakou kolonu.

### 11.13 Čištění bloku hlubokého chladu

Zařízení, která mohou být znečištěna olejem a/nebo jinými uhlovodíky, si vyžadují čištění. Podrobnosti o látkách pro čištění a o příslušných postupech čištění najdete v EIGA 702/04, EIGA 701/04 a IGC 33/97 [2, 31, 53].

### 11.14 Bezpečná doba setrvání pro kapalný kyslík LOX

Provozní podmínky si mohou vyžadovat, aby blok hlubokého chladu byl odstaven a udržován ve stavu studené zálohy. Opětovné najetí potom bude snadnější, jestliže zásoby kapaliny se budou během takového odstavení udržovat, avšak v důsledku přestupu tepla dojde k odpařování určité části této zásoby kapaliny, což povede ke koncentrování znečišťujících látek ve zbývající kapalíně. Viz pokyny výrobce a/nebo IGC 65/99 ohledně bezpečné studené zálohy a postupů opětovného najetí [40].

### 11.15 Zkapalňování vzduchu v hlavním výměníku tepla

Zkapalňování vzduchu na studeném konci výměníku tepla může vést ke vzniku nebezpečných situací. Většina přepínacích výměníků není projektována na zkapalňování vzduchu a tyto výměníky by měly být provozovány takovým způsobem, aby se tomuto zabránilo. V tomto případě vytvořená kapalina bude bohatá na kyslík (35 % až 40% kyslíku) a může obsahovat významné koncentrace atmosférických nečistot jako jsou uhlovodíky C<sub>2</sub> a C<sub>3</sub>. Pokud nebudou všechny části okruhu vzduchu navrženy tak, aby bylo zajištěno, že kapalina bude proudit přímo a plynule do destilační kolony, může docházet k hromadění vysoce reaktivní směsi.

### 11.16 Porušení rovnováhy procesu

Musí se brát v úvahu účinky nevyvážených stavů procesu na zařízení, potrubí a použití médií dále ve směru technologického toku.

### 11.16.1 Obohacení kyslíkem

Na prouděch argonu, dusíku nebo na jiných prouděch, které se mohou stát kyslíkem obohacenými v důsledku úniků nebo v důsledku nevyvážených provozních stavů na zařízení, by měly být nainstalovány systémy analytických výstražných signalizací nebo systémy pro odstavení. Obohacení proudu vzduchu nebo inertního plynu kyslíkem může vytvořit potenciální nebezpečí hoření. Příklady procesních proudů, které jsou předmětem obohacování kyslíkem během nevyvážených provozních stavů jsou uvedeny v následujícím:

- proudy recyklu vzduchu nebo kyslíku,
- proudy regeneračního plynu,
- proudy dusíkového produktu a
- surový přívod do systémů čištění argonu.

### 11.16.2 Nedostatek kyslíku

V případech, kdy systémy vzduchu pro měření, regulaci a řízení jsou zálohované zdrojem dusíku, je třeba věnovat pozornost tomu, aby se zabránilo možnosti vzniku nebezpečí zadušení. Měly by být nainstalovány v takovém případě systémy výstražné signalizace varující před přítomností dusíku v systému vzduchu pro měření, regulaci a řízení. (Viz 4.3).

### 11.16.3 Abnormálně nízká teplota

V mnoha aplikacích, kryogenní tekutiny nebo plyny jsou ohřívány před výstupem z bloku hlubokého chladu jiným ohřívacím médiem v nějakém výměníku tepla. Jestliže takový zdroj tepla nebude k dispozici, je možné posílat kryogenní kapaliny nebo studené plyny do zařízení nebo procesů, které nejsou navrženy k tomu, aby je přijímaly, což potom vede ke křehnutí uhlíkové oceli a poruše. Měly by tedy být k dispozici příslušné přístrojovou technikou vybavené bezpečnostní systémy (SIS), aby se tak zabránilo takovému potenciálnímu nebezpečí.

Příklady procesů, které jsou vystaveny takovým nevyváženým stavům, které jsou spojené se vznikem nízké teploty, zahrnují následující:

- procesy, během kterých dochází k varu tlakového kapalného kyslíku LOX v hlavním výměníku tepla
- procesní plyny opouštějící výměníky tepla bloku hlubokého chladu.

Když je zařízení odstavené, teplé koncové ventily musí být uzavřené. Jestliže je odstávka delší než několik hodin, pak tedy teploty na teplém konci se musí monitorovat, aby se zajistilo, že budou nad teplotou odpovídající křehnutí potrubí produktu (v typickém případě – 28°C (-20°F)). Jestliže by teplota byla příliš nízká, mělo by se přistoupit k odpuštění kapaliny.

**VÝSTRAŽNÉ UPOZORNĚNÍ:** *Zkřehnutí potrubí z uhlíkové oceli v důsledku nízkých teplot by mohlo vést k prasknutí potrubí, což by mohlo způsobit úraz nebo škodu na zařízení. Měla by se věnovat zvláštní pozornost tomu, aby k takovému stavu křehnutí materiálu nedocházelo.*

### 11.16.4 Jiná porušení rovnováhy procesu a odstavení

Určité nenormální provozní stavy by měly vyvolat okamžitá nápravná opatření, aby se blok hlubokého chladu vrátil do normálních provozních podmínek. Jestliže nelze opětně přivést zařízení do normálních provozních podmínek v nějaké specifikované době, pak tedy se musí provést odstavení bloku hlubokého chladu. Pokračování takového nenormálního provozu může vést k úrazům pracovníků, k poškození zařízení nebo k vážným důsledkům mimo místo zařízení. Doba potřebná k navrácení zařízení do normálních provozních podmínek stanovuje výrobce zařízení a bude se měnit v závislosti na každém nenormálním provozním stavu.

Nenormální provozní podmínky, které mohou vést k odstavení zařízení mohou zahrnovat následující:

- vysoké koncentrace uhlovodíků a/nebo acetyleny v kapalině na spodu nízkotlaké kolony [40],
- vysoký obsah oxidu uhličitého v kapalině na spodu nízkotlaké kolony a/nebo na výstupu z jednotky předběžného čištění [40],
- nízká nebo vysoká hladina ve vařáku [40],
- vysoká hladina kapaliny ve vysokotlaké koloně,
- nízká míra proplachování kapaliny ze spodu vařáku [40],
- výměník tepla čerpadla LOX kapalného dusíku – Každý výrobce stanoví provozní meze pro bezpečný provoz těchto výměníků tepla (viz EIGA 702/04) [2]. Tyto meze mohou zahrnovat:
  - minimální tlak kyslíku,
  - minimální tlak vzduchu,
  - minimální průtočné množství vzduchu,
  - minimální průtočné množství kyslíku a
  - diferenční tlak mezi vzduchem a kyslíkem.
- vysoká teplota vzduchu na vstupu do bloku hlubokého chladu a
- nízký průtok cirkulačního čerpadla pro vařák s prouděním směrem dolů.

## 12 Systémy ovládání

### 12.1 Funkce systémů vybavených přístroji

Systémy vybavené přístroji jsou zapotřebí k provádění funkcí spojených s bezpečností provozu a stejně tak k provádění klasických funkcí regulace a řízení zařízení pro kryogenické dělení vzduchu [3]. Stavba takových systémů se pohybuje v rozsahu od jednoduchých regulačních obvodů s logikou elektrických relé až k promyšleným sofistikovaným systémům na bázi použití samočinného počítače, které umožňují automatické najíždění a odstavování zařízení a stejně tak dálkově ovládaný provoz a provoz bez obsluhy na základě využití složitých regulačních algoritmů. Systémy s využitím přístrojového vybavení je možno rozdělit do následujících tří hlavních skupin podle funkcí:

- Kritické bezpečnostní systémy, jejichž úkolem je zabránit nekontrolovanému uvolňování toxické nebo nebezpečné látky, zabránit požáru, explozi nebo náhlému uvolnění energie nebo jiným neplánovaným jevům, které by mohly způsobit smrtelné úrazy nebo nějak ohrožovat život zaměstnanců, dodavatelů nebo osob, které se pohybují mimo zařízení nebo zabránit jevům, které mají vážný dopad a široce působící dopad na okolní prostředí, dopad na místo a okolí, kdy takové jevy si vyžadují okamžité reakce.
- Systémy provozní bezpečnosti, jejichž úkolem je zabránit neplánovaným jevům, které by mohly způsobit zranění pracovníků personálu, avšak nikoliv smrtelná, omezené škody na zařízení nebo mít menší dopad na okolí mimo zařízení a
- Běžná regulace a ovládání provozu zařízení pro potřeby běžného provozu zařízení a pro ochranu zařízení.

### 12.2 Kritické bezpečnostní systémy

Musí být opatřeny kritické bezpečnostní systémy.

Kritické bezpečnostní systémy musí zajistit zabezpečení proti selhání nebo poruše. Porucha jakékoli kritické komponenty vede k odstavení a oddělení systému předem určeným způsobem.

Kritické bezpečnostní systémy mohou být odděleny od ovládacích orgánů nezbytných pro běžný provoz zařízení. Tyto systémy také mohou vyžadovat dostatečnou rezervu a to prostřednictvím zdvojení kritických komponent nebo funkcí. Takový kritický bezpečnostní systém může sdílet

komponenty s běžným řídicím systémem zařízení, jestliže je možno ukázat, že porucha běžného řídicího systému zařízení neohrožuje kritický bezpečnostní systém.

Kritické bezpečnostní systémy musí být chráněny před neúmyslnou změnou použitím hesel, zámků nebo jiných způsobů.

Řádný provoz kritických bezpečnostních systémů se musí ověřovat a dokumentovat následujícím způsobem:

- během počáteční přípravy zařízení pro najetí a při vlastním najíždění zařízení,
- po provedení údržby systému,
- v periodických intervalech a
- po nějaké delší odstávce.

Úprava jakéhokoliv bezpečnostního systému včetně by-passu funkčnosti pro dočasný provoz musí vyžadovat postup dokumentovaného řízení změny (MOC) [74] včetně přezkoušení technický k tomu způsobilou a oprávněnou osobou a příslušným personálem (viz 17.3).

Musí být zajištěna možnost externího odstavení (což tedy znamená nouzové odstavení zařízení, které je nezávislé na řídicím systému zařízení) k okamžitému odstavení *části zařízení nebo celého zařízení* za účelem ochrany pracovníků a za účelem zmírnění možných důsledků hlavního jevu z hlediska provozní bezpečnosti. Takové externí odstavení musí vyžadovat ruční přestavení s použitím zvláštních a bezpečných prostředků, aby se zabránilo neúmyslnému opětovnému spuštění. Každé takové externí odstavení musí být jasně identifikováno a pracovníci obsluhy zařízení musí vědět o umístění takových ústrojí.

