



# KRYOGENNÍ ODPAŘOVACÍ SYSTÉMY - OCHRANA PŘED KŘEHKÝM LOMEM U ZAŘÍZENÍ A POTRUBÍ

**EIGA Doc133/14/CZ**

Odborný překlad proveden pracovní skupinou PS-6 ČATP

**EUROPEAN INDUSTRIAL GASES ASSOCIATION  
(EVROPSKÁ ASOCIACE PRŮMYSLVÝCH 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.eu](mailto:info@eiga.eu) • Internet : <http://www.eiga.eu>

ČESKÁ ASOCIACE TECHNICKÝCH PLYNŮ  
U Technoplynu 1324, 198 00 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/>





# KRYOGENNÍ ODPAŘOVACÍ SYSTÉMY - OCHRANA PŘED KŘEHKÝM LOMEM U ZAŘÍZENÍ A POTRUBÍ

## KLÍČOVÁ SLOVA

- TECHNICKÉ DEFINICE
- TYPY ODPAŘOVAČŮ
- BEZPEČNÉ SYSTÉMY
- KONSTRUKCE
- PROVOZ

### **Odmítnutí odpovědnosti**

Veškeré technické publikace EIGA, nebo vydané jménem EIGA, včetně praktických manuálů, bezpečnostních postupů a jakýchkoliv dalších technických informací, obsažených v těchto publikacích, byly převzaty ze zdrojů, o které považujeme za spolehlivé a které se zakládají na odborných informacích a zkušenostech, aktuálně dostupných u členů asociace EIGA a dalších, k datu jejich vydání.

I když asociace EIGA doporučuje svým členům používat své publikace nebo se na ně odkazovat, je používání publikací asociace EIGA nebo odkaz na tyto publikace členy asociace nebo třetími stranami čistě dobrovolné a nezávazné. Proto asociace EIGA a členové asociace EIGA neposkytují žádnou záruku za výsledky a nepřebírají žádný závazek či odpovědnost v souvislosti s referencemi a s použitím informací a doporučení obsažených v publikacích asociace EIGA.

Asociace EIGA nemá žádnou kontrolu nad čímkoli, pokud se jedná o provádění nebo neprovádění výkonu, chybnou interpretaci informací, správné nebo nesprávné používání jakýchkoli informací a doporučení obsažených v publikacích asociace EIGA., ze strany osob nebo organizačních jednotek (včetně členů asociace EIGA) a asociace EIGA výslovně neuznává v této souvislosti jakoukoli odpovědnost. Publikace asociace EIGA jsou pravidelně revidovány a uživatelé jsou upozorňováni, aby si opatřili poslední vydání.

### **INDUSTRIAL GASES ASSOCIATION**

Avenue des Arts 3-5 B 1210 Brussels

Tel +32 2 217 70 98 Fax +32 2 219 85 14E-mail: [info@eiga.eu](mailto:info@eiga.eu) •



# **KRYOGENNÍ ODPAŘOVACÍ SYSTÉMY - OCHRANA PŘED KŘEHKÝM LOMEM U ZAŘÍZENÍ A POTRUBÍ**

**Dokument Doc 133/14/CZ**

Revize dokumentu Doc 133/06

*EVROPSKÁ ASOCIACE PRŮMYSLOVÝCH PLYNŮ AISBL*

AVENUE DES ARTS 3-5 • B-1210 BRUSSELS  
Tel: +3222177098 • Fax: +3222198514  
www.eiga.eu • e-mail: info@eiga.eu

# KRYOGENNÍ ODPAŘOVACÍ SYSTÉMY - OCHRANA PŘED KŘEHKÝM LOMEM U ZAŘÍZENÍ A POTRUBÍ

---

## Předmluva

Jako součást programu harmonizace průmyslových norem byla použita publikace Evropské asociace průmyslových plynů (EIGA) „*Kryogenní odpařovací systémy – Ochrana před křehkým lomem u zařízení a potrubí*“. Tímto se tato publikace stává pro plynářskou asociaci mezinárodně harmonizovanou.

Tato publikace je určena jako mezinárodně harmonizovaná publikace pro použití po celém světě, a pro použití všemi členy Asijské asociace průmyslových plynů (AIGA), Asociace stlačených plynů (CGA), EIGA a Japonské asociace průmyslových a medicínálních plynů (JIMGA). Regionální vydání mají stejný technický obsah jako vydání EIGA, nicméně došlo k redakčním změnám zejména ve formátování, v použitých jednotkách a pravopisu. Také jakékoli odkazy na regionální regulační požadavky jsou těmi, které platí pro evropské požadavky.

## Odmítnutí odpovědnosti

Všechny technické publikace EIGA nebo pod jménem EIGA včetně Sbírek praktických postupů, Bezpečnostních postupů a všechny další technické informace v těchto publikacích obsažené, byly získány ze zdrojů, které považujeme za spolehlivé a které se zakládají na odborných informacích a zkušenostech aktuálně dostupných u členů asociace EIGA a dalších k datu jejich vydání.

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

Proto asociace EIGA a členové asociace EIGA neposkytují žádnou záruku za výsledky a nepřebírají žádný závazek či odpovědnost v souvislosti s referencemi a s použitím informací a doporučení obsažených v publikacích asociace EIGA.

Asociace EIGA nemá žádnou kontrolu nad čímkoliv, pokud se jedná o provádění nebo neprovádění výkonu, chybnou interpretaci informací, 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 neuzná v této souvislosti jakoukoliv odpovědnost.

Publikace asociace EIGA jsou pravidelně přezkoumávány a uživatelé jsou upozorňováni, aby si opatřili poslední vydání

# Obsah

1	Úvod.....	7
2	Rozsah a účel .....	7
3	Definice .....	8
3.1	Terminologie uvedená v této publikaci.....	8
3.1.1	Musí .....	8
3.1.2	Mělo by .....	8
3.1.3	Může a nemusí .....	8
3.1.4	Bude.....	8
3.1.5	Může .....	8
3.2	Technické definice.....	8
3.2.1	Křehký lom .....	8
3.2.2	Tažnost .....	8
3.2.3	Bezpečné systémy.....	8
3.2.4	Systémy pro snížení průtoku .....	9
3.2.5	Systémy pro omezení průtoku .....	9
3.2.6	Tlak .....	9
3.2.7	Zařízení na stanovišti.....	9
3.2.8	Houževnatost.....	9
3.2.9	Rozvodné systémy s nepřetržitým provozem.....	9
3.2.10	Pomocné technické vybavení.....	9
3.2.11	Odpařovač .....	10
4	Příčiny a důsledky nízkých teplot.....	11
4.1	Příčiny nízkých teplot .....	11
4.2	Důsledky nízkých teplot .....	12
5	Typy odpařovačů .....	14
5.1	Odpařovače s vysokou tepelnou setrvačností (HTB).....	14
5.2	Odpařovače s nízkou tepelnou setrvačností (LTB).....	15
6	Konstrukční filozofie.....	15
6.1	Vnitřní bezpečnost.....	15
6.2	Vyhodnocení rizik .....	15
6.3	Spolehlivost dodávky zákazníkovi.....	16
7	Hodnocení nebezpečí (rizik).....	17
7.1	Tlakově objemová (PV) energie.....	17
7.2	Nebezpečí kryogenních kapalin .....	17
7.3	Pravděpodobnost výskytu nízké teploty.....	18
7.4	Provozní model .....	18
8	Kritéria bezpečného návrhu konstrukce .....	18
8.1	Materiály na výstupu odpařovače .....	18
8.2	Vzduchové odpařovače využívající přirozené proudění vzduchu z okolního prostředí .....	19
8.3	Nezávislé úrovně ochrany.....	19
8.4	Vypínací zařízení a ventily .....	19
8.5	Škrťící ventily .....	20
8.6	Zařízení pro snímání teploty .....	20
8.7	Čerpací systémy.....	20
8.8	Odpařovače s nízkou tepelnou setrvačností (LTB).....	20
8.9	Vyrovňovací nádrže a jejich umístění .....	21
8.9.1	Umístění vyrovnávacích nádrží z uhlíkové oceli.....	21
8.9.2	Umístění vyrovnávací nádoby vyrobené z materiálů odolávajících nízkým teplotám.....	23
8.10	Různé odpařovače v paralelním zapojení.....	23
9	Pokyny pro ochranu před nízkými teplotami.....	23
9.1	Systém nepřetržitě dodávky.....	23
9.1.1	Materiály .....	24
9.1.2	Redundantní systém .....	24
9.1.3	Omezovací clona .....	24
9.1.4	Škrťící ventil .....	24
9.2	Požadavky na přetržitou dodávku .....	24

9.2.1	Přístroje vybavené systémy odstavení .....	24
9.2.2	Body nastavení teploty.....	24
9.2.3	Systémy ochrany před nízkými teplotami (LTPS).....	25
9.3	IEC 61511 .....	25
10	Řešení.....	25
10.1	Všeobecné pokyny pro LTPS.....	25
10.2	Odezva na alarmy .....	26
10.3	Doporučená řešení pro specifické situace .....	26
11	Provoz.....	29
11.1	Monitorování spotřeby.....	29
12	Pravidelná kontrola, kalibrace a testování .....	30
12.1	Pravidelná kontrola .....	30
12.2	Pravidelná kalibrace a testování .....	31
12.2.1	Provozní kontroly a kalibrace .....	31
12.2.2	Varianta kalibrace, která se neprovádí v terénu.....	31
13	Školení pro zaměstnance plynářské společnosti.....	32
14	Informovanost zákazníka.....	32
14.1	Smlouva se zákazníkem .....	32
14.2	Školení zákazníka a informace pro zákazníka.....	33
15	Reference .....	33

#### Doplnění k dokumentu 133/06

Kapitola	Změna
	Předmluva k vyrovnání provedení s asociacemi IHC
2	Objasnění rozsahu
3	Další definice
5	U typů odpařovačů došlo k přesunu mezi kapitolami
6.3	Objasnění spolehlivosti
8	Objasněné použití ventilů
8.9.2	Nová kapitola
11.1	Změna uspořádání kapitoly o monitorování spotřeby kvůli objasnění
12	Přepsaná kapitola o periodické kontrole, kalibraci a testování
15	Aktualizované reference

Pozn.: Technické změny od předchozího vydání jsou podtržené.