### 12.3 Systémy provozní bezpečnosti

Musí být opatřeny systémy provozní bezpečnosti.

Systémy provozní bezpečnosti musí být oddělené od ovládacích orgánů, které jsou jako nezbytné pro běžný provoz zařízení.

Systémy provozní bezpečnosti musí být chráněny před neúmyslnou změnou použitím hesel, zámků nebo jiných způsobů.

Řádný provoz systémů provozní bezpečnosti se musí ověřovat:

- během počáteční přípravy zařízení pro najetí a při vlastním najíždění zařízení,
- po provedení údržby systému,
- v periodických intervalech a
- po nějaké delší odstávce.

Úprava jakéhokoliv systém provozní bezpečnosti včetně by-passu funkčnosti pro dočasný provoz musí vyžadovat postup dokumentovaného řízení změny (MOC) [74] včetně přezkoušení technický k tomu způsobilou a oprávněnou osobou a příslušným personálem (viz 17.3).

Musí být zajištěna možnost externího odstavení (což tedy znamená nouzové odstavení zařízení, které je nezávislé na řídicím systému zařízení) k okamžitému odstavení *vybraného zařízení* za účelem ochrany pracovníků a za účelem zmírnění možných důsledků jevu spojeného s bezpečností. Takové externí odstavení musí vyžadovat ruční přestavení s použitím zvláštních a bezpečných prostředků, aby se zabránilo neúmyslnému opětovnému spuštění. Každé takové externí odstavení musí být jasně identifikováno a pracovníci obsluhy zařízení musí vědět o umístění takových ústrojí.

Měla by se věnovat pozornost tomu, aby systémy provozní bezpečnosti byly bezpečné, aby zajistily zabezpečení proti selhání nebo poruše tak, aby porucha jakékoli kritické komponenty vedla k odstavení a oddělení systému předem určeným způsobem.

## 12.4 Běžný provoz zařízení

Musí být opatřeny ovládací orgány pro běžný provoz zařízení.

Tyto ovládací orgány musí být navrhovány a konstruovány podle dobrých projekčních a konstrukčních inženýrských způsobů, i když nadbytečnost či zdvojování komponent nebo provoz zajišťující zabezpečení proti selhání nebo poruše se obvykle nepožadují.

Řádný provoz orgánů pro běžný provoz zařízení se musí ověřovat:

- během počáteční přípravy zařízení pro najetí a při vlastním najíždění zařízení,
- po provedení údržby systému,
- v periodických intervalech.

Úprava funkce řízení provozu zařízení by měla vyžadovat postup dokumentovaného řízení změny (MOC) [74] včetně přezkoušení technický k tomu způsobilou a oprávněnou osobou a příslušným personálem (viz 17.3). Změny bodu nastavení nebo změny naladění konstant nepotřebují dokumentované prověření.

## 12.5 Provoz bez obsluhy nebo s částečnou obsluhou

Systémy řízení provozu zařízení na bázi použití samočinných počítačů umožnily, aby zařízení na dělení vzduchu byla bezpečným způsobem provozována bez obsluhy nebo s minimálním počtem pracovníků obsluhy. Provoz zařízení bez obsluhy nebo s minimálním počtem pracovníků obsluhy klade další požadavky na řídicí systémy za účelem monitorování podmínek a reagování na podmínky, která nejsou nutná v případě provozu zařízení s plnou obsluhou. Odezvy na procesní podmínky, které mohou být neformálně připravovány a prováděny v případě provozu zařízení s plnou obsluhou, musí být v případě provozu bez obsluhy nebo s minimálním počtem pracovníků obsluhy speciálně navrženy do ovládacích orgánů.

Musí být navržen systém s příslušným přístrojovým vybavením k bezpečnému odstavení a k zabezpečení procesu a zařízení jednotky bez jakéhokoliv ručního zákroku v případě neplánovaného narušení rovnováhy procesu nebo odstavení.

V případě provozu bez obsluhy mají zařízení vysoký stupeň automatizace a zvláště se jedná o automatické spouštění zařízení. Speciální pozornost se musí věnovat prevenci zranění osob v případě zařízení s obsluhou. Musí se také uvažovat to, jakým podmínkám zabránit při opětném automatickém spouštění zařízení.

Měla by se věnovat pozornost monitorování dalších procesních stavů a stavů zařízení. Mělo by se také uvažovat monitorování vybraných procesních proměnných veličin a/nebo stavů nebo podmínek zařízení.

Musí být opatřen řádně navržený systém nouzového sdělování. Tento systém musí sdělovat pracovníkům mimo místo zařízení nenormální jevy, jako na příklad odstavení zařízení.

V případech, kde je na zařízení pouze jeden pracovník, musí být opatřen systém sdělování, aby upozornil příslušného pracovníka personálu v případě, že se jedná o nouzový stav, jako na příklad postižení osoby.

## 12.6 Dálkové ovládání provozu

Jako v případě provozu zařízení bez obsluhy, systémy ovládání a řízení na bázi použití samočinného počítače dovolují bezpečný dálkově ovládaný provoz zařízení. Dálkové ovládání se liší od provozu



bez obsluhy v tom, že pracovníci, kteří jsou umístěni mimo zařízení mohou spouštět a / nebo zastavovat zařízení nebo provádět změny bodů řízení a ovládání procesu prostřednictvím komunikačních linek.

Musí být zabezpečena zabezpečovací ochrana, aby se zabránil neoprávněným osobám přístup k ovládacím orgánům a ovládání těchto orgánů. Toto zabezpečení se provádí prostřednictvím hesel a zajištěním programového vybavení protokolů zabezpečování.

Měla by se věnovat pozornost typům změn, které je dálkově umístěným pracovníkům dovoleno provádět a to včetně podmínek zabráňujícím dálkové opětovné najetí.

Měla by se věnovat pozornost provozu ovládacího a řídicího systému v případě, že se takové komunikace přeruší při provádění takových změn.

Vzhledem k tomu, že změny procesu a zařízení je možno provádět dálkově, musí se věnovat speciální pozornost prevenci úrazů pracovníků, když je zařízení obsluhováno. Musí být k dispozici procedury k ustavení plného místního ovládání, když je zařízení obsluhováno. Podobně se požadují procedury k opětovnému ustavení dálkového ovládání pro případ, kdy pracovníci opouštějí zařízení.

### **12.7 Další úvahy o systémech řízení na bázi počítače**

Kolísání a výpadky přívodu energie mohou poškodit systémy regulace a řízení na bázi použití samočinného počítače. K minimalizaci dopadu takových podmínek na ovládací a řídicí systém by se měla věnovat pozornost použití a návrhu a zařízení pro zajištění správného stavu přívodu energie, jako jsou na příklad regulátory napětí, systémy uzemňování a nepřetržité zdroje napájení. Technické vybavení systému, hardware, programové vybavení systému software a přístrojové vybavení na místě musí být navrženo s uvažováním výpadku energie a zajištění bezpečného odstavení a oddělení zařízení.

Při použití systému regulace a řízení na bázi použití samočinného počítače se musí vytvářet a udržovat automatický sběr dat, protokolování změn bodů nastavení, potvrzování výstražných signalizací a odstavování a spouštění zařízení.

Systémy na bázi samočinného počítače jsou náchylné k problémům z obvyklého zdroje poruch. K minimalizaci těchto efektů by se mělo brát v úvahu následující:

- seskupování vstupních a výstupních signálů,
- redundantní jednotky vzájemného propojení s pracovníkem obsluhy,
- porucha komunikace mezi komponentami.

Systém ovládání a řízení na bázi samočinného počítače by měl provádět ověřování vstupů, které budou mít významným způsobem dopad na provoz systému, jako na příklad:

- vymazávání souborů,
- spouštění strojů,
- numerické vstupy mimo rozsah a
- omezování míry změny nastavených bodů.

Toto v typickém případě vyžaduje druhý vstup k potvrzení požadované akce.

Je v tomto případě dobrou praxí udržovat v místě zařízení aktualizovanou verzi programu regulačního a řídicího systému.

## 12.8 Další úvahy o bezpečnostních systémech

U bezpečnostního systému potom porucha nějaké komponenty povede ke kontrolovanému odstavení a oddělení systému předpokládaným a bezpečným způsobem. Systémy mohou být učiněny bezpečnostními jejich návržením a vyprojektováním nebo prostřednictvím provedení řady modifikací / opatření, která zahrnují následující:

- zařízení / obvody časovací jednotky,
- volba režimu poruchy ovladače (při poruše zapnuté / při poruše vypnuté),
- vnitřní / vnější diagnostika a
- použití pravidla k zapnutí pro chod / vypnutí při vypnutí signálu.

## 12.9 Úvahy o předpisech

Při výrobě kyslíku USP a dusíku NF jsou ovládací a regulační orgány a systémy zajištění jakosti, které se požadují ve Spojených státech Americkým úřadem pro správu potravin a léčiv popsány v CGA P-8.2, *Směrnice pro ověřování platnosti jednotek na dělení vzduchu a pro plnění cisteren na kyslík USP a dusík NF* [61]. V jiných zemích dodržuje národní směrnici a předpisy.

## 13 Zařízení pro manipulace s výrobkem

Nebezpečí, která jsou spojená se zařízením pro manipulaci s produkty, závisí na vlastnostech výrobků a na podmínkách, za kterých se s těmito výrobky musí manipulovat. Každý takový systém musí být vhodný pro s tím spojené teploty, tlaky a média.

### 13.1 Skladování kapalin

Vzhledem k velice nízkým teplotám při tomto provozu vyžadují kryogenické skladovací zásobníky speciální konstrukci a použití speciální izolace. Tyto systémy musí navrhovat a vyrábět pouze takoví výrobci, kteří mají příslušné znalosti v tomto oboru, v této technologii, v příslušných normách a sbírkách norem a mají průmyslové zkušenosti pro zajištění bezpečnosti a celistvosti takových zařízení. Viz IGC 127/04, *Systémy objemového skladování kapalného kyslíku, kapalného dusíku a argonu v místě jejich výroby* a API 620 *Návrh a konstrukce velkoobjemových, svařovaných nízkotlakých skladovacích nádrží* [62, 75].

Kryogenické skladovací nádrže se obecně konstruují s vnitřní nádobou v provedení z materiálu vhodného pro provoz při kryogenických teplotách a s vnější nádobou v provedení z uhlíkové oceli. Prostor mezi těmito dvěma nádobami je vyplněn izolací za účelem minimalizace ztrát chladu do okolí a za účelem minimalizace odparu příslušné kryogenní kapaliny.

Nejčastěji se používají dva typy těchto kryogenních skladovacích nádrží:

- Nízkotlaké nádrže s plochým dnem nebo nádrže v kulovém provedení s meziprostorem mezi vnitřní a vnější nádobou vyplněným izolací profukovanou suchým dusíkem. Tento typ skladovací nádrže se obecně používá u velkých na místě montovaných skladovacích nádrží se stabilním provozem a
- Skladovací nádrže s vakuovou izolací v provedení s práškovou izolací pod vakuem nebo se super izolací / s vakuem v prostoru mezi vnitřní a vnější nádobou. Tento typ provedení skladovací nádrže se vyrábí ve výrobním podniku a je provozován buď při středním tlaku nebo při vysokém tlaku.

Nebezpečí spojená s provozem skladovacích nádrží pro skladování kryogenních kapalin zahrnují následující:

- Netěsnosti a únik kryogenní kapaliny do kruhového prostoru mezi vnitřní a vnější nádobou.
- Ztráta vakua v kruhovém prostoru mezi vnitřní a vnější nádobou (pouze v případě skladovacích nádrží opatřených vakuovou izolací).
- Výpadek plynu k profukování prostoru mezi vnitřní a vnější nádobou (pouze v případě skladovacích nádrží s plochým dnem).
- Přeplnění vnitřního tanku.
- Příliš vysoký tlak ve vnitřní nádobě.
- Příliš vysoký tlak v prostoru mezi vnitřní a vnější nádobou.
- Vytvoření vakua ve vnitřní nádobě.
- Vytvoření vakua v prostoru mezi vnitřní a vnější nádobou (pouze v případě skladovacích nádrží s plochým dnem).
- Rozlití kapaliny a tvorba mraku par.
- Mechanická namáhání způsobená rychlým podchlazováním.

Tato nebezpečí a jejich zmírnění jsou popsána pro nádrže s plochým dnem v IGC 127/04 [62]. I když IGC 127/04 byla napsána k popisu hlavně nádrží s plochým dnem, je rovněž obecně aplikovatelná pro skladovací nádrže s vakuovou izolací [62]. Další informace o nádržích s vakuovou izolací jsou obsaženy v IGC 119/04, *Periodické prohlídky stabilních kryogenních nádrží*, IGC 115/04, *Skladování kryogenních plynů ze vzduchu v areálech uživatelů*, IGC 114/03, *Provoz stabilních kryogenních nádob*, IGC 24/02, *Zařízení na tlakovou ochranu systémů kryogenních skladovacích nádrží s vakuovou izolací* [89, 90, 91, 92] a pro USA v CGA P-12, CGA P-40, *Výpočtové metody pro analýzu a prevenci přetlaku během plnění kryogenních skladovacích nádrží* a CGA PS-8, *Stanice plnění a vyprazdňování* [7, 63, 64].

Většina zařízení je vybavena zařízením pro plnění a/nebo vyprazdňování pro převod kapaliny ze silničních nebo železničních přepravních cisteren a do těchto cisteren. Viz IGC 77/01, *Ochrana kryogenních přepravních cisteren proti přílišnému tlaku během plnění*, EIGA 909/03, *Připojení kryogenních plynů k plnění přepravních cisteren*, IGC 59/98, *Prevence přílišného tlaku v kryogenních skladovacích nádržích během plnění* [93, 94, 98] a pro USA viz také CGA P-31 a CGA P-31 a CGA P-35, *Směrnice pro vyprazdňování přepravních cisteren kryogenního kyslíku, dusíku a argonu* [52, 65].

Měla by se přijmout speciální bezpečnostní opatření proti přetlaku v kryogenních (přepravních) cisternách (IGC 77/01 a IGC 59/98 [93, 98]). Pro USA, ohledně ochrany proti přílišnému tlaku, viz také CGA PS-14, *Specifikace polohy u ochrany kryogenních přepravních cisteren proti přílišnému tlaku během plnění za přítomnosti obsluhy*.

### 13.2 Nádobý pro skladování plynu při vysokém tlaku

Vzhledem k tomuto případu použití jsou nádoby používané pro skladování plynu při vysokých tlacích vystaveny cyklickým namáháním. Tyto nádoby musí být navrženy, vyprojektovány a vyrobeny v souladu s příslušnými normami a sbírkami norem. Tyto nádoby jsou často umístěny v korozních prostředích a musí se provádět jejich vnější kontrola na přítomnost koroze.

Nádoby na skladování plynu při vysokých tlacích jsou často přemístovány z jednoho místa na jiné. Jestliže tedy k tomuto dochází, pak tedy by se měly prošetřovat návrh a provozní historie takové nádoby na skladování plynu při vysokých tlacích, aby tak bylo zajištěno, že nádoby jsou vhodné pro požadovaný případ použití. Přemístované nádoby by se měly před svým opětovným uvedením nazpátek do provozu pečlivě kontrolovat a čistit pro příslušný provoz.

Nádoby by měly být chráněny pojistnými zařízeními pro uvolnění tlaku k omezení přetlaku v důsledku účinku vnějších tepelných zdrojů [62]. Toto je také specifikováno pro USA v CGA S-1.3, *Normy pro pojistná zařízení pro uvolnění tlaku – Část 3 – Stabilní zásobníky na skladování stlačených plynů* [67].

U plynu proudícího ze skladování při vysokém tlaku do nízkotlakého potrubí může dojít k významnému poklesu teploty v důsledku ochlazení díky Joule-Thompsonovu (JT) jevu. Musí se v tomto případě věnovat pozornost tomu, aby bylo zajištěno, že v potrubí dále ve směru technologického toku se nedosáhne teploty křehnutí materiálu.

### 13.3 Zařízení na odpařování kapaliny

Pro odpařovače kapaliny jsou jako specifická následující nebezpečí:

- Jestliže je odpařovač kapaliny zablokovaný, zatímco obsahuje kapalinu a je udržován vstup tepla, může v takovém případě dojít k rychlému zvýšení tlaku. Musí zde být nainstalované příslušným způsobem dimenzované pojistné ventily pro odlehčení tlaku.

**VAROVÁNÍ:** *Vytvoření příliš vysokého tlaku v důsledku zadržené kryogenní kapaliny by mohlo vést k porušení potrubí a toto by mohlo mít za následek zranění osob a škody na zařízení. Musí se věnovat speciální pozornost tomu, aby bylo zajištěno, že jsou nainstalována pojistná zařízení pro uvolnění tlaku mezi dvěma ventily a to včetně zpětných ventilů, aby bylo možno uvolnit tlak, k jehož vytvoření došlo v důsledku zachycené kapaliny.*

- Při varu kyslíku může dojít k hromadění uhlovodíků. Tomuto hromadění uhlovodíků je možno se vyhnout řádným návrhům potrubí nebo jeho periodickým ohřevem na teploty okolního prostředí.
- Jestliže dojde k výpadku zdroje tepla pro odpařovací zařízení nebo v případě, že dojde k překročení kapacity odpařovače, teplota na výstupu z odpařovače se může stát velmi nízkou a to vede k potenciálnímu ohrožení zařízení a potrubí dále ve směru technologického toku. Pokud jde o snížení nebezpečí, viz 14.7.

**VAROVÁNÍ:** *Křehnutí uhlíkové oceli v důsledku působení nízkých teplot by mohlo vést k prasknutí potrubí a toto by mohlo způsobit zranění osob nebo škody na majetku. Měla by se věnovat zvláštní pozornost tomu, aby bylo zajištěno, že k takové situaci nemůže dojít.*

## 14 Potrubí zařízení

### 14.1 Všeobecné úvahy o potrubí zařízení

Potrubní systémy zařízení musí být vhodné pro teploty, tlaky a úroveň čistoty vyskytujících se médií. Návrh musí brát v úvahu PED a stejně tak evropské sbírky norem nebo podobné normy, jako je ASME B31.3, *Sbírka norem pro potrubí chemických zařízení a ropných rafinérií* a stejně tak další národní a místní sbírky norem, předpisy a nařízení [68].

Konstrukční materiály musí být kompatibilní, slučitelné s předpokládaným provozem. Viz Část 5.3.

### 14.2 Všeobecné úvahy o návrhu zpětných ventilů

Během navrhování zařízení by měly být stanoveny důsledky selhání v obráceném směru toku zpětným ventilem. Možné důsledky nebezpečí mohou zahrnovat, přičemž to nemusí být omezeno pouze na toto, příliš vysoké tlaky, odchylky od čistoty nebo odchylky teplotní. Jestliže důsledky takové poruchy představují významné nebezpečí, kde uživatel vkládá důvěru do zpětného ventilu jako do určité úrovně ochrany, měl by být realizován program mechanické integrity zajišťující, že zpětný ventil si udržuje svou schopnost řádně fungovat. Takový program by mohl zahrnovat periodické prohlídky a / nebo zkoušení. Časový interval takové kontroly / zkoušky se bude měnit v závislosti na provozu zpětného ventilu a na důsledcích takové poruchy.

### 14.3 Nebezpečí kyslíkového potrubí

Se systémem kyslíkového potrubí jsou spojena určitá nebezpečí. Informace o specifickém navrhování a provozních požadavcích kyslíkového potrubního systému najdete v 5.3, 14.9.2, ASTM G-88.84 a IGC 13/02 [28, 45].

### 14.4 Zařízení pro odlehčení tlaku

#### 14.4.1 Všeobecné úvahy o odlehčovacích zařízeních tlaku

Chemická procesní zařízení potřebují zařízení pro odlehčení tlaku PRD. Požadavky na tato zařízení jsou uvedeny v jiných dokumentech, jako ASME PTC 25-2001 – 2002, *Zařízení pro odlehčení tlaku*, API RP 520, *Dimenzování, volba a montáž zařízení pro odlehčení tlaku v rafinériích, Část I – Dimenzování a volba*, API RP 520, *Dimenzování, volba a montáž zařízení pro odlehčení tlaku v rafinériích, Část II – Montáž* a API RP 521, *Směrnice pro systémy odlehčování tlaku a odtlakování (ANSI/API 521-1997)* [69, 70, 71, 72].

Dobré způsoby zahrnutí následující přičemž to není omezeno pouze pro toto:

- Odvětrávací odlehčovací zařízení tlaku z pracovních prostředí nebo jiných zařízení.
- Poskytnutí opěry pro proti působící reakční síly v době, kdy zařízení pracuje.
- Dimenzování vstupních a výstupních potrubí tak, aby tlaková ztráta nepřesáhla meze podle sbírky norem.
- Ochrana výstupních otvorů zařízení pro odlehčení tlaku před počasím.
- Zajištění toho, aby odvětrávací otvory krytu nebyly nějak omezené.
- Provádění periodického testování s použitím suchého vzduchu bez oleje nebo pomocí dusíku.