## 1 Úvod

Kryogenické (nebo studené) tekutiny mohou být neúmyslně přivedeny do procesního potrubí a do zařízení kvůli špatné funkci systémů pro odpařování kryogenní kapaliny, což může vést ke katastrofální poruše následkem křehkého lomu. Když se určité materiály ochladí, obvykle jde o uhlíkové oceli, dojde u nich ke změnám ve struktuře, a tím se stanou méně houževnaté. To znamená, že se stanou křehkými. Jiné materiály, jako nerezová ocel, hliník, mosaz, měď, nevykazují takovýto přechod od houževnatého stavu do stavu křehkého, a zůstávají houževnaté při nízkých teplotách. Tento přechod od houževnatého do křehkého stavu může způsobit rozšíření již existující vady materiálu do trhliny, nebo dokonce může dojít k nastartování růstu trhlín bez dalšího zvýšení pnutí materiálu. Křehký lom jakékoliv části zařízení je destruktivnější, protože taková trhlina se šíří rychle, a může dojít k oddělení částí materiálu, zatímco v případě houževnatého lomu materiálu se materiál "trhá", a tlak se uvolňuje více kontrolovaným způsobem.

## 2 Rozsah a účel

Tato publikace se vztahuje na rozvodné systémy kryogenní kapaliny, které jsou umístěny buď na stanovišti zákazníka, nebo v místě výroby, kde se kryogenní kapalina odpařuje, a poté se přivádí buď jako primární nebo sekundární zdroj plynného produktu. Tento návod se omezuje na prevenci proti křehkému lomu u potrubí a přidruženého zařízení.

Sekundární zdroj zásobování může být záložním zdrojem pro výrobní zařízení v případě, že výrobní zařízení závodu je vypnuté nebo odstavené z provozu, jako pomocná dodávka pro splnění požadavků zákazníka, když se překročí kapacita výrobního zařízení závodu (pokrytí špiček odběru), nebo jako záložní dodávka na stanovišti zákazníka (např. zdravotnické zařízení).

Principy uvedené v této publikaci platí pro každý nízkoteplotní rozvodný systém procesní tekutiny, kde je teplota tekutiny nižší než spodní hodnota jmenovitého rozsahu teploty potrubí a/nebo souvisejícího zařízení ve směru technologického toku za odpařovačem.

Příklady zahrnují:

- Dusík
- Kyslík
- Argon
- Helium
- Vodík
- Zemní plyn
- Metan
- Etylén

Rozvodné systémy pracují na bázi odpařování kryogenní kapaliny, obvykle se jedná o odezvu na snižování tlaku v potrubí.

Systémy se skládají z následujících položek:

- Dodávka kapaliny buď z nízkotlaké cisterny a čerpacího systému nebo přímo z vysokotlaké cisterny.
- Odpařovací systém, který by mohl tvořit odpařovač vzduchového typu nebo takový, který využívá vnějšího zdroje energie, jako například páru, horkou vodu, elektřinu, přímý ohřev.

Přestože tato publikace nepokrývá následující situace, uvedené techniky mohou být považovány za ochranu před křehnutím za studena:

- Separace vzduchu a jiné kryogenické procesy s kolonami, odlučovači nebo cisternami, ve kterých je proud plynu obvykle dodáván z jímky nádrže přes zařízení pro výměnu tepla, které je umístěné ve směru

technologického toku. Předpokládá se, že kryogenní procesy mají své vlastní systémy na ochranu před nízkou teplotou.

- Potrubní systémy, ve kterých se kapalina expanduje přes ventil nebo přes nějaké omezení, přičemž výsledná teplota je nižší, než teplota přechodu od houževnatého do křehkého stavu (DBTT) příslušného potrubního systému.
- Nádoby, jejichž odtlakování se provádí rychle – jelikož práce v nádobě je vykonávána expandujícím plynem, který se vypouští přes ventil, může se snížit teplota uvnitř nádoby i teplota okolních stěn nádoby.

Tato publikace byla sepsána pro identifikaci nebezpečí souvisejících se systémy odpařování kryogenní kapaliny, a pro doporučení bezpečnostních opatření. Tato publikace obsahuje doporučení bezpečného způsobu pro navrhování nových systémů pro odpařování kryogenních kapalin. U stávajících systémů musí být provedena vyhodnocení rizik, aby bylo možné stanovit, zda je nutné provést nějaké úpravy.

## 3 Definice

### 3.1 Terminologie uvedená v této publikaci

#### 3.1.1 Musí

Označuje, že se pracovní postup musí provést. Používá se všude, kde kritéria pro přizpůsobení se specifickým doporučením neumožňují žádnou odchylku.

#### 3.1.2 Mělo by

Označuje, že se doporučuje provést pracovní postup.

#### 3.1.3 Může a nemusí

Označují, že se pracovní postup může, ale nemusí provést (je volitelný).

#### 3.1.4 Bude

Používá se pouze pro označení budoucnosti, ne stupně požadavku.

#### 3.1.5 Může

Označuje možnost nebo schopnost.

### 3.2 Technické definice

#### 3.2.1 Křehký lom

Poškození (porušení materiálu) způsobené trhlinou, která se rychle rozšiřuje skrze příslušný materiál. Křehký materiál má malou odolnost proti porušení poté, co bylo dosaženo meze pružnosti. Při těchto poškozeních se uvolňuje velké množství energie, a to je nebezpečné, protože fragmenty materiálu mohou být odmrštěny na velkou vzdálenost.

#### 3.2.2 Tažnost

Jedná se o vlastnost kovu, která umožňuje jeho prodloužení s rychlým zvýšením místních napětí před vlastním porušením.

#### 3.2.3 Bezpečné systémy

Systém se považuje za „bezpečný“, jestliže při všech přiměřeně předvídatelných provozních poruchách nebo poruchách komponentů či kabelového propojení vytvoří tento systém celkovou odezvu systému a nevznikne tak žádná nebezpečná situace, a lze v takovém případě přiměřeně očekávat „bezpečnou provozní odezvu“.



### 3.2.4 Systémy pro snížení průtoku

Jedná se o systémy používající takové odpařovače, kdy je možné za souhlasu zákazníka nebo v souladu s procesem snížit průtok. Ochranný systém před nízkými teplotami (LTPS) se musí navrhnout tak, aby se provedlo takové zaškrvení průtoku skrz odpařovač, aby se zajistil dostatečný přísun energie do odpařovače.

### 3.2.5 Systémy pro omezení průtoku

Jedná se o řádným způsobem navržené omezovací clonku nebo jiné pevné zařízení, které je nainstalované bezprostředně ve směru technologického toku za příslušným odpařovačem pro omezení průtoku na určitou maximální hodnotu.

### 3.2.6 Tlak

V této publikaci bar označuje tlak vztažený k atmosférickému tlaku (bar), pokud nebude uvedeno jinak, tj. absolutní (bar abs) pro označení absolutního tlaku, a diferenční (bar dif) pro označení diferenčního tlaku.

### 3.2.7 Zařízení na stanovišti

Výrobní závod nebo zařízení, které vytváří plyn jako primární zdroj dodávky (zásobování) uživatele. Příklady jsou separace pomocí kryogenického vzduchu, adsorpce střídáním tlaku, membránový systém, atd.

### 3.2.8 Houževnatost

Jedná se o schopnost kovu rozdělit vnitřně jakékoliv namáhání způsobené náhle aplikovaným zatížením. Jedná se o opak „křehkosti“, což znamená náchylnost k náhlému porušení materiálu.

### 3.2.9 Rozvodné systémy s nepřetržitým provozem

Jedná se o systémy používající odpařovače, kde je z bezpečnostních důvodů systém navržen tak, aby průtok do procesu nebo ke koncovému uživateli nemohl být přerušen, jako například:

- Inertizace plynem pro oddělení nebezpečného prostředí nebo nebezpečného procesu.
- Přívod kyslíku do zdravotnických zařízení.

Pro tyto situace jsou důležité následující normy:

NFPA 55 – *Nařízení pro stlačené plyny a kryogenní kapaliny [1].*

NFPA 86 – *Norma pro sušárny a pece [2].*

EN ISO 7396–1: *Potrubní rozvody medicinálních plynů. Potrubní rozvody pro stlačené medicinální plyny a podtlak [3]*

NFPA 99 – *Norma pro zdravotnická zařízení [4].*

### 3.2.10 Pomocné technické vybavení

Výraz „pomocné technické vybavení“, použitý v tomto dokumentu, se vztahuje na prostředky k přívodu tepla do odpařovače, který byl navržen na odpařování kryogenních kapalin, a zahrnuje všechny následující aplikace:

- Elektrická energie sloužící k napájení ventilátorů pro horký vzduch nebo ventilátorů vzduchu z okolního prostředí, k pohonu dmychadel, vodních nebo palivových čerpadel a ponorných ohřivačů nebo sálavých ohřivačů, nebo elektrickým proudem vyhřívaných odpařovačů s kovovým blokem.
- Přívod fosilních paliv včetně zemního plynu nebo topného oleje, který je spalován za účelem výroby tepla nebo produkce páry.
- Pára dodávaná zákazníkem nebo z jiného zdroje.
- Jiné zdroje čerpaných nebo cirkulujících kapalin sloužících k ohřevu, jako jsou vodní lázně, proudy horké vody, proudy směsi glykolu s vodou, topná média nebo podobné formy dodávky procesního tepla nebo dodávky odpadního tepla.

Vzduchové odpařovače s přirozeným prouděním okolního vzduchu neobsahují pomocné technické vybavení. Pomocné technické vybavení obsahují vzduchové odpařovače opatřené ventilátorem s nuceným prouděním.

**3.2.11 Odpařovač**

Jedná se o výměník tepla, který zajišťuje změnu stavu kryogenní kapaliny do stavu plynného prostřednictvím přenosu tepelné energie do kapaliny z nějakého vnějšího zdroje.

## 4 Příčiny a důsledky nízkých teplot

### 4.1 Příčiny nízkých teplot

V následující tabulce jsou uvedeny některé z příčin nízké teploty na výstupu z odpařovače:

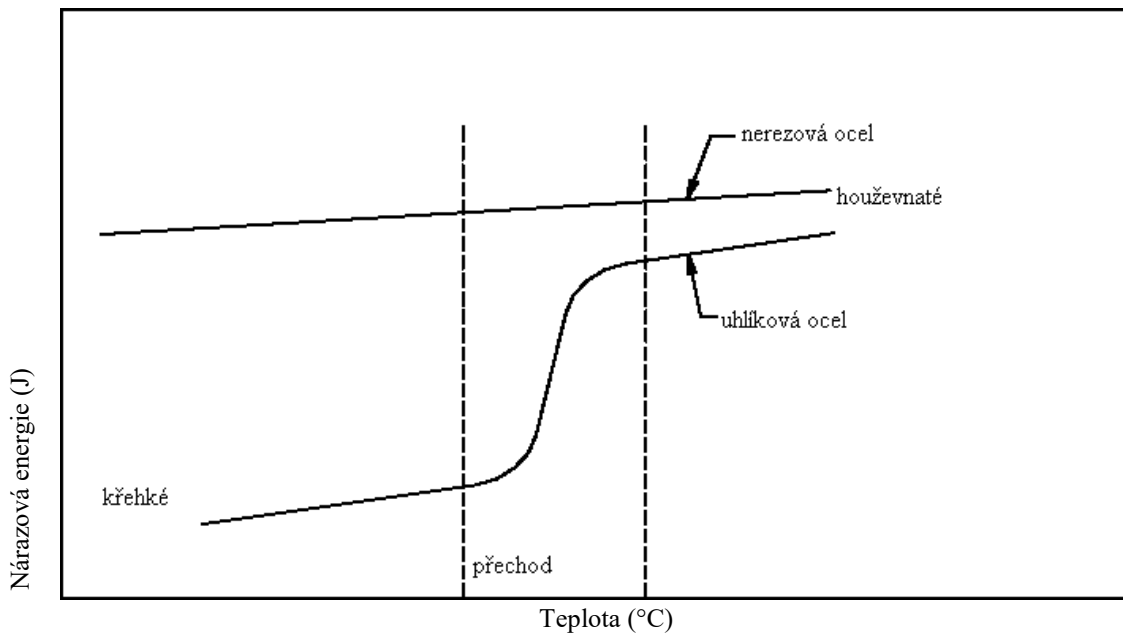
**Tabulka 1 – Příčiny nízké teploty**

Typ odpařovače	Příčina nízké teploty	Příklad
Všechny typy	Překročení hodnot dodávky ze strany zákazníka převyšuje konstrukční jmenovitou kapacitu, zejména po prodlouženou dobu.	Zákazník přidává zařízení navíc, které vyžaduje zvýšení průtoku, aniž by to oznámil dodavateli plynu.
Všechny typy	Průtok přesahuje jmenovitý výkon odpařovače.	Pojistný ventil na potrubí se otevře a zůstane v otevřeném stavu. Dlouhotrvající odvětrávání ve směru toku za odpařovačem.
Všechny typy	Tlak v potrubí nebo regulační průtokový ventil je plně otevřen.	Porucha pohonu regulačního ventilu. Špatná funkce regulátoru polohy regulačního ventilu.
Všechny typy	Porucha regulačního systému způsobem, který vede k nízké teplotě na odpařovači.	Porucha základní regulace tlaku nebo systému regulace průtoku.
Vzduchové odpařovače s přirozeným nebo s nuceným prouděním vzduchu (s ventilátorem) nebo s přívodem tepelné energie	Odpařovač je silně omrzlý kvůli vysokému odběru energie, pokrytí špiček odběru, odstavení hlavního zdroje na dodávku plynu atd.	Odpařovače jsou určeny pro uvedenou průtokovou rychlost a čas. Jestliže se tyto hodnoty překročí, výstupní teplota plynu může klesnout.
Vzduchové odpařovače s přirozeným nebo s nuceným prouděním vzduchu (s ventilátorem) nebo s přívodem tepelné energie	Odpařovač je pokrytý silnou vrstvou námrazy.	U systému s přepínáním odpařovačů vede k tomuto stavu to, že se přepínací ventil nepřesunul (vzhledem ke své poruše) do správné polohy.
Vzduchové odpařovače s přirozeným nebo s nuceným prouděním vzduchu (s ventilátorem) nebo s přívodem tepelné energie	Nízká teplota okolního vzduchu po delší dobu neposkytuje možnost pro odmrazení odpařovače.	Porucha časovaného přepínání, pokud je tato funkce nainstalována. Špatné umístění odpařovače, pokud jej nelze rozmrazit. Změny okolo odpařovače, které ovlivňují jeho účinnost (stěny postavené v jeho blízkosti).
Odpařovače plně ponořené ve vodní lázni	Ve vodní lázni je nízká hladina nebo žádná hladina kapaliny.	Vypouštěcí ventil zůstal otevřený. Netěsnosti, prosakování ve vodní lázni. Porucha systému přívodu vody / páry.
Parní odpařovače	Regulační ventil páry se neotevřel. Porucha přívodu páry z ohřívače.	Porucha pohonu ventilu. Porucha regulátoru polohy ventilu. Porucha ovladače. Přehřátá pára odpařuje obsah vodní lázně.
Odpařovače s elektrickým ohřevem	Porucha na elektrickém ohřevu.	Porucha na přívodu elektrické energie. Porucha spínacího zařízení. Vyhořelý topný článek.

Typ odpařovače	Příčina nízké teploty	Příklad
Odpařovače s vodní lázní ohřivanou přímým otopem	Porucha na topném plynu.	Nesprávná funkce systémů řízení hořáku. Nedostatečný přívod paliva.
Vzduchové odpařovače s přívodem tepelné energie nebo s nuceným prouděním pomocí ventilátoru	Zastavení ventilátoru. Odmrazovací ohřivače, pokud jsou nainstalované, nepracují.	Porucha na přívodu elektrické energie. Porucha spínacího zařízení. Mechanická porucha na ventilátoru.
Odpařovače s přirozeným prouděním vzduchu se spínanými ohřivači	Nainstalovaný ohřivač není schopen udržet teplotu plynu nad požadovanou minimální teplotou.	Porucha na přívodu elektrické energie. Porucha na spínacím zařízení. Spálené topné články. Příliš velký průtok.
Odpařovače s nuceným oběhem topného média	Porucha na zdroji tepla. Nízký nebo žádný průtok tepelného média.	Porucha na přívodu elektrické energie. Porucha na spínacím zařízení. Mechanická porucha čerpadla.
<u>Odpařovače s vodní lázní, parní odpařovače a elektrické odpařovače</u>	<u>Údržba odpařovače, na kterém byl vyřazen z provozu zdroj tepla.</u>	<u>Přívod kapaliny do odpařovače není izolován, když se odstraní zdroj tepla.</u>

## 4.2 Důsledky nízkých teplot

Každý materiál, který je citlivý na křehký lom, vykazuje „teplotu přechodu z houževnatého do křehkého stavu“ (DBTT). Teplota DBTT představuje teplotu, pod kterou hodnota Charpyho zkoušky vrubové houževnatosti vykazuje velice rychlé snížení hodnoty, a k poruše v tomto případě dochází bez plastické deformace, tj. bez výskytu významné míry prodloužení nebo poddajnosti. Vztah mezi houževnatostí a teplotou pro typickou ocel s nízkým obsahem uhlíku je uveden na Obr. 1. Ocel s nízkým obsahem uhlíku vykazuje snížení hodnoty energie při lomu se snižující se teplotou. Běžné konstrukční materiály, jako je uhlíková ocel nebo nízkolegovaná ocel, nejsou vhodné pro použití pro nízkoteplotní zařízení, a jsou citlivé na křehký lom při těchto nízkých teplotách.



Obr. 1: Vztah mezi nárazovou energií a teplotou pro uhlíkovou a austenitickou nerezovou ocel

Austenitické nerezové oceli jsou houževnaté a zůstávají houževnaté i při nízkých teplotách.

Materiály, jako jsou nerezové oceli, hliník, mosaz a měď, nevykazují žádný přechod mezi houževnatým/křehkým stavem, a mohou se používat až do kryogenních teplot.

Každá část zařízení (potrubí, nádoby, ventily atd.), která by mohla být vystavena působení nízkých teplot, se musí přezkoumat, aby se zajistilo, že je vhodná k tomu, aby odolala působení teploty.

Pokud se uvažuje o použití nekovových materiálů ve směru toku za odpařovači, musí se provést vyhodnocení vlastností těchto materiálů při nízkých teplotách dříve, než se rozhodne o jeho použití.