#### 14.4.2 Všeobecné úvahy o zařízeních pro odlehčení tlaku u jednotky na dělení vzduchu

Řádně navržené zařízení pro odlehčení tlaku je zapotřebí za tím účelem, aby se zabránilo vzniku příliš vysokého tlaku v důsledku zvýšení objemu u odpařujících se kryogenických tekutin. Někdy může být takové zařízení pro odlehčení tlaku dosti velké a to v závislosti na množství kapaliny, která může být zadržena v systému a v závislosti na tom, jak rychle se přenáší teplo do kryogenické kapaliny. Příčiny vzniku příliš vysokého tlaku zahrnují následující:

- ztráty ve vakuové izolaci,
- nevyvážené podmínky procesu,
- únik tepla z okolního prostředí,
- vysoký vstup tepla do zablokovaného procesního zařízení a odpařovačů,
- zavádění teplého plynu do studeného procesního zařízení,
- rychlé odpařování kryogenních kapalin při jejich zavádění do teplého zařízení nebo
- zadržení kryogenní kapaliny mezi dvěma ventily.

**VAROVÁNÍ:** Vytvoření příliš vysokého tlaku v důsledku zadržené kryogenické kapaliny by mohlo vést k porušení potrubí a toto by mohlo mít za následek zranění osob a škody na zařízení. Musí se věnovat speciální pozornost tomu, aby bylo zajištěno, že jsou nainstalována pojistná zařízení pro uvolnění tlaku mezi dvěma ventily a to včetně zpětných ventilů, aby bylo možno uvolnit tlak, k jehož vytvoření došlo v důsledku zachycené kapaliny.

Pro systémy obsahující kyslík se musí použít s tímto slučitelných materiálů.

Výstup z těchto zařízení na odlehčení tlaku pro kyslík a hořlavé tekutiny se musí vyvést ven do bezpečného místa. U systémů, které jsou umístěné v ohraničeném prostoru musí být odfuky inertních tekutin potrubím vyvedeny do venkovního prostředí do nějakého bezpečného místa, jestliže odvětraný objem snižuje obsah kyslíku v ohraničeném prostoru na nebezpečnou hladinu.

Pojistné ventily pro odlehčování tlaku by měly být umístěny takovým způsobem, aby jejich výstup nemohl působit na osoby nebo na jiné zařízení. Tyto výstupy by neměly být vyváděny do prostředí, kde se pracuje a provozuje či ovládá, která jsou často navštěvována pracovníky personálu.

Odvětrání, odfuky musí být provedeny takovým způsobem, aby bylo zajištěno rozptýlení odfukovaného média, aby se tak zabránilo tvorbě atmosféry bohaté na kyslík, atmosféry s nedostatkem kyslíku, hořlavé nebo studené atmosféry, která by mohla být škodlivá pro pracovníky personálu nebo způsobit škodu na zařízení.

Návrh zařízení pro odlehčování tlaku a potrubí by měl uvažovat kryogenických teplot vyplývajících z provozu zařízení na odlehčení tlaku. Takové výstupy z odvětrání by měly být směřovány takovým způsobem aby kryogenická kapalina nebo plyn nemohly přímo působit na okolní potrubí a zařízení z uhlíkové oceli a způsobit jejich křehnutí.

Všechna zařízení pro odlehčování tlaku v kryogenickém provozu by se měla periodicky kontrolovat na hromadění ledu, námrazy. Nahromaděná námraza by se měla promptně odstranit. Jestliže by se toto neprovádělo, mohl by to bránit zařízení na odlehčování tlaku v řádném provozu.

#### 14.5 Kryogenické potrubí

Každá potrubní přípojka mezi vedením kryogenické kapaliny a úsekem teplého potrubí, ve kterém normálně není proudění, musí být opatřena vytvořeným kapalinovým uzávěrem, aby se tak zabránilo místnímu odpařování a migraci chladu. Typické případy jsou uvedeny v následujícím:

- odtávací ventily,
- vypouštění kapaliny,
- pojistná zařízení pro uvolnění tlaku,
- snímací vedení přístrojového vybavení,
- vstupy do odpařovače a čerpadla a
- vedení odebírání vzorků po dávkách.

Takový kapalinový uzávěr zajišťuje oddělení kapaliny od úseku teplého potrubí. Potrubí, které je připojené na takové kryogenní potrubí, by mělo mít dostatečný sklon ve vertikálním směru, aby došlo k vytvoření kapalinového uzávěru. U potrubních přípojek, které jsou umístěné uvnitř bloku hlubokého chladu, umožňují speciálně navržené potrubní smyčky vznik takových kapalinových uzávěrů, čímž se brání hromadění kapaliny v potrubí dále ve směru technologického toku. Tento vzestup ve vertikálním směru může být proveden za účelem vytvoření kapalinového uzávěru kdekoli na potrubí.

Každé potrubí o velkém vnitřním průměru umístěné v bloku hlubokého chladu, na kterém je nějaké nízko položené místo, musí být opatřeno v takovém případě odvodem kapaliny.

Mnoho částí procesu kryogenického dělení vzduchu se nemusí setkat během normálního provozu s tekutinami obohacenými kyslíkem. Mohou však být vystaveny působení kyslíku během nevyvážených provozních stavů, při spouštění nebo při odstavování. Je obvyklou praxí čistit veškeré kryogenické potrubí a zařízení pro provoz s kyslíkem.

#### 14.6 Klenuté podpěry se slepými místy

Nádoby, procesní odpařovače, kryogenická čerpadla, vypouštění kapaliny nebo potrubí obsahující kapalinu bohatou na kyslík by měly být navrhované bez klenutých podpěr se slepými místy. Takové klenuté podpěry se slepými místy mohou vést k suchému odpařování a k vysazování uhlovodíků ve zbývajících kapalině bohaté na kyslík. V takových případech, kdy není možno se vyhnout použití klenutých podpěr se slepými místy prostřednictvím konstrukčního řešení, mělo by být zajištěno kontinuální profukování či proplachování nebo periodické odpouštění.

## 14.7 Potrubí z uhlíkové oceli

Potrubí v provedení z uhlíkové oceli může být poškozeno, jestliže bude vystaveno působení nízkých teplot (-28°C [-20°F]), k jejichž výskytu může dojít v případě nevyvážených provozních stavů zařízení nebo v případě poruchy odpařovacího systému. Musí být pro takové případy opatřen systém měření teploty, aby bylo možno odstranit takový zdroj nízké teploty, jako například uzavřením oddělovacích ventilů nebo zastavením čerpadel (viz 11.7.2). Potrubí od procesu až k takovému oddělovacímu ventilu musí být slučitelné s nízkými teplotami. Měl by se brát v úvahu příslušný čas odezvy, aby tak bylo možno zabránit nastavení kryogenických podmínek dále ve směru technologického toku v potrubí v provedení z uhlíkové oceli.

**VAROVÁNÍ:** *Křehnutí uhlíkové oceli v důsledku působení nízkých teplot by mohlo vést k prasknutí potrubí a toto by mohlo způsobit zranění osob nebo škody na majetku. Měla by se věnovat zvláštní pozornost tomu, aby bylo zajištěno, že k takové situaci nemůže dojít.*

## 14.8 Odvětrání

Dispoziční uspořádání musí zajistit, aby byl zajištěn v atmosféře normální obsah kyslíku ve všech oblastech, kde se často pohybuje obslužný personál v rámci provádění svých provozních činností a činností spojených s údržbou. Toto je zajišťováno realizací vypouštěcích odvětrávacích vedení do vnějších míst. Mělo by se vzít úvahu umístění takových systémů odvodu dusíku ve vztahu k plošinám a žebříkům, které jsou na bloku hlubokého chladu. A navíc, provozní zařízení by nemělo být vystaveno působení atmosféry obohacené kyslíkem a to vzhledem k tomu, že může zahrnovat olejem mazané části.

**VÝSTRAŽNÉ UPOZORNĚNÍ:** *Takové mraky s příliš velkým obsahem kyslíku nebo s nedostatečným množstvím kyslíku mohou překonávat značné vzdálenosti od vlastního zdroje odvětrávání. V případě zařízení na dělení vzduchu s velkou kapacitou mohou být tyto vzdálenosti větší. Je tedy nutno věnovat zvláštní pozornost zařízením s velkou kapacitou a/nebo jednotkám, kde je více takových zařízení.*

Velíny nebo jiné takové uzavřené prostory, které jsou používány pracovníky obsluhy, jsou vystaveny potenciálnímu nebezpečí nebezpečné atmosféry a to v důsledku úniků, netěsností, migrace plynu nebo v důsledku nesprávného odvětrávání. Toto nebezpečí je možno zmírnit prostřednictvím aplikace jednoho nebo více z těch možností, jak jsou uvedené v následujícím:

- Profukování vzorkovacího potrubí pro analýzy se musí odvětrávat mimo prostor velínu,
- Analyzátoři čistoty atmosféry nebo
- Odpovídající větrání zahrnující nucenou ventilaci s vysokým průtokem.

Mohou být jako nezbytné výstražné signalizace v případě, že se jedná o poruchu systému větrání nebo pokud se jedná o výstražnou signalizaci ohledně nebezpečného složení atmosféry.

## 14.9 Dodávka produktu

### 14.9.1 Stanice redukce tlaku

Stanice redukce tlaku se používá v každém takovém případě, kdy tlak přívodu plynu je vyšší než je tlak pro použití takového plynu. Některé ventily pro regulaci tlaku obdrží svůj regulační plyn z produktu, který regulují. Jestliže je takovým plynem kyslík, pak tedy v takovém případě všechny materiály, které jsou ve styku s kyslíkem, včetně těch, které jsou zahrnuté v mechanismu ovládní, musí být slučitelné s kyslíkem. V opačném případě se jako kontrolního či regulačního plynu musí použít dusíku nebo vzduchu.

### 14.9.2 Oddělení přílišného proudu kyslíku

Ventily pro oddělení příliš velkého množství kyslíku se v typickém případě používají v systémech dodávky kyslíku. Jestliže místa přímého použití nejsou pod přímou kontrolou pracovníků obsluhujících zařízení na dělení vzduchu nebo v takových případech, kdy se jedná o dlouhé či rozsáhlé systémy dodávky, existuje nebezpečí prasknutí, poškození v důsledku vnějších příčin, jako na příklad opravy silnice, výkopy či hloubení, těžká technika a podobně a pak tedy by se měla okamžitě nainstalovat automatické uzavírací ventily ve směru technologického toku dále za posledním zdrojem dodávky. Tento uzavírací ventil by měl být navržen takovým způsobem, aby uzavíral buď za stavu příliš vysokého průtoku nebo za stavu nízkého tlaku, k čemuž by mohlo dojít v důsledku velké poruchy na systému dodávky.

## 15 Procedury odstavení

Při odstavování zařízení na dělení vzduchu a to ať se jedná o plánovanou odstávku nebo neplánovanou odstávku, existuje obecně naprogramovaná sekvence, která by měla ponechat zařízení v bezpečných podmínkách. Měl by být ustanoven seznam činností pro zajištění zařízení, jak je uvedeno v následujícím:

- Uzavření potrubních vedení produktu do skladovacích nádrží,
- Zabezpečení všech kompresorů a dalších zařízení s rotačním pohybem,
- Zajistit, aby řádným způsobem fungovaly všechny systémy záložních potrubí,
- Vypustit kapaliny jak je zapotřebí a zajistit, aby řádným způsobem fungovaly všechny systémy odvodu kapaliny a
- Zabezpečit kryogenické adsorbéry a adsorbéry jednotky předběžného čištění.

### 15.1 Odstavení bloku hlubokého chladu

V závislosti na typu zařízení, v závislosti na důvodu pro odstavení a podle očekávané doby odstávky mohou být zapotřebí podle pokynů výrobce další dodatečné bezpečnostní postupy. Další doporučení jsou uvedena v 11.16 a IGC 65/99 [40].

V případě kryogenních adsorbérů může významné zvýšení teploty proudu způsobit náhlou desorpci znečišťujících látek, přičemž tyto látky dále procházejí do zařízení dále ve směru technologického toku. Tato skutečnost může představovat vážné bezpečnostní riziko. Tyto kryogenické adsorbéry tedy musí být buď udržovány na provozních teplotách, nebo se během odstávky musí provádět jejich regenerace.

V takových případech, kdy to dovolí podmínky odstavení, nádoba postavená mimo tok linky předběžného čištění se musí před zabezpečením jednotky předběžného čištění kompletně regenerovat. Tímto způsobem se umožní, aby řádným způsobem regenerované lože bylo umístěno do pracovního proudu při následném spuštění zařízení.

### 15.2 Likvidace kapaliny a plynu

Kapalina ze zařízení na dělení vzduchu se nesmí vypouštět na podlahu či na zem u zařízení na dělení vzduchu, ale musí se potrubím vyvést do příslušného místa likvidace. V následujícím jsou uvedené typické systémy likvidace:

- sběrné potrubí kapalného rozstříku na výstupu ventilátoru chladicí věže,
- uskladňovací nádrže s příslušným odpařovacím systémem,
- výměníky tepla a
- odpařovací systém s ventilátorem.



Kapalina bohatá na kyslík by se neměla potrubím vyvádět do systémů chladicí věže s ventilátorem.

Uspořádání potrubních vedení likvidované kapaliny a odfukovaného plynu z odtávání si bude vyžadovat pozornost, aby se zabránilo jakémukoliv možnému styku likvidované kapaliny bohaté na kyslík a plynu z odtávání, který může obsahovat velká množství uhlovodíků, zvláště acetylenu. Jakékoliv výstupy z odmrazování, které mohou obsahovat olej, jako je tomu na příklad v případě vzduchu z výměníků tepla, kde se používají mazané kompresory, musí být opatřeny oddělenými systémy odvětrání.

Odpadní potrubní systém by měl oddělit inert a kapaliny bohaté na kyslík, aby se zabránilo možnému příčnému znečištění produktů zařízení na dělení vzduchu ASU.

Systém odstraňování kapaliny by měl být opatřen nízko položeným místem vypouštění, aby se zabránilo hromadění uhlovodíků.

Ručně ovládané vypouštěcí a odvětrávací ventily se musí místně monitorovat v okamžiku, kdy jsou otevřené, aby bylo možno učinit potřebné opatření.

Velká odvětrání kyslíku nebo dusíku by měla být vedena ven a přednostně by měla směřovat nahoru. Jestliže jsou odvětrání vyváděna ven, pak se v takovém případě musí zabránit vysokým koncentracím kyslíku nebo dusíku v ohraničených oblastech, v prostředích, kde se pracuje a v místech v sousedství přívodu vzduchu do zařízení.

Vypouštění nebo odpařování kryogenních kapalin může vést k tvorbě husté mlhy a to dokonce i za podmínek nízkého obsahu vlhkosti. Toto může vytvořit nebezpečnou situaci v důsledku velmi snížené viditelnosti. Měla by se přijmout zvláštní opatření k tomu, aby silnice a provoz nebyly tímto typem mlhy nepříznivě ovlivněny.

### **15.3 Odstraňování povlaků nečistot, odstraňování námrazy, odtavování**

Odstraňování povlaků nečistot je často jako nezbytné k odstranění nahromaděných nečistot z různých částí bloku hlubokého chladu. Podrobnosti takového odstraňování povlaků nečistot udává výrobce. Přehled postupů odstraňování povlaků nečistot je uveden v IGC 65/99 [40].

Odstavení za účelem periodického odstraňování povlaků nečistot se obvykle spojuje s kontrolami, opravami nebo úpravami. Je dobrou praxí provést částečné odmrazení, abychom dostali zařízení přiměřeně teplé, provést údržbu a potom okamžitě dokončit takové odstraňování nečistot před podchlazováním zařízení. Konečné odstranění nečistot, odmrazení by mělo zajistit odstranění veškeré vody, k jejímuž nahromadění v systému mohlo dojít v důsledku vlhkého vzduchu migrujícího otvory během odstávky.

Měla by se také věnovat pozornost tomu, aby se zabránilo přílišným teplotám a tepelným namáháním. Teploty při odtavování by měly být konzistentní s materiálem konstrukce zařízení a podle návrhu potrubí zařízení a jako obecné pravidlo tu je, že teplota by neměla přesáhnout 80°C (180°F). Teploty nad 65°C (150°F) by se neměly používat u starších zařízení, která mají měděná potrubí a spoje provedené měkkým pájením. A to vzhledem k tomu, že stárnutí mohlo snížit pevnost takových spojů.

U zařízení, kde je k dispozici pro odtavování suchý plyn, by se měla kontrolovat teplota rosného bodu plynu na výstupu a mělo by se v tomto případě dosáhnout doporučené minimální hodnoty -40°C až -70°C (-40°F až -90°F).

U zařízení, kde je k tomuto k dispozici pouze vlhký plyn, musí být relativní vlhkost plynu pro odtávání pokud možno co nejvíce snížena. Relativní vlhkost se sníží udržováním vzduchového kompresoru na nejvyšším možném tlaku s použitím dochlazovače, potom snížením tlaku a ohřevem plynu na odtávání v ohřívači k tomu určeném. Potom se tento plyn na odtávání vede do bloku

hlubokého chladu. Odmrazování potom pokračuje tak dlouho, dokud odfuky, odvětrání, vypouštění a vedení vzduchu pro měření a regulaci a řízení nejsou horké.

## **16 Opravy a kontroly**

### **16.1 Všeobecné úvahy o údržbě**

Je důležité udržovat zařízení jednotky v dobrém provozním stavu z hlediska mechanického a elektrického. Pro každou položku zařízení by měl být připraven časový rozpis provádění preventivní údržby. Frekvence provádění by měly být zpočátku založeny na doporučeních prodávajícího nebo případně na historických datech.

Servis zařízení jednotky smí provádět pouze k tomu kvalifikovaní a oprávnění pracovníci. Je tu zvláště důležité, aby byly dodržovány všechny příslušné vzdálenosti a prostory podle doporučení výrobce.

Komponenty jako náhražky nebo komponenty „stejně jakosti“ se nikdy nesmí používat bez schválení výrobce nebo bez kvalifikovaného inženýrského schválení.

### **16.2 Dozorová kontrola**

Veškeré práce v bloku hlubokého chladu nebo na zařízení se musí kontrolovat prostřednictvím bezpečnostního povolení k práci a aplikací postupů uzamykání / označování visacími štítky, které pomohou prosadit kritickou analýzu bezpečnostních aspektů a potenciálního nebezpečí prací, podle toho, jak to lze aplikovat na všechny pracovníky personálu.

### **16.3 Speciální úvahy o stavbě a opravách**

Zvláštní pozornost se musí věnovat případům, kdy celé zařízení na dělení vzduchu nebo jeho část se provozuje během provádění stavby nebo oprav na místě zařízení. Tyto činnosti mohou vzájemně vůči sobě představovat potenciální nebezpečí. Během těchto časových období musí obsluha zařízení postupovat s ohledem na všechny normální aspekty bezpečnosti provozu zařízení na dělení vzduchu plus uvažovat taková speciální nebezpečí, která mohou vyplynout z kombinace těchto současně prováděných činností.

Pracovníci provádějící stavbu, konstrukci, by měli být důvěrně seznámeni s předpisy bezpečnosti práce a měli by si být vědomi všech potenciálních nebezpečí a zvláště takových, která jsou jako jedinečná v dané oblasti.

### **16.4 Nebezpečí spojené s blokem hlubokého chladu**

Jestliže je nezbytné vstoupit do bloku hlubokého chladu za účelem provádění oprav nebo úprav, pak se musí vzít v úvahu následující nebezpečí:

- Musí se určit atmosféra na kyslík bohatá nebo s nedostatkem kyslíku buď uvnitř bloku hlubokého chladu nebo uvnitř potrubí nebo nádob, na kterých se pracuje, s použitím postupů pro vstup do ohraničených prostor.
- Musí být určeny a vyznačeny práce ve výškách, jestliže se tyto provádějí ve značné výšce nad zemí.
- Musí se uvažovat zachycený nebo zvýšený tlak, kryogenické kapaliny a izolace bloku hlubokého chladu a podle toho se musí postupovat.

Musí být splněny nezbytné předpoklady pro všechny práce uvnitř bloku hlubokého chladu, jako:

- Vypouštění všech kapalin.

- Odmrazení.
- Úplné oddělení vedení kapalného produktu a vedení plynu s použitím zdvojených blokovacích ventilů a odvětrávacích ventilů nebo prostřednictvím zaslepení přírub.
- Odtlakování a
- Profukování vzduchem s následným monitorováním atmosféry.

V některých vzácných případech může být vstup do bloku hlubokého chladu bez kompletního ohřátí jako nevyhnutelný. Toto představuje velice nebezpečnou činnost. Musí se v takovém případě věnovat zvláštní pozornost zvláštním nebezpečím vyplývajících z prostředí uvnitř bloku hlubokého chladu, jako je omezená viditelnost, kryogenické teploty a atmosféra obohacená kyslíkem a atmosféra s nedostatečným množstvím kyslíku.

Před začátkem jakékoliv práce v bloku hlubokého chladu je nutno odstranit část izolace nebo veškerou izolaci bloku. Rozsah odstranění izolace závisí na typu izolace použité v bloku hlubokého chladu a na umístění zařízení, na kterém se v bloku bude pracovat. Bloky hlubokého chladu, které jsou opatřeny práškovou izolací, jako je perlit, vermikulit nebo mikrocely, se musí kompletně vyprázdnit. Viz CGA P-8.3, kde je uveden návod pro bezpečnou manipulaci s bloky hlubokého chladu opatřenými práškovou izolací [54].