Křehký lom může vést k následujícím nebezpečným důsledkům:

- Uvolnění tlakově objemové (PV) energie: Uvolnění tlakové energie obsažené v zařízení. Tlaková energie může způsobit škody nebo zranění v důsledku účinku sil tlakové vlny na budovy, zařízení a na zaměstnance. Vyrovnávací nádoby a potrubí o velkém průměru, které jsou spojené s odpařovači, a které jsou zhotovené z materiálů, které jsou citlivé na křehký lom, představují zvláště velké nebezpečí pro zaměstnance kvůli zvýšené tlakově objemové energii PV, která se vyskytne při poruše, a následně zvětšené oblasti, kde by mohlo dojít k úrazu nebo smrtelnému zranění.
- Tržštění zařízení na kousky: Vystřelení úlomků nebo celých kusů porušeného zařízení o vysoké rychlosti z místa vzniku může způsobit poranění zaměstnanců nebo další škody na zařízení, které se nalézá v blízkosti tržštěného zařízení.
- Ztráta obsahu: Nekontrolované uvolňování procesní tekutiny obsažené v zařízení může zvýšit nebezpečné důsledky mimo zónu, která je ovlivněna působením odlétajících kousků zařízení nebo důsledků přetlaku. Takto uvolněné procesní tekutiny mohou způsobit zaměstnancům zranění a mohou způsobit škody na zařízení v závislosti na fyzikálních a chemických vlastnostech příslušné tekutiny.
- Kryogenní kapaliny unikající ze zařízení mohou způsobit velké rozlití kapaliny a vznik oblaku páry. V tomto případě může dojít k popáleninám v důsledku působení kryogenních kapalin, může dojít ke zhoršené viditelnosti a k souběžnému poškození sousedních zařízení.
- Toxické tekutiny mohou nepříznivě ovlivňovat zdraví zaměstnanců nebo mohou vést k úmrtí, jestliže dojde k dostatečnému vystavení se působení toxické koncentrace procesní tekutiny. Tento dokument nepojednává o žádných toxických kryogenních tekutinách, ale výsledek porušení v důsledku křehkého lomu například v kryogenním odpařovacím systému dusíku, který se používá k proplachování v chemickém zařízení, může způsobit uvolnění toxického materiálu z procesu uživatele.
- Hořlavé tekutiny, jako je vodík, etylén a metan, mohou vytvořit hořlavý mrak nebo proud par. Vznícení takového mraku může vyvolat přetlak, jehož účinek se přidá k účinku uvolnění tlakové energie. Po uvolnění produktu může dále pokračovat požár proudu plynu, požár ze vzplanutí nebo požár rozlitého produktu, a toto může vést k popáleninám zaměstnanců a/nebo k dalšímu poškození zařízení.
- Uvolnění kyslíku může vytvořit ovzduší obohacené kyslíkem, které může podporovat rychlé hoření mnoha materiálů.
- Uvolnění dusivých plynů (např. dusík, argon) může vytvořit ovzduší s nedostatečným množstvím kyslíku, což může mít za následek smrt nebo poranění osob, které se pohybují v ovzduší s nedostatečným množstvím kyslíku.
- Druhotným rizikem u omrzlin je nebezpečí vzniku omrzlin v důsledku kontaktu kůže se studeným potrubím nebo se studenými nádobami po uvolnění produktu.
- Dostupnost dodávky plynu: Zkřehnutí a porucha systému budou mít za následek výpadek v dodávce zákazníkovi, což v některých případech může představovat další nebezpečí pro zákazníka. Spuštění systému ochrany před nízkými teplotami (LTPS) povede také k omezení nebo k přerušení dodávky zákazníkovi, avšak k úplnému obnovení dodávky může dojít mnohem rychleji než v případě, kdy dojde ke křehkému lomu.

## 5 Typy odpařovačů

Tento dokument pojednává o následujících typech odpařovačů.

- Vzduchové odpařovače využívající přirozené proudění vzduchu z okolního prostředí jsou odpařovače, kde konvekční proudy atmosférického vzduchu v blízkosti povrchu žebrovaných trubek využívají vlastního tepla vzduchu okolního prostředí k zajištění tepla k odpařování, a ke zvýšení teploty plynu na výstupu z odpařovače na hodnotu nižší, než je teplota okolního vzduchu.
- Vzduchové odpařovače využívající přirozené proudění vzduchu z okolního prostředí s přepínacím systémem – jedná se o dva odpařovače nebo o skupiny odpařovačů paralelně zapojené, kde proud je přepínán mezi odpařovači nebo skupinami odpařovačů, aby se tak umožnilo odmrazování jednotlivých odpařovačů nebo skupiny odpařovačů.
- Odpařovač s vodní lázní – vodní lázeň se udržuje na požadované teplotě prostřednictvím cirkulace horké vody, vstřikováním páry nebo prostřednictvím elektrických topných článků, nebo pomocí ohříváčů ohřívajících hořáky na uhlovodíkové palivo. Odpařovací spirála nebo trubkový svazek ve vodní lázni využívají tepla vody k odpařování kryogenní kapaliny a k zajištění přehřívání ke zvýšení teploty plynu na výstupu z odpařovače. Tepelná kapacita vody pomáhá snižovat změny procesní teploty na výstupu.
- Vzduchové odpařovače využívající přirozené proudění vzduchu z okolního prostředí s přidavnými spínanými ohříváči – elektrické ohříváče jsou nainstalovány ve směru toku za vzduchovými odpařovači, aby zajistily ohřev za účelem zvýšení teploty plynu na výstupu z odpařovače nad minimální povolenou hodnotu pro systém ve směru toku za odpařovačem, a [PC 21012].
- Vzduchové odpařovače s nuceným prouděním vzduchu s ventilátorem – ventilátor se používá pro zajištění proudění vzduchu přes plochu žebrovaných trubek, a tak pro využití vlastního tepla okolního vzduchu pro odpařování, a pro zvýšení teploty plynu na výstupu odpařovače na hodnotu nižší, než je teplota okolního vzduchu. Odpařovač má sníženou kapacitu odpařování, když ventilátor není v provozu.
- Odpařovače s elektrickým ohřevem v provedení jako kovový blok – elektrická energie se používá v člancích elektrického ohříváče, který je zabudován v kovovém bloku, a kterým je blok ohříván. Odpařovací spirála je také uložena v tomto bloku a z tohoto důvodu teplo přestupuje z tohoto bloku do kryogenní kapaliny pro odpařování a přehřívání.
- Odpařovače s nuceným průtokem topného média, bez tepelné setrvačnosti, např. okolní teplotou, horkou nebo teplou vodou. Teplota vody se používá k zajištění tepla potřebného pro odpařování a ke zvýšení teploty plynu na výstupu z odpařovače.
- Odpařovače s pláštěm na ostrou páru – pára je vstřikována do výměníku tepla při regulované rychlosti, aby kondenzovala na trubkách s produktem, přičemž skupenské teplo páry se používá k odpaření kryogenní kapaliny, a k zajištění přehřátí ke zvýšení teploty plynu na výstupu z odpařovače na hodnotu teploty okolního vzduchu nebo na hodnotu vyšší. V tomto případě neexistuje žádná významná tepelná kapacita, která by pomohla redukovat kolísání procesní teploty na výstupu, jestliže se mění průtočné množství páry.

Odpařovací systémy se obvykle dělí do kategorií s vysokou tepelnou setrvačností nebo nízkou tepelnou setrvačností. Pro stanovení doby zatížení se musí používat maximální konstrukční průtoková rychlost pro odpařovací systém. Vzduchové odpařovače využívající přirozené proudění vzduchu z okolního prostředí se musí přezkoumávat při minimální konstrukční okolní teplotě.

### 5.1 Odpařovače s vysokou tepelnou setrvačností (HTB)

Odpařovač s vysokou tepelnou setrvačností HTB je odpařovač s velkým množstvím uložené tepelné energie, která je přítomna v okamžiku výpadku elektrické energie, v případě poruchy příkonu energie nebo za stavu přetížení. Při poruše pomocného technického vybavení bude doba nutná pro pokles teploty na výstupu na teplotu křehnutí patnáct minut nebo více. K poruše příkonu energie může dojít v případě ztráty přívodu páry nebo paliva pro hořák nebo elektrického ohřevu pro odpařovač s vodní lázní, nebo vytvořením ledu nebo námrazy na vzduchovém odpařovači využívajícím přirozené proudění vzduchu z okolního prostředí nebo na vzduchovém odpařovači s nuceným prouděním vzduchu.

## 5.2 Odpařovače s nízkou tepelnou setrvačností (LTB)

Odpařovač LTB s nízkou tepelnou setrvačností je odpařovač s malým nebo žádným množstvím uložené tepelné energie v zatížení, která je přítomna v okamžiku výpadku elektrické energie, v případě poruchy příkonu nebo za stavu přetížení. Při poruše pomocného technického vybavení bude doba potřebná pro pokles teploty na výstupu na teplotu křehnutí kratší než patnáct minut. Konstrukční materiály odpařovače a zadržované množství média pro přenos tepla (např. vody) definují tepelnou setrvačnost.

## 6 Konstrukční filozofie

### 6.1 Vnitřní bezpečnost

Pokud se jedná o křehnutí za nízkých teplot, vnitřně bezpečnější odpařovací systém je takový systém, kde teplota na výstupu plynu nemůže poklesnout pod minimální jmenovitou teplotu pro potrubní materiál nebo materiál přidruženého zařízení. Za takového stavu není zapotřebí aplikovat žádná zvláštní opatření na ochranu před nízkými teplotami, a proto by tato alternativa měla být pro systém upřednostňovaná.

Příkladem by měl být odpařovací systém s komponenty ve směru technologického toku za odpařovačem a s potrubím vedoucím až k místům konečného použití včetně těchto míst, která jsou zkonstruovaná z materiálů vhodných pro kryogenní teploty (např. nerezová ocel, měď, mosaz). Zatímco je konstrukce vnitřně bezpečnější před perspektivou křehnutí při nízké teplotě, může pro koncového uživatele představovat jiná rizika ve směru technologického toku kvůli zásobování kryogenním plynem nebo kapalin do míst(a) konečného použití.