Do bloků hlubokého chladu, které jsou izolované izolací typu minerální vaty, je možno vstoupit za účelem provedení lokálních oprav po důkladném profukování prostoru izolace vzduchem a po vytvoření jakéhosi tunelu skrze izolaci z minerální vaty. Tyto tunely musí být odpovídajícím způsobem podepřené, aby byla zajištěna ochrana proti zhroucení takového tunelu a musí být dokonale větrané s použitím čerstvého vzduchu. Pracovníci pracující s minerální vatou musí vždy používat příslušný ochranný oděv, ochranné rukavice a ochranné brýle, aby se zabránilo podráždění pokožky a očí. Periodicky by se měla provádět kontrola vlhkosti izolace. Jestliže je izolace vlhká, musí se vyhodit a nahradit čerstvou minerální vatou. Taková práce uvnitř prostoru s izolací z minerální vaty ohraničeného pláštěm představuje vstup do ohraničeného prostoru a měla by se tato práce provádět tak, jak je to popsáno v odstavci 16.5.

### **16.5 Nebezpečí spojená s prací v prostředích s atmosférou bohatou na kyslík nebo s nedostatkem kyslíku**

Před vstupem do jakýchkoliv ohraničených prostor s možnou atmosférou bohatou na kyslík nebo s nedostatkem kyslíku, jako jsou prostory uvnitř pláště bloku hlubokého chladu, nádoby, skladovací nádrže, potrubní kanály nebo jiné uzavřené a slabě větrané prostory, se musí přijmout přísná bezpečnostní opatření a to vzhledem k tomu, že v těchto podmínkách může dojít ke zraněním, i smrtelným. Atmosféra uvnitř takových ohraničených prostor se musí kontrolovat a nechráněným pracovníkům musí být zabráněno ve vstupu, do takového prostředí, ve kterém se obsah kyslíku nepohybuje v rozmezí 19,5 % až 23,5 %. Viz IGC 44/00, IGC 4/00 a také CGA P-12, 29 CFR 1910.146, CGA SB-2, CGA SB-15 a CGA P-39, kde jsou uvedeny další návody a doporučení [7, 8, 9, 10, 15].

**NEBEZPEČÍ:** *Vstup do prostředí s atmosférou bohatou na kyslík nebo s nedostatkem kyslíku bez dodržování řádných postupů, jak jsou uvedené v následujícím, povede k vážnému úrazu nebo ke smrtelnému úrazu.*

### **16.6 Čištění**

Čištění pro potřeby provozu s kyslíkem má speciální požadavky. Veškerá zařízení, potrubí a nádoby, které se vyměňují nebo opravují, musí být před začátkem provozu vhodným způsobem vyčištěné. Všechny vyměňované části musí být slučitelné s požadavky provozu s kyslíkem a musí být vyčištěné tak, aby to odpovídalo provozu s kyslíkem. Všechny nástroje, které se používají k odstraňování nebo výměně komponent zařízení, musí být vyčištěné tak, aby to odpovídalo provozu s kyslíkem (viz IGC 33/97 a CGA G-4.1, ASTM G93) [29, 30, 31].

Mnoho částí zapojených do procesu kryogenického dělení vzduchu se nemusí setkat během normálního provozu s tekutinami obohacenými kyslíkem. Tyto části však mohou být vystaveny působení kyslíku během nevyvážených provozních stavů zařízení, během najíždění zařízení nebo během odstavování zařízení. Je obvyklou praxí v tomto případě provést vyčištění celého kryogenického zařízení pro potřeby provozu s kyslíkem.

## 17 Provoz a školení

### 17.1 Provozní postupy

Zařízení na dělení vzduchu a to včetně všech komponent strojního zařízení, by mělo být provozováno a udržováno takovým způsobem, aby to bylo v souladu s provozními pokyny poskytnutými výrobcem zařízení. Tyto pokyny musí být zahrnuty do postupů pro ovládání a provádění údržby tohoto zařízení. Pracovníci obsluhy musí být vyškoleni pro ovládání tohoto zařízení a k provádění postupů údržby tohoto zařízení.

### 17.2 Postupy v nouzových případech

Měly by být vyvinuty takové postupy, aby bylo možno zajistit odpovídající odezvu na očekávané nouzové podmínky, se kterými se pracovníci obsluhy zařízení mohou setkat. Takové potenciální nouzové podmínky by měly zahrnovat podmínky nevyváženého stavu zařízení, podmínky, kde dojde k nějaké mechanické poruše, k výpadkům energie a stejně tak podmínky, kdy dojde k poruchám ohledně stavby nebo okolního prostředí, které by mohly ovlivnit bezpečnost zařízení. V následujícím jsou uvedeny podmínky nouzového stavu, které by se měly brát v úvahu:

- uvolnění energie,
- rozlití kryogenické kapaliny,
- mrak či mlha v důsledku uvolnění kryogenního média,
- ohrožení bezpečnosti místa zařízení (viz EIGA 907/02 *Bezpečnostní směrnice* [95] a CGA P-50, *Návod pro zajištění bezpečnosti místa, kde je nainstalováno zařízení* [73],
- velice nepříznivé podmínky počasí či klimatické podmínky, jako na příklad hurikán, tornádo nebo záplavy a
- nehody u sousedních zařízení, jako na příklad výbuchy, exploze, uvolnění toxických chemických látek nebo uvolnění toxických plynů.

### 17.3 Řízení změny

Řízení změny (MOC) představuje proceduru, která se používá k zajištění toho, že příslušné změny jsou realizovány správným a bezpečným způsobem a jsou dokumentovány. Tyto dokumenty se musí u zařízení uchovávat. Jakákoliv navržená změna na zařízení, na programovém vybavení, na příslušných procedurách a na příslušenství a dalších zařízeních si musí vyžadovat dokumentovaný kritický rozbor prováděný k tomu technicky kompetentní a oprávněnou osobou a oprávnění příslušnou k tomu osobou a to dříve, než se přistoupí k vlastní realizaci. Tento kritický rozbor a příslušné oprávnění se musí vztahovat na všechny navrhované modifikace nebo změny, ať svou povahou jsou trvalé, dočasné nebo jako nouzové. Veškerá příslušná dokumentace zařízení, jako jsou P+I schéma, specifikace zařízení a výkresy, procedury pro ovládání zařízení a procedury pro provádění údržby se musí aktualizovat.

Změny, které by měly spadat pod Řízení změny (MOC), zahrnují následující:

- změna systému regulace a řízení,
- by-pass, neboli obcházení bezpečnostních systémů,
- změny procedur nebo provozních pokynů,
- provoz, který je mimo schválené meze,

- změny procesní technologie, jako jsou míry nebo suroviny,
- změny zařízení nebo konstrukčních materiálů,
- změny specifikací zařízení nebo
- modifikace programů pro samočinný počítač.

Náhrada příslušného druhu představuje přesnou výměnu nebo návrh alternativního řešení splňujícího návrhové specifikace položky, jejíž výměna se provádí. Náhrada příslušného druhu si nevyžaduje schválení ohledně řízení změny (viz EIGA 51/02, *Řízení změny*) [74].

## 18 Reference

- [1] Schmidt, William, K. Winegardner, M. Dennehy a H. Castle – Smith, „Bezpečný návrh a provoz jednotky na kryogenické dělení vzduchu“, *Process Safety Progress*, Dec 2001, Vol. 20, No. 4, stránky 269 – 279.
- [2] EIGA 702/04, *Bezpečné použití natvrdo pájených hliníkových výměníků tepla pro výrobu tlakového kyslíku*, European Industrial Gases Association, Avenue des Arts 3-5, B-1210 Brusel [www.eiga.org](http://www.eiga.org)
- [3] IEC 61511, *Provozní bezpečnost: Systémy s bezpečnostním přístrojovým vybavením pro sektor procesního průmyslu – Část 1: Rámec, definice, Systém, Požadavky na technické vybavení a na programové vybavení* (také ANSI 84.00.01 – 2003).
- [4] *Lékopis Spojených států a národní formulace*, U.S. Pharmacopoeia, 12601 Twinbrook Pkwy, Rockville, MD 20850. [www.usp.org](http://www.usp.org)
- [5] CGA G-10.1, Komoditní specifikace pro dusík, Asociace stlačených plynů, Inc., 4221 Walney Rd. 5th floor, Chantilly, VA 20151. [www.cganet.com](http://www.cganet.com)
- [6] CGA G-4.3, Komoditní specifikace pro kyslík, Asociace stlačených plynů, Inc., 4221 Walney Rd. 5th floor, Chantilly, VA 20151. [www.cganet.com](http://www.cganet.com)
- [7] CGA P-12, *Bezpečná manipulace s kryogenními kapalinami*, Inc., 4221 Walney Rd. 5th Floor, Chantilly, VA 20151. [www.cganet.com](http://www.cganet.com)
- [8] Sbírnka federálních předpisů, Title 29 CFR Část 1910-146) Pracovní). Inspektor dokumentů, U.S. Government Printing Office, Washington, DC 20402. [www.gpoaccess.gov](http://www.gpoaccess.gov)
- [9] CGA SB-2, *Prostředí s nedostatečným množstvím kyslíku*, Asociace stlačených plynů, Inc., 4221 Walney Rd. 5th floor, Chantilly, VA 20151. [www.cganet.com](http://www.cganet.com)
- [10] IGC 44/00, Nebezpečí plynoucích z inertních plynů, European Industrial Gases Association, Avenue des Arts 3-5, B-1210 Brusel [www.eiga.org](http://www.eiga.org)
- [11] CSB Safety Bulletin, Nebezpečí udušení dusíkem, U.S. Chemical Safety and Hazard Investigation Board, 2175 K Street NW, Suite 400, Washington, DC 20037. [www.csb.gov](http://www.csb.gov)
- [12] CSB Brochure, *Atmosféra obohacená dusíkem Can Kill*, Chemical Safety and Hazard Investigation Board, 2175 K Street NW, Suite 400, Washington, DC 20037. [www.csb.gov](http://www.csb.gov)
- [13] CSB PowerPoint Presentation, Nebezpečí udušení dusíkem, U.S. Chemical Safety and Hazard Investigation Board, 2175 K Street NW, Suite 400, Washington, DC 20037. [www.csb.gov](http://www.csb.gov)