### 6.2 Vyhodnocení rizik

Ve všech ostatních situacích se musí celý systém vyhodnotit (včetně všech systémů procesního měření, systémů monitorování a regulace teploty a průtoku) na základě přezkoumání rizika, a musí být tedy podrobeny vyhodnocení rizik. Toto vyhodnocení se může provádět na všeobecně použitelném základě. Při možné poruše systému, který je pod tlakem, je třeba vyhodnotit důsledky. Kdykoli je to možné, měly by se tyto důsledky redukovat, (např. odstraněním vyrovnávacích nádob, pokud nejsou zapotřebí).

Vyhodnocení rizik by mělo zahrnovat:

- Pravděpodobnost výskytu jevu nízké teploty, přičemž se bere v úvahu typ odpařovače a stávající nebo předpokládaný model použití.
- Důsledky působení nízké teploty, přičemž se bere v úvahu povaha tekutiny, akumulovaná energie, umístění zařízení, a pravděpodobnost přítomnosti osob v blízkosti takového zařízení.
- Přítomnost jakýchkoliv úrovní ochrany existujících v této oblasti, jako všeobecný návrh procesu a základní systém řízení procesu.
- Přítomnost výstražných alarmů, na které lze odpovědět včasným a účinným způsobem.
- Každá jiná zmírňující opatření nebo faktory, které snižují pravděpodobnost nebo důsledky takového jevu, jako např. frekvence provádění kontrolních prohlídek a návštěv za účelem monitorování vytváření ledu, namrzání potrubí atd.

Tyto faktory by se měly zvážit při stanovování požadované pravděpodobnosti poruchy systému na ochranu před nízkými teplotami při požadavku na jeho činnost.

Mezinárodní norma IEC 61511 „*Funkční bezpečnost – Bezpečnostní přístrojové systémy pro sektor průmyslových procesů*“ [5] poskytuje metodiku pro určování požadované pravděpodobnosti poruchy systému na ochranu před nízkými teplotami při požadavku na jeho činnost ve vztahu k definovanému cílovému poměru rizika.

Přezkoumání rizik a vyhodnocení rizik musí ideálně zahrnovat systém zákazníka. Kde nelze provést přezkoumání a vyhodnocení rizika kvůli nedostatku informací o systému zákazníka, musí se definovat jasné mezní hodnoty zařízení s běžnými a neobvyklými procesními parametry.

Specifikace systému na ochranu před nízkými teplotami může využívat jakoukoliv kombinaci bezpečnostních opatření (ochran), která jsou přehledně uvedena v následujících kapitolách. Není třeba zajistit všechna uvedená bezpečnostní opatření, ale návrh systému musí zahrnovat dostatečné ochrany a bezpečnostní opatření tak, aby vyhodnocení systému ochrany vyústilo v přijatelně nízké riziko.

Obvykle se ochrany a bezpečnostní opatření sestávají ze systémů a komponentů, které jsou navrženy tak, aby splňovaly následující:

- Snížit na minimum pravděpodobnost procesních požadavků nebo odchylek, které by mohly způsobit uvolnění nebo přenesení studených par nebo kapalin z odpařovačů do systémů ve směru technologického toku za odpařovačem, např. škrcením průtoku na maximální mezní hodnotu, nebo použitím pevných zařízení na omezování průtoku.
- Monitorovat a detekovat nízkou teplotu, vysoká průtočná množství studené kapaliny nebo výpadek přívodu tepla do výměníků tepla.
- Vypnout zařízení pro zastavení procesních toků.
- Opatřit alternativní odpařovač nebo systém přívodu plynu.

Obvykle monitorovací zařízení s připojenými alarmy a vypínáním podle vyhodnocení rizika zahrnují následující:

- Detekce nízké teploty v procesních tocích plynu vycházejících z odpařovačů.
- Detekce výpadku pomocných technických vybavení týkající se ohřívacích jednotek na odpařovačích.
- Detekce nízké teploty nebo nízkého tlaku na přívodu do pomocných technických vybavení sloužících k ohřevu v systému odpařovače.

Bezpečnostní vypínací zařízení mohou zahrnovat následující:

- Blokovací zařízení pro vypnutí průtoku procesního plynu vycházejícího z odpařovače nebo ohříváče.
- Blokovací zařízení pro vypnutí čerpadel.
- Uzavírací ventily na trase z kteréhokoli z výše uvedeného zařízení, včetně skladovacích nádrží.

Kde je to vhodné, musí se zvážit při vyhodnocování rizik pravděpodobnost poruchy u požadovaných ochran a bezpečnostních zařízení. Tyto údaje lze získat u výrobce zařízení, plynárenské společnosti nebo z uznávaných veřejně publikovaných zdrojů.

Jakékoliv následné změny v návrhu nebo provozní změny musí být předmětem kontroly přezkoumání a vyhodnocení rizik. Dodavatel plynu by měl informovat zákazníka o tom, že jakékoli změny na zařízení mohou mít vliv na bezpečný provoz systému, a požádat zákazníka o ohlášení jakýchkoli změn na jejich zařízení (např. změny v průtoku, tlaku, potrubí a materiálu, atd.), které mohou ovlivnit provoz systému.

### 6.3 Spolehlivost dodávky zákazníkovi

Jako součást vyhodnocení rizik se musí zvážit vliv navrhovaných ochran a bezpečnostních opatření na spolehlivost dodávky zákazníkovi. To je zejména důležité u systémů nepřetržité dodávky zákazníkovi, kde se používá přívod plynu, aby se zabránilo vzniku závažných událostí na stanovišti uživatele. Např. ve vyhodnocení se může zvážit vliv krátkého přerušení dodávky proti dlouhodobému výpadku přívodu v případě, že je produktový systém poškozen a mimo provoz.

Kde je to požadováno, může se zvýšená spolehlivost ve směru toku rozšířit, například redundantností komponentů (nebo systému) (např. výběrem dvou ze tří teplotních snímačů, zdvojenými paralelně nainstalovanými uzavíracími ventily, nebo zdvojenými linkami odpařovačů) nebo vylepšením výběru materiálu na vnitřně bezpečný systém.



## 7 Hodnocení nebezpečí (rizik)

Jako součást procesu vyhodnocení rizik se musí brát v úvahu pravděpodobnost a důsledky jevů nízké teploty. Musí se hodnotit relativní závažnost důsledků a relativní pravděpodobnost spuštění těchto jevů. Následující kapitoly poskytují návod k celkovému hodnocení rizik.

### 7.1 Tlakově objemová (PV) energie

Uvolnění tlakové energie, která je obsažena v zařízení, může způsobit škody na zařízení nebo zranění zaměstnanců v důsledku uvolněných lokalizovaných tlakových sil. Vystřelení kousků nebo celých kusů poškozeného zařízení o vysoké rychlosti z místa vzniku může také způsobit poranění zaměstnanců na stanovišti, nebo způsobit další poškození na zařízení, které se nalézá v blízkosti zařízení, ze kterého odlétají kousky materiálu.

Vyrovnávací nádoby a potrubí o velkém průměru, které jsou spojené s odpařovači, a které jsou zhotovené z materiálů citlivých na křehký lom, představují zvláště velké nebezpečí pro zaměstnance kvůli zvýšené tlakově objemové energii (PV) přítomné při poruše, a v důsledku vzniku tlakové vlny by se zvětšila oblast, kde by mohlo dojít k úrazu nebo smrtelnému zranění. Závažnost takového nebezpečí se hodnotí prostřednictvím klesající stupnice, kde P znamená maximální provozní tlak uvedený v barech, a V je objem nádoby uvedený v litrech.

**Tabulka 2 – Klasifikace energie PV**

Stupeň závažnosti PV	Typ	Příklad
P3	Odpařovač, u kterého součin maximálního provozního tlaku (bar g) a vodní kapacity vyrovnávací nádoby (litry) je větší než 180 bar.litr, nebo součin maximálního provozního tlaku (bar g) a vnitřního průměru výstupního potrubí (mm) je větší než 3500 bar.mm.	Vyrovnávací nádoba dále ve směru technologického toku za odpařovačem.
P2	Odpařovač, u kterého součin maximálního provozního tlaku (bar g) a vnitřního průměru výstupního potrubí (mm) je větší než 1000 bar.mm, avšak menší nebo roven 3500 bar.mm, nebo součin maximálního provozního tlaku (bar g) a vodní kapacity vyrovnávací nádoby (litry) je menší nebo roven 180 bar.litr.	Potrubí o velkém průměru ve směru technologického toku za odpařovačem.  Příklad: maximální provozní tlak 17,5 bar (g), průměr potrubí 200 mm (jmenovitý průměr 8 palců)
P1	Odpařovač, u kterého součin maximálního provozního tlaku (bar g) a vnitřního průměru výstupního potrubí (mm) je menší nebo roven 1000 bar.mm.	Potrubí o malém průměru ve směru technologického toku za odpařovačem.  Příklad: maximální provozní tlak 10 bar (g), průměr potrubí 100 mm (jmenovitý průměr 4 palce)

POZNÁMKA – Výše uvedené hodnoty jsou založeny na přezkoumání skupin a kategorií podrobně uvedených ve Směrnici o tlakových zařízeních, PED 97/23/EC. [6]

### 7.2 Nebezpečí kryogenních kapalin

Kryogenní kapaliny unikající ze zařízení mohou způsobit velké rozlití kapaliny a vznik oblaku páry. V tomto případě může dojít ke kryogenním popáleninám, omezené viditelnosti a k souběžnému poškození sousedních zařízení, a může dojít ke zranění osob. Závažnost tohoto nebezpečí se může hodnotit v sestupném pořadí:

Tabulka 3 – Klasifikace nebezpečí prchavých kapalin

Stupeň závažnosti nebezpečí	Typ nebezpečí týkající se úrovně nebezpečí PV	Příklad
H3	Toxické nebo hořlavé látky. Všechny třídy.	Prasknutí potrubí ve směru technologického toku za odpařovačem by mohlo mít za následek uvolnění toxického plynu, který by se vracel ze systému uživatele, nebo by prasknutí potrubí ve směru technologického toku za odpařovačem mohlo mít za následek uvolnění hořlavého plynu ze systému uživatele nebo z odpařovače kapalného vodíku nebo kapalného metanu nebo z odpařovače kapalného etylénu.
H2	Kyslík pro PV třídy P3 a P2	Uvolnění kyslíku způsobí vytvoření ovzduší obohaceného kyslíkem, které může podpořit rychlé hoření mnoha materiálů. V nebezpečí jsou v tomto případě zejména osoby, které se nacházejí v blízkosti a kouří, řidiči vozidel nebo osoby provádějící práce ve vysokých teplotách.
H1	Inertní plyny pro všechny třídy PV a kyslík pro třídu P1	Uvolnění dusivých plynů [např. dusík, argon] způsobí vytvoření ovzduší s nedostatečným obsahem kyslíku, což představuje nebezpečí smrtelného postižení nebo zranění osob pohybujících se v ovzduší s nedostatkem kyslíku.