- [14] ANSI Z88.2, Ochrana dýchání, American National Standards Institute, 25 W. 43rd St., 4th Flor, New York, NY 10036 [www.ansi.org](http://www.ansi.org)
- [15] IGC 4/00, *Nebezpečí požáru kyslíku a prostředí obohacených kyslíkem*, European Industrial Gases Association, Avenue des Arts 3-5, B-1210 Brusel [www.eiga.org](http://www.eiga.org)
- [16] ASTM G63, *Standardní návod pro vyhodnocování nekovových materiálů pro provoz s kyslíkem*, ASTM International, 100 bar Harbor Drive, West Conshohocken, PA 19428. [www.astm.org](http://www.astm.org)
- [17] EU: EN 1797-1 Kryogenní nádoby – Slučitelnost materiálu s plynem, část 1 –slučitelnost s kyslíkem US: ASTM G 94, *Standardní návod pro vyhodnocování nekovových materiálů pro provoz s kyslíkem*, ASTM International, 100 bar Harbor Drive, West Conshohocken, PA 19428. [www.astm.org](http://www.astm.org)
- [18] ASTM A312 TP304, *Standardní specifikace pro bezešvé a svařované trubky v provedení z austenitické nerezové oceli*, ASTM International, 100 bar Harbor Drive, West Conshohocken, PA 19428. [www.astm.org](http://www.astm.org)
- [19] ASTM B241 6061 74 nebo T6, *Standardní specifikace pro bezešvé trubky a bezešvé vytačované trubky z hliníku a z hliníkových slitin*, ASTM International, 100 bar Harbor Drive, West Conshohocken, PA 19428. [www.astm.org](http://www.astm.org)
- [20] ASTM B209 5083, *Standardní specifikace pro plechy a desky v provedení z hliníku a z hliníkových slitin*, ASTM International, 100 bar Harbor Drive, West Conshohocken, PA 19428. [www.astm.org](http://www.astm.org)
- [21] ASTM B88, *Standardní specifikace pro bezešvé měděné trubky*, ASTM International, 100 bar Harbor Drive, West Conshohocken, PA 19428. [www.astm.org](http://www.astm.org)
- [22] ASTM B88, *Standardní specifikace pro bezešvé měděné trubky pro vodu*, ASTM International, 100 bar Harbor Drive, West Conshohocken, PA 19428. [www.astm.org](http://www.astm.org)
- [23] ASTM B 165 VNS 4400, *Standardní specifikace pro bezešvé trubky a potrubí v provedení ze slitin niklu a mědi (UNSN0400)\** ASTM International, 100 bar Harbor Drive, West Conshohocken, PA 19428. [www.astm.org](http://www.astm.org)
- [24] ASTM B 127, *Standardní specifikace pro desky, plechy a pásy v provedení ze slitin niklu a mědi (UNSN0400)\** ASTM International, 100 bar Harbor Drive, West Conshohocken, PA 19428. [www.astm.org](http://www.astm.org)
- [25] ASTM B 43, *Standardní specifikace pro bezešvé trubky z červeného kovu, standardní velikosti*, ASTM International, 100 bar Harbor Drive, West Conshohocken, PA 19428. [www.astm.org](http://www.astm.org)
- [26] ASTM A53 Typ S, Jakost B, *Standardní specifikace pro trubky ocelové, černé a pokovené ponorem, pozinkované, svařované a bezešvé*, ASTM International, 100 bar Harbor Drive, West Conshohocken, PA 19428. [www.astm.org](http://www.astm.org)
- [27] ASTM A106, Jakost B, *Standardní specifikace pro trubky bezešvé v provedení z uhlíkové oceli pro provoz při vysokých teplotách*, ASTM International, 100 bar Harbor Drive, West Conshohocken, PA 19428. [www.astm.org](http://www.astm.org)

- [28] EU: EN 1797-1 Kryogenické nádoby - Slučitelnost materiálu s plynem, část 1, slučitelnost s kyslíkem., ASTM G88, *Standardní návod pro navrhování systémů pro provoz s kyslíkem.*, ASTM International, 100 bar Harbor Drive, West Conshohocken, PA 19428. [www.astm.org](http://www.astm.org)
- [29] EU: EN 12300 Kryogenické nádoby - Čistota pro provoz s kyslíkem, US: CGA G-4.1, *Čištění zařízení pro provoz s kyslíkem*, Asociace stlačeného plynu, Inc. 4221 Walney Rd.. 5th Floor, Chantilly, VA 20151. [www.cganet.com](http://www.cganet.com)
- [30] ASTM G93, *Standardní způsoby pro způsoby čištění a úrovně čistoty u materiálů a zařízení použitých v prostředích obohacených kyslíkem.*, ASTM International, 100 bar Harbor Drive, West Conshohocken, PA 19428. [www.astm.org](http://www.astm.org)
- [31] IGC 33/97, *Čištění zařízení pro provoz s kyslíkem*, Výbor průmyslových plynů, Avenue des Arts 3-5, B-1210 Brusel [www.eiga.org](http://www.eiga.org)
- [32] Směrnice ATEX 99/92/EC
- [33] ANSI S12.3, *Americká národní norma – Statistické metody pro stanovení a ověřování stanovených hodnot hlukových emisí strojů a zařízení*, American National Standards Institute, 25 West 43rd St. New York, NY 10036 [www.ansi.org](http://www.ansi.org)
- [34] ANSI S12.5, *Americká národní norma – Požadavky pro provoz a kalibraci referenčních zdrojů zvuku*, American National Standards Institute, 25 West 43rd St. New York, NY 10036 [www.ansi.org](http://www.ansi.org)
- [35] ANSI S12.7, *Americká národní norma – Metody měření impulsního hluku*, American National Standards Institute, 25 West 43rd St. New York, NY 10036 [www.ansi.org](http://www.ansi.org)
- [36] ASA 63, *Metoda vyhodnocování zvuků s vysokou energií impulsu s ohledem na obytné celky*, The Acoustical Society of America, 2 Huntington Quadrangle, Melville, NY 11747.
- [37] ASME PTC 36, *Měření hluku v průmyslu*, Americká společnost strojních inženýrů, Three Park Ave., New York, NY 10016. [www.asme.org](http://www.asme.org)
- [38] Směrnice 2003/10/EC o minimálních požadavcích na zdraví a bezpečnost vzhledem k vystavení se pracovníků nebezpečí plynoucího z fyzikálních činidel (hluk).
- [39] McKinley, C. and F. Himmelberger, „Role znečišťujících látek při formulování principů bezpečnosti zařízení na výrobu kyslíku“, *Chemical Engineering Progress*, Březen 1957, Vol. 53, No 3, stránky 112 – 121.
- [40] IGC 65/99, *Bezpečný provoz vařáků / kondenzátorů v jednotkách na dělení vzduchu* (CGA P-8.4), Evropská asociace průmyslových plynů, European Industrial Gases Association, Avenue des Arts 3-5, B-1210 Brusel [www.eiga.org](http://www.eiga.org)
- [41] Wenning, U., „Oxid dusný v zařízeních na dělení vzduchu“, *Reports on Science and Technology, Zprávy o vědě a technologii*, [www.linde.com](http://www.linde.com), No. 60 (1998).
- [42] Hardeveld, R.M., M.J. Groeneveld, J. – Y. Lehman a D.C. Bull, „Zkoumání exploze u jednotky na dělení vzduchu“, *Journal of loss prevention in the proces industries*, 14 (2001) 167 – 180.
- [43] ASME B 19.1, *Bezpečnostní normy pro systémy kompresoru vzduchu*, Americká společnost strojních inženýrů, Three Park Ave., New York, NY 10016. [www.asme.org](http://www.asme.org)

- [44] ASME B 19. 3, *Bezpečnostní normy pro kompresory pro procesní odvětví průmyslu*, Americká společnost strojních inženýrů, Three Park Ave., New York, NY 10016. [www.asme.org](http://www.asme.org)
- [45] IGC 13/02 *Kyslíkové potrubní systémy (CGA G-4.4, Průmyslové způsoby pro potrubí systémy převodu a distribuce plynného kyslíku)*, Evropská asociace průmyslových plynů, European Industrial Gases Association, Avenue des Arts 3-5, B-1210 Brusel [www.eiga.org](http://www.eiga.org)
- [46] CGA G-4.6, *Montáž kyslíkového kompresoru a návod k obsluze*, Asociace stlačeného plynu, Inc. 4221 Walney Rd.. 5th Floor, Chantilly, VA 20151. [www.cganet.com](http://www.cganet.com)
- [47] IGC 27/01, *Odstředivé kompresory pro provoz s kyslíkem*, Evropská asociace průmyslových plynů, European Industrial Gases Association, Avenue des Arts 3-5, B-1210 Brusel [www.eiga.org](http://www.eiga.org)
- [48] *Normy sdružení výrobců trubkových výměníků tepla*, Tubular Exchanger Manufacturer's Association, 25 N. Broadway, Tarrytown, NY 10016. [www.tema.org](http://www.tema.org)
- [49] ASME *Sbírka norem pro kotle a tlakové nádoby, část VIII, Oddělení 1*, Americká společnost strojních inženýrů, Three Park Ave., New York, NY 10016. [www.asme.org](http://www.asme.org)
- [50] *Montrealský protokol o látkách narušujících ozónovou vrstvu*, United Nations Environment Programme, Ozone secretariat, P.O. Box 30552, Nairobi, Kenya. [www.unep.org/ozone](http://www.unep.org/ozone)
- [51] CGA G-4.7, *Návod pro montáž horizontálních, stabilních, elektrickým motorem poháněných čerpadel na kapalný kyslík*, Asociace stlačeného plynu, Inc. 4221 Walney Rd.. 5th Floor, Chantilly, VA 20151. [www.cganet.com](http://www.cganet.com)
- [52] CGA P-31, *Návod pro systém plnění přepravních cisteren*, Asociace stlačeného plynu, Inc. 4221 Walney Rd.. 5th Floor, Chantilly, VA 20151. [www.cganet.com](http://www.cganet.com)
- [53] EIGA 701/04, *Bezpečný provoz hliníkové strukturované vestavby pro destilaci kyslíku*, Evropská asociace průmyslových plynů, European Industrial Gases Association, Avenue des Arts 3-5, B-1210 Brusel [www.eiga.org](http://www.eiga.org)
- [54] CGA P-8.3, *Řízení perlitu*, Asociace stlačeného plynu, Inc. 4221 Walney Rd.. 5th Floor, Chantilly, VA 20151. [www.cganet.com](http://www.cganet.com)
- [55] Miller, E., S Auvil, N. Giles a G. Wilson, „Rozpustnost oxidu dusného jako rozpuštěné látky a ve směsi s oxidem uhličitým při dělení vzduchu“, Aiche Spring Meeting, Atlanta, GA, 5 – 9. března 2002
- [56] Meneses, D., J. Thonnellier, C. Szulman a E. Werlen, „Chování stopových nečistot v jednotkách na dělení vzduchu“, Cryogenics 2000 Conference, říjen 2000, Praha
- [57] CGA G-5, *Vodík*, Asociace stlačeného plynu, Inc. 4221 Walney Rd.. 5th Floor, Chantilly, VA 20151. [www.cganet.com](http://www.cganet.com)
- [58] CGA G-5.4, *Norma pro systémy vodíkového potrubí v místě spotřebitele*, Asociace stlačeného plynu, Inc. 4221 Walney Rd.. 5th Floor, Chantilly, VA 20151. [www.cganet.com](http://www.cganet.com)
- [59] CGA G-5.5, *Systémy odvětrání vodíku*, Asociace stlačeného plynu, Inc. 4221 Walney Rd.. 5th Floor, Chantilly, VA 20151. [www.cganet.com](http://www.cganet.com)