### 7.3 Pravděpodobnost výskytu nízké teploty

Pravděpodobnost výskytu nízké teploty je ovlivňována návrhem procesu a stupněm zatížení odpařovače. Pravděpodobnost nebezpečí může být hodnocena v klesajícím pořadí následujícím způsobem:

Tabulka 4 – Klasifikace pravděpodobnosti výskytu nízké teploty

Úroveň pravděpodobnosti výskytu nízké teploty	Typ
L2	Odpařovače s vysokou tepelnou setrvačností (HTB) podle definice uvedené v kapitole 5.
L1	Vzduchový odpařovač na okolní vzduch bez přepínacího systému.

POZNÁMKA: Odpařovače s nízkou tepelnou setrvačností (LTB) jsou specificky vyloučeny z tabulky 4 a z tabulek 6.1, 6.2 a 6.3 z důvodů uvedených v kapitole 8.8.

### 7.4 Provozní model

Pravděpodobnost výskytu jevu nízké teploty je ovlivňována provozním modelem odpařovače. Pravděpodobnost nebezpečí je možno hodnotit v klesajícím pořadí následujícím způsobem:

Tabulka 5 – Klasifikace typu provozu

Provozní model	Typ
S2	Nepřetržitá dodávka nebo záloha pro pokrytí špiček odběru.
S1	Pouze záložní dodávka.

## 8 Kritéria bezpečného návrhu konstrukce

### 8.1 Materiály na výstupu odpařovače

Když jsou potrubí ve směru technologického toku za kryogenním odpařovačem včetně přívodního potrubí pro zákazníka a připojeného procesního zařízení vyrobené plně z materiálů vhodných pro použití za kryogenní teploty, není nutné použít vypínacího (uzavíracího) systému při výskytu nízkých teplot. I když je tato konstrukce vnitřně bezpečnější před nebezpečím křehnutí za nízké teploty, může to představovat pro koncového uživatele jiná nebezpečí ve směru toku kvůli dodávce kryogenního plynu nebo kapaliny na místo(a) konečného použití v systému.

Každý odpařovací systém vyžaduje mít na výstupu z odpařovače určitou délku potrubí navrženou pro kryogenní podmínky. Délka kryogenního potrubí musí být dostatečně velká, aby teplota plynu za mimořádných podmínek, což by mohlo vést k vypnutí systému, neměla za následek snížení teploty zařízení pod teplotu přechodu mezi houževnatostí a křehkostí na konci délky potrubí dříve, než se provedou vhodné nápravné činnosti. Musí se nainstalovat teplotní snímač tak, aby se zajistilo, že měření není ovlivněno okolními teplotami.

Každé přístrojové vybavení určené pro detekci nízké teploty vyžadované pro tento systém, musí být nainstalované na vstupu toku kryogenního potrubí, aby přístrojové vybavení mělo přiměřený čas k tomu, aby reagovalo na změny v podmínkách na výstupu.

Veškeré potrubí a zařízení (např. regulátory a ručně ovládané ventily) nainstalované na kryogenní délce potrubí musí být specifikovány z materiálu vhodného pro provoz za kryogenních podmínek.

U pojistných zařízení na odlehčení tlaku, která jsou umístěná na výstupu z odpařovače kryogenní kapaliny, musí být jejich vstupní potrubí do pojistných – odlehčovacích zařízení tlaku a výstupní potrubí, kde je to vhodné, specifikována z materiálů vhodných pro provoz za kryogenních podmínek. Obvykle se musí pojistná, odlehčovací zařízení dimenzovat na podmínky teplého plynu, kde se předpokládá, že budou fungovat za běžných provozních podmínek, ale musí vydržet působení kryogenních podmínek v případě, že dojde k přetížení odpařovače nebo ke stavu výpadku ohřevu, k čemuž by mohlo dojít v zablokovaném stavu, během kterého by pojistné zařízení bylo aktivováno k činnosti.

Přiměřená pružnost potrubí se musí udržovat pro celý systém ve směru technologického toku za odpařovačem až k mezní hodnotě dodávky pro zákazníka a včetně ní.

## 8.2 Vzduchové odpařovače využívající přirozené proudění vzduchu z okolního prostředí

Vzduchové odpařovače s použitím okolního vzduchu jsou bezpečnější než takové návrhy či konstrukční provedení vyžadující vnější přívod tepla. Dimenzování zařízení bere v úvahu očekávané podmínky okolního prostředí, předpokládanou dobu nepřetržitého provozu odpařovače a deklarovaný průtok a model spotřeby zákazníka. Vzduchové odpařovače využívající přirozené proudění okolního vzduchu, které byly dimenzované správným způsobem, s větší pravděpodobností zabrání výskytu jevu nízké teploty za předpokládaných podmínek, než je tomu v případě odpařovačů využívajících pomocná technická vybavení. Nicméně existuje stále ještě určité nebezpečí výskytu nízké teploty (např. nepřetržitý provoz se značně velkým vytvořením námrazy a žádným odmrazováním). Vysoce spolehlivé systémy dodávky plynu využívají vzduchové odpařovače využívající přirozené proudění okolního vzduchu, kdykoliv je to možné.

## 8.3 Nezávislé úrovně ochrany

Systémy ochrany před nízkými teplotami (LPTS) se obvykle skládají ze tří komponentů:

- Zařízení pro detekci teploty.
- Logické výpočetní zařízení.
- Vypínací (uzavírací) zařízení.

Logickým výpočetním zařízením může být systém relé nebo programovatelný logický regulátor nebo nějaký jiný elektronický řídicí systém.

Kde jsou zajištěny dva systémy LPTS nebo více systémů LPTS, komponenty u každého LPTS by měly být na sobě nezávislé, aby se tak snížila možnost společné poruchy režimu, tj. LPTS jsou nezávislými úrovněmi ochrany.

## 8.4 Vypínací zařízení a ventily

Každá z následujících možností představuje přijatelné vypínací prostředky pro vypnutí zařízení:

- Uzavírací ventil na výstupu z odpařovače.
- Uzavírací ventil na vstupu do odpařovače.
- Vypnutí motoru čerpadla(čerpadel) přivádějících kapalinu do odpařovače.

Kde se používají uzavírací ventily, musí být tyto uzavírací ventily pokud možno zkonstruované tak, aby byly při výpadku energie nebo provozního média v uzavřené poloze. Ventily zůstávající v otevřené poloze při poruše se u odpařovacích systémů nesmí používat, pokud se podrobným vyhodnocením rizika neprokáže, že je takové řešení přijatelné.

Toto řešení může být přijatelné jako funkce nouzového uzavírání začleněním do stávajícího regulačního ventilu (např. namontováním solenoidu na přívod vzduchu do regulačního ventilu, který by měl být v poloze uzavřen při poruše). Takový systém musí být přiměřeně navržen za tímto účelem, a musí být konfigurován tak, aby umožnil periodické testování funkce uzavírání, a opětovné obnovení průtoku přes snímač teploty poté, co došlo k jeho uzavření.

Nicméně, jak je uvedeno v Tabulce 1, porucha základního regulačního obvodu procesu může také být příčinou výskytu nízké teploty, takže se toto musí vzít v úvahu při výběru řešení LTPS.

Zkapalněný plyn nesmí být uzavřen mezi automaticky ovládanými nebo ručně ovládanými uzavíracími ventily nebo zpětnými ventily, pokud by tato část systému nebyla opatřena přetlakovým pojistným ventilem.

Kde se používá uzavírání vstupního ventilu, existuje možnost, že po uzavření ventilu může studený plyn ještě po krátkou dobu nadále protékat. Systém musí být navržen tak, aby se s tímto problémem počítalo.

Konstrukce uzavíracího ventilu by měla zabránit nadměrnému vytváření námrazy, která by mohla ohrozit funkci ventilu.

## 8.5 Škrťací ventily

Škrťací ventil se může použít pro omezení průtoku tekutiny tak, aby nikdy nedošlo k překročení kapacity odpařovačů.

Funkce regulace teploty se často používá jako akční veličina pro regulační ventil umístěný na potrubí. Tento regulační ventil bude redukovat průtočné množství produktu v závislosti na klesající teplotě, a zabrání tak vytvoření stavu nízké teploty, a možnému následnému vypnutí.

Jestliže by reakce na zaškrcení průtoku nezregulovala přiměřeně teplotu plynu na výstupu z odpařovače, musí dojít k zastavení průtoku, pokud by se podrobným vyhodnocením rizika neprokázalo, že toto není přijatelné nebo je to zbytečné.

## 8.6 Zařízení pro snímání teploty

Zařízení pro snímání teploty, používané u systémů na ochranu před nízkými teplotami musí být umístěné ve směru toku za odpařovačem. Systémy ochrany před nízkými teplotami (LTPS) se musí umístit tak, aby se zamezilo vnikání kryogenní tekutiny do nekryogenního zařízení umístěného ve směru toku. Jednotlivá snímací zařízení nebo systém jeden ze dvou může být požadován v závislosti na požadované úrovni pravděpodobnosti poruchy systému při požadavku na jeho činnost. Z důvodů spolehlivosti může být k aktivaci systému pro odstavení zařízení zapotřebí hodnoty systémem dva ze tří. Musí se také zvážit vliv okolních teplot na provoz zařízení.

Při výběru zařízení a při navrhování systému by se měly zvážit požadavky na údržbu a na testování.

U pasivních zařízení, jako jsou vypínače, mají intervaly zkoušek odolnosti přímý vztah k požadované úrovni pravděpodobnosti poruchy systému při požadavku na jeho činnost. Je známým problémem, že zařízení kapilárního typu, která jsou namontována bez teploměrné jímky, mohou být testována například pouze během odstávky zařízení.

## 8.7 Čerpací systémy

Kde se používají kryogenní čerpadla k zajištění přívodu zkapalněného plynu do odpařovače, určuje kapacita čerpadla maximální průtok, který je k dispozici pro zákazníka, a tudíž kapacita odpařovacího systému musí odpovídat kapacitě čerpadla. Signál nízké teploty se může použít k zastavení motoru čerpadla, a tím zařízení poskytnout systém vypínání při nízké teplotě.

## 8.8 Odpařovače s nízkou tepelnou setrvačností (LTB)

V důsledku extrémně velké rychlosti poklesu teploty vypouštěného plynu vystavenému pomocí odpařovačů LTB, např. u trubkových parních odpařovačů a odpařovačů s čerpanou tekutinou bez tepelné kapacity se jejich použití u nových instalací nedoporučuje. Tam, kde se uvažuje o jejich použití kvůli omezenému prostoru, se musí provést podrobné přezkoumání rizik, kterým se prokáže oprávněnost jejich použití.

## 8.9 Vyrovňovací nádrže a jejich umístění

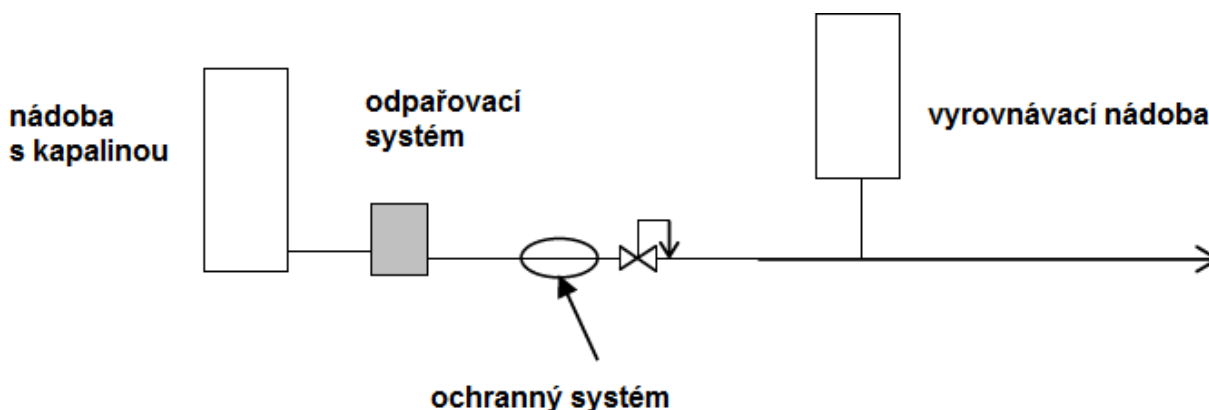
### 8.9.1 Umístění vyrovňovacích nádrží z uhlíkové oceli

Vyrovňovací nádrže vyrobené z uhlíkové oceli, které jsou nainstalované ve směru technologického toku za odpařovacími systémy, představují pro zaměstnance konkrétní nebezpečí kvůli zvýšené energii plynoucí z objemu plynu, který je zde přítomen při poruše nízké teploty, a v důsledku zvětšení oblasti, kde by mohlo dojít ke zranění nebo smrtelnému zranění následkem přetlakové vlny.

Kde se používají vyrovňovací nádrže, jejich umístěním musí minimalizovat nebezpečí vniknutí studené tekutiny do těchto vyrovňovacích nádrží. V závislosti na typu instalace jsou možná různá umístění v systému dodávky, jak je uvedeno v kapitolách 8.9.1.1 a 8.9.1.2.

#### 8.9.1.1 Typ instalace 1 – nepřetržitá dodávka

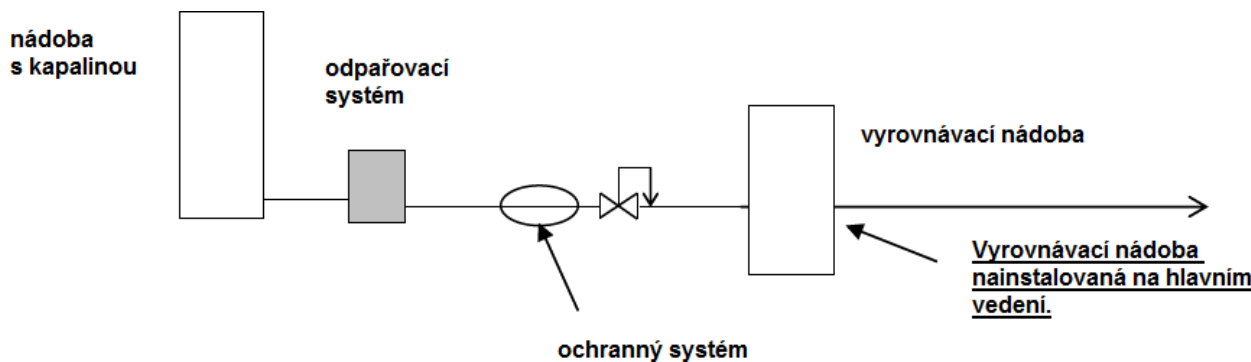
Instalace s nádobou na kapalinu, odpařovacím systémem a vyrovňovací nádobou: Kde je to možné, vyrovňovací nádoba by se neměla instalovat na hlavní vedení, ale na odbočkovém vedení, jak je uvedeno na Obr. 2 (Schéma 1). V této konfiguraci podléhá vyrovňovací nádoba menšímu nebezpečí vystavení se vlivu nízkých teplot v případě poruchy systému LTPS.



Pozn.: Tento obrázek a následující obrázky představují pouze systémy uspořádání a ochrany týkající se nebezpečí křehnutí vlivem nízké teploty.

**Obr. 2: Schéma 1 – Instalace vyrovňovací nádrže pro nepřetržitý provoz**

Pokud je vyrovňovací nádoba nainstalovaná na hlavním vedení, jak je uvedeno na Obr. 3 (Schéma 2), může studený plyn procházet přes vyrovňovací nádobu v případě poruchy systému LTPS, což má za následek zvýšenou pravděpodobnost vzniku nebezpečí křehnutí materiálu za studena.



**Obr. 3: Schéma 2 – Další možné instalace vyrovňovací nádrže pro nepřetržitý provoz**

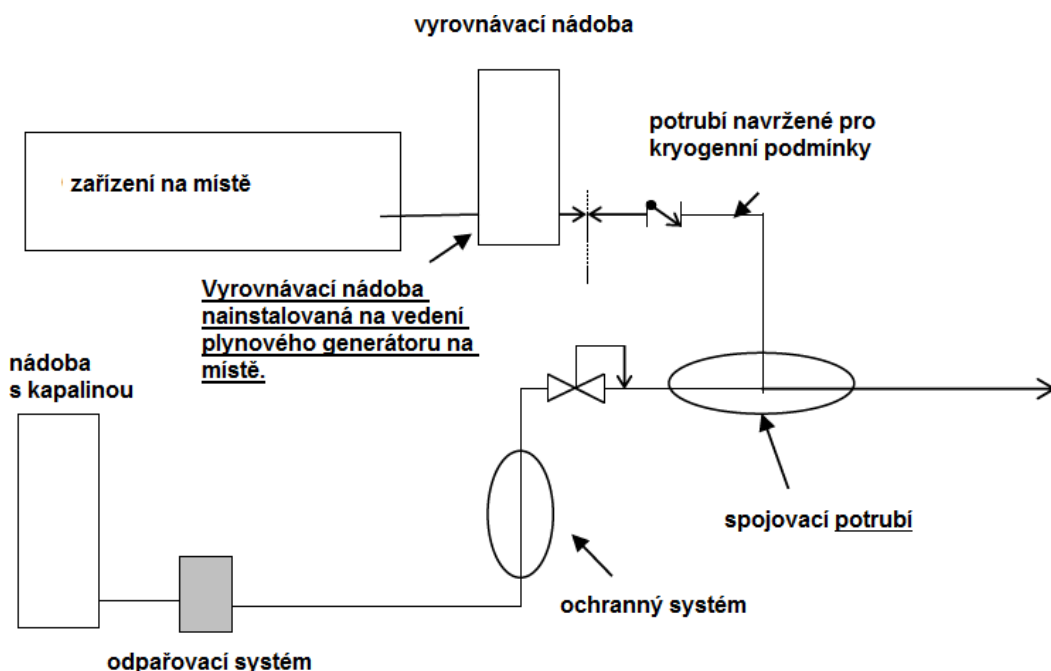
V obou případech (vyrovnávací nádoba je nainstalovaná na odbočkovém vedení nebo na hlavním vedení) musí být ochranný systém adaptovaný proti nebezpečí vzniku křehnutí za studena pro tyto vyrovnávací nádoby nainstalován ve směru toku před touto vyrovnávací nádobou.