- [60] CGA P-28, *Dokument návodu pro plán řízení rizik pro systémy objemového skladování kapalného vodíku*, Asociace stlačeného plynu, Inc. 4221 Walney Rd.. 5th Floor, Chantilly, VA 20151. [www.cganet.com](http://www.cganet.com)
- [61] CGA P-8.2 *Směrnice pro ověřování platnosti jednotek na dělení vzduchu a plnění přepravních cisteren pro kyslík USP a dusík NF*, Asociace stlačeného plynu, Inc. 4221 Walney Rd.. 5th Floor, Chantilly, VA 20151. [www.cganet.com](http://www.cganet.com)
- [62] IGC 127/04, *Systémy pro hromadné skladování kapalného kyslíku, kapalného dusíku a kapalného argonu v místě výroby*, Evropská asociace průmyslových plynů, European Industrial Gases Association, Avenue des Arts 3-5, B-1210 Brusel [www.eiga.org](http://www.eiga.org)
- [63] CGA P-40, *Metoda výpočtu k analýze a prevenci přetlaku během plnění kryogenních skladovacích nádrží*, Asociace stlačeného plynu, Inc. 4221 Walney Rd.. 5th Floor, Chantilly, VA 20151. [www.cganet.com](http://www.cganet.com)
- [64] CGA PS-8, *Zpráva o stavu ochrany kryogenních skladovacích zásobníků před přetlakem během operátorem obsluhovaného plnění*, Asociace stlačeného plynu, Inc. 4221 Walney Rd.. 5th Floor, Chantilly, VA 20151. [www.cganet.com](http://www.cganet.com)
- [65] CGA P-35, *Směrnice pro vyprazdňování přepravních cisteren kryogenního kyslíku, dusíku a argonu*. Asociace stlačeného plynu, Inc. 4221 Walney Rd.. 5th Floor, Chantilly, VA 20151. [www.cganet.com](http://www.cganet.com)
- [66] CGA PS-14, *Zpráva o stavu ochrany kryogenních skladovacích zásobníků před přetlakem během operátorem obsluhovaného plnění*, Asociace stlačeného plynu, Inc. 4221 Walney Rd.. 5th Floor, Chantilly, VA 20151. [www.cganet.com](http://www.cganet.com)
- [67] CGA S-1.3, *Normy zařízení na odlehčení tlaku – Část 3 – Stabilní skladovací zásobníky na stlačené plyny*. Asociace stlačeného plynu, Inc. 4221 Walney Rd.. 5th Floor, Chantilly, VA 20151. [www.cganet.com](http://www.cganet.com)
- [68] ASME B31.3, *Procesní potrubí*, Americká společnost strojních inženýrů, Three Park Ave., New York, NY 10016. [www.asme.org](http://www.asme.org)
- [69] ASME PTC 25-2001 – 2002, *Zařízení pro odlehčení tlaku*, Americká společnost strojních inženýrů, Three Park Ave., New York, NY 10016. [www.asme.org](http://www.asme.org)
- [70] API RP 520, *Dimenzování, volba a montáž zařízení na odlehčení tlaku v rafinériích, Část I - Dimenzování, volba*, American Petroleum Institute, Americký naftový ústav, 1220 L Street NW, Washington, DC 20005. [www.api.org](http://www.api.org)
- [71] API RP 520, *Dimenzování, volba a montáž zařízení na odlehčení tlaku v rafinériích, Část II - Montáž*, American Petroleum Institute, Americký naftový ústav, 1220 L Street NW, Washington, DC 20005. [www.api.org](http://www.api.org)
- [72] API RP 521, *Návod pro systémy odlehčování tlaku a pro odtlakovací systémy (ANSI/API 521-1997)*, American Petroleum Institute, Americký naftový ústav, 1220 L Street NW, Washington, DC 20005. [www.api.org](http://www.api.org)
- [73] CGA P-50, *Směrnice pro zabezpečení místa zařízení*, Asociace stlačeného plynu, Inc. 4221 Walney Rd.. 5th Floor, Chantilly, VA 20151. [www.cganet.com](http://www.cganet.com)

- [74] EIGA Doc. 51/02, *Řízení změny*, Výbor průmyslových plynů, Industrial Gas Committee, Avenue des Arts 3-5, B-1210 Brusel [www.eiga.org](http://www.eiga.org)
- [75] API 620, *Návrh a stavba velkých svařovaných nízkotlakých skladovacích nádrží*, American Petroleum Institute, Americký naftový ústav 1220 L Street, NW, Washington, DC 2005. [www.api-ep.api.org](http://www.api-ep.api.org)
- [76] W. Schmidt, K. Kovak, W. Licht, a S. Feldman, „Řízení stopových nečistot při kryogennickém dělení vzduchu“, Jarní zasedání AIChE, Atlanta, GA, 5. - 9. březen 2000.
- [77] App. 65/99, Dodatek k dokumentu Doc 65/99, *Bezpečný provoz vařáků / kondenzátorů v jednotkách na dělení vzduchu*, Výbor průmyslových plynů, Industrial Gas Committee, Avenue des Arts 3-5, B-1210 Brusel [www.eiga.org](http://www.eiga.org)
- [78] Bohlken, S.F., „Výbuch výměníku tepla v jednotce praní plynu kapalným dusíkem“, *Chemical Engineering Progress* (vol. 57, no. 4), duben 1961, stránka 49-52.
- [79] Sakai, Y., „Explodovala jednotka na výrobu čpavku“ *Petroleum Refiner*, (vol. 40, no. 1), leden 1961, stránka 178-181.
- [80] Meilinger, M., Zkoušky podporovaného vznícení – hoření strukturovaných hliníkových náplní v plynném kyslíku se zředěním argonem, dusíkem při tlaku 0,1 a 0,6 MPa, „*Hořlavost a citlivost materiálů na prostředí obohacená kyslíkem: Desátý svazek*“, ASTM STP 1454, stránky 137 – 150.
- [81] Haseba, S., T. Shimose, N. Kubo, T. Kitagawa, „Výbuch oxidu dusnatého“, *Chemical Engineering progress*, (vol. 62, no. 4), duben 1966, stránky 92 – 96.
- [82] IGC 10/81, *Speciální úvahy o použití přepínacích výměníků v provozu s kyslíkem*, Industrial Gas Committee, (Výbor průmyslových plynů), Avenue des Arts 3-5, B-1210 Brusel, Belgie [www.eiga.org](http://www.eiga.org)
- [83] IGC 44/00, Kampaň proti zadušení, European Industrial gases association, Evropská asociace průmyslových plynů, Avenue des Arts 3-5, B-1210 Brusel, [www.eiga.org](http://www.eiga.org)
- [84] EIGA NL 77/03, *Úmrtnost na udušení na staveništi, Zadušení jako chybějící nehoda v otevřeném prostředí atd.* European Industrial gases association, Evropská asociace průmyslových plynů, Avenue des Arts 3-5, B-1210 Brusel, [www.eiga.org](http://www.eiga.org)
- [85] IGC 102/03, *Směrnice pro bezpečnostní audit*, European Industrial gases association, Evropská asociace průmyslových plynů, Avenue des Arts 3-5, B-1210 Brusel, [www.eiga.org](http://www.eiga.org)
- [86] IGC 121/04, *Potrubí pro dopravu vodíku*, European Industrial gases association, Evropská asociace průmyslových plynů, Avenue des Arts 3-5, B-1210 Brusel, [www.eiga.org](http://www.eiga.org)
- [87] IGC 15/96, *Stanice plynného vodíku*, European Industrial gases association, Evropská asociace průmyslových plynů, Avenue des Arts 3-5, B-1210 Brusel, [www.eiga.org](http://www.eiga.org)
- [88] IGC 6/02, *Bezpečnost při skladování, manipulaci a distribuci kapalného vodíku*, European Industrial gases association, Evropská asociace průmyslových plynů, Avenue des Arts 3-5, B-1210 Brusel, [www.eiga.org](http://www.eiga.org)
- [89] IGC 119/04, *Periodická kontrola stabilních kryogenních nádob*, European Industrial gases association, Evropská asociace průmyslových plynů, Avenue des Arts 3-5, B-1210 Brusel, [www.eiga.org](http://www.eiga.org)

- [90] IGC 115/04, *Skladování kryogenických plynů ze vzduchu v areálu uživatelů*, European Industrial gases association, Evropská asociace průmyslových plynů, Avenue des Arts 3-5, B-1210 Brusel, [www.eiga.org](http://www.eiga.org)
- [91] IGC 114/03, *Provoz statických kryogenních nádob*, European Industrial gases association, Evropská asociace průmyslových plynů, Avenue des Arts 3-5, B-1210 Brusel, [www.eiga.org](http://www.eiga.org)
- [92] IGC 24/02, *Zařízení pro ochranu proti tlaku u systémů kryogenických skladovacích nádrží s vakuovou izolací*, European Industrial gases association, Evropská asociace průmyslových plynů, Avenue des Arts 3-5, B-1210 Brusel, [www.eiga.org](http://www.eiga.org)
- [93] IGC 77/01, *Ochrana kryogenických přepravních nádrží proti přílišnému tlaku při plnění*, European Industrial gases association, Evropská asociace průmyslových plynů, Avenue des Arts 3-5, B-1210 Brusel, [www.eiga.org](http://www.eiga.org)
- [94] EIGA 909/03, *EIGA spojky pro kryogenní plyny k plnění přepravních cisteren*, European Industrial gases association, Evropská asociace průmyslových plynů, Avenue des Arts 3-5, B-1210 Brusel, [www.eiga.org](http://www.eiga.org)
- [95] EIGA 907/02 *Směrnice o zabezpečení*, European Industrial gases association, Evropská asociace průmyslových plynů, Avenue des Arts 3-5, B-1210 Brusel, [www.eiga.org](http://www.eiga.org)
- [96] IGC 85/02 *Řízení hluku ve výrobě průmyslových plynů*, European Industrial gases association, Evropská asociace průmyslových plynů, Avenue des Arts 3-5, B-1210 Brusel, [www.eiga.org](http://www.eiga.org)
- [97] Směrnice o tlakových zařízeních 97/23/EC
- [98] IGC 59/98, *Prevence přílišného tlaku u kryogenických nádrží během plnění*, European Industrial gases association, Evropská asociace průmyslových plynů, Avenue des Arts 3-5, B-1210 Brusel, [www.eiga.org](http://www.eiga.org)