### 8.9.1.2 Typ instalace 2: pouze záložní dodávka nebo záložní dodávka pro vykryvání špičkových odběrů

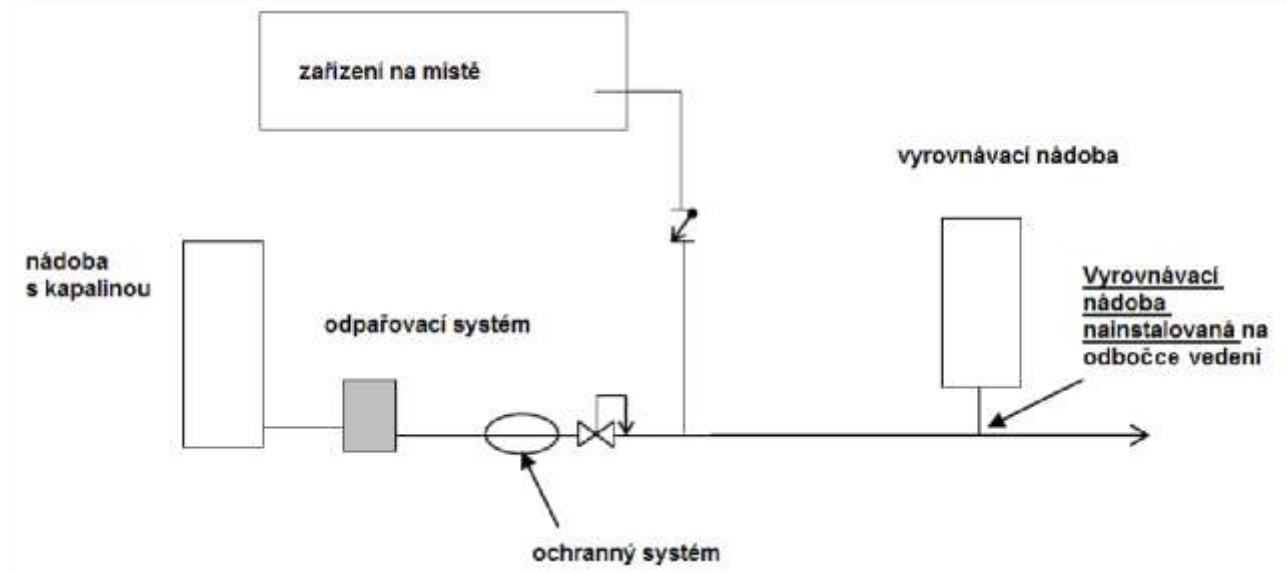
Instalace s nádobou na kapalinu, s odpařovacím systémem, generátorem plynu na místě, a s vyrovnávací nádobou:

Existují dvě možná umístění vyrovnávací nádoby:

- Nainstalujte vyrovnávací nádobu na vedení generátoru plynu na místě ve směru technologického toku před odpařovacím systémem, na vedení produktu nebo na odbočce hlavního vedení chráněném zpětným ventilem. Viz Obr. 4 (Schéma 3). V této konfiguraci je vyrovnávací nádoba umístěná na výstupním vedení ze zařízení. Na tomto místě, je vyrovnávací nádoba chráněna díky svému umístění.
- Vyrovnávací nádoba se může nainstalovat ve směru technologického toku za odpařovacím systémem (na odbočce hlavního vedení), ale v takovém případě se musí před touto vyrovnávací nádobou nainstalovat ochranný systém přizpůsobený riziku vzniku křehnutí za studena této vyrovnávací nádoby. Viz Obr. 5 (Schéma 4).



Obr. 4: Schéma 3 – Preferovaná instalace vyrovnávací nádoby pro záložní provoz



**Obr. 5: Schéma 4 – Jiná možná instalace vyrovnávací nádoby pro záložní provoz**

### 8.9.2 Umístění vyrovnávací nádoby vyrobené z materiálů odolávajících nízkým teplotám

Když je vyrovnávací nádoba vyrobená celá z materiálů vhodných pro kryogenní teploty, nejsou nutné pro umístění nádoby v potrubním vedení žádné speciální pokyny.

### 8.10 Různé odpařovače v paralelním zapojení

Různé odpařovače v paralelním zapojení (např. vzduchový odpařovač či vzduchové odpařovače využívající přirozené proudění okolního vzduchu jako záložní k odpařovači s vodní lázní s parním ohřevem, nebo přidání druhého odpařovače od jiného výrobce s jiným výkonem) mohou vytvářet situace vedoucí k nebezpečí.

Pokud hydraulické a tepelné parametry dvou odpařovacích systémů nejsou stejné, kryogenní kapalina přednostně proudí do menšího odpařovače, který obvykle vykazuje menší pokles tlaku.

Protože tento menší odpařovač začíná být chladnější a kapacita odpařování se sníží, tlakový spád se dále snižuje (kvůli většímu množství kapaliny v trubkách odpařovače).

Pokud toto pokračuje, veškerá kapalina bude proudit pouze do menšího odpařovacího systému, a druhý odpařovací systém nebude vůbec využíván.

Teplota na výstupu může poté klesnout pod konstrukční teplotu ve směru toku za odpařovačem, což vytváří nebezpečí.

Proto je důležité během uvádění do provozu vyrovnat průtoky mezi odpařovači pomocí seřízení vstupních a výstupních ventilů odpařovače, aby se zabránilo potenciálnímu nebezpečí.

## 9 Pokyny pro ochranu před nízkými teplotami

### 9.1 Systém nepřetržité dodávky

Tento typ systému se používá pro proces zákazníka nebo konečného použití, kde:

- Odstavení nebo vypnutí, které zcela přeruší procesní průtok k zákazníkovi, nemůže být bezpečně tolerováno.
- Kde se používá omezování průtoku, musí být akceptováno zákazníkem.

Požadavek nepřetržitého průtoku produktu k místu použití může být zajištěn jedním ze čtyř způsobů: viz kapitoly 9.1.1 až 9.1.4.

Kvůli důležitosti nepřetržité dodávky může být za určitých situací zvýšena spolehlivost dodávky pomocí instalace alarmu vysokého průtoku a/nebo nízké teploty. Kapitola 10.2 popisuje požadavky na odezvy na alarmy.

### 9.1.1 Materiály

V celém systému používejte kryogenicky kompatibilní materiály (např. nerezová ocel, vysokolegované niklové oceli, měď, vhodná těsnění) až k hranici rozsahu dodávky pro zákazníka. Zákazník musí být informován o tom, že systém až do místa konečného použití a včetně musí být také vyhovující pro použití za kryogenických podmínek. Základem tohoto přístupu je potřeba zajistit odpovídající přizpůsobení potrubí v celém teplotním rozsahu.

### 9.1.2 Redundantní systém

Používejte redundantní nezávislé systémy dodávky poskytující tok do stejných míst použití a může obsahovat kompatibilní materiály pro kryogenické podmínky. Každý nezávislý zdroj kryogenické dodávky musí být vybaven systémem LTPS.

### 9.1.3 Omezovací clona

V systému dodávky použijte omezovací clonu. Tato clona musí být dimenzována tak, aby omezovala průtok kapaliny po definované maximální časové období, aby nikdy nedošlo k přetížení odpařovače. Avšak toto si vyžaduje pečlivý výpočet. Toto řešení je použitelné pouze pro vzduchové odpařovače s využitím přirozeného proudění okolního vzduchu, jak je to definováno v kapitole 5.1, a doporučuje se, aby toto bylo omezeno pouze na instalace se stupněm závažnosti P1 nebo P2 v tabulce PV (tabulka 2), a se stupněm závažnosti nebezpečí H1 (tabulka 3). U tohoto řešení není třeba instalovat systémy ochrany před nízkými teplotami LTPS.

### 9.1.4 Škrťací ventil

Použijte škrťací ventil, jak je uvedeno v kapitole 8.5, k omezení průtoku tak, aby nikdy nebyla překročena kapacita odpařovačů. Ventil musí být navržen tak, aby se nemohl dostat do plně uzavřené polohy (např. použitím zařízení pro mechanické blokování). Tento minimální zbývající průtok musí být dostatečně malý, aby teplota na výstupu z odpařovače neklesla pod dovolenou minimální teplotu po určité definované časové období. Toto řešení je použitelné pouze pro vzduchové odpařovače s využitím přirozeného proudění okolního vzduchu, jak je definováno v kapitole 5.1 a doporučuje se, aby toto bylo omezeno pouze na instalace se stupněm závažnosti P1 nebo P2 v tabulce PV (tabulka 2), a se stupněm závažnosti nebezpečí H1 (tabulka 3). U tohoto řešení není třeba instalovat LTPS.

## 9.2 Požadavky na přetržitou dodávku

Kteroukoliv z výše uvedených metod ochrany před nízkými teplotami v kapitole „Nepřetržitý průtok“ lze použít v situacích, kde je možné přerušit průtok.

### 9.2.1 Přístroje vybavené systémy odstavení

U požadavků na přetržitou dodávku se obvykle vyskytují dva režimy odezvy:

- Okamžité odstavení (tj. před odstavením nedošlo k žádnému snížení průtoku).
- Zaškrcení, po kterém následuje odstavení.

Zvolený bod spuštění specifického odstavení při nízkých teplotách je funkcí použitého materiálu potrubí a použitých konstrukčních požadavků návrhu, jak je uvedeno níže.

### 9.2.2 Body nastavení teploty

#### 9.2.2.1 Nastavená hodnota odstavení

Uhlíková ocel nebo jiné materiály, které nejsou určené pro použití při teplotách kryogenních nebo studených tekutin, musí být chráněné před stykem s kryogenní kapalinou. Při stanovování vhodnosti materiálů pro použití u odpařovacích systémů by se měly brát v úvahu národní normy a sbírky norem pro tlakové nádoby a potrubí.

Například, ASME B31.3, *Procesní potrubí* [7] definuje minimální provozní teploty některých jakostních druhů uhlíkové oceli na  $-29\text{ }^{\circ}\text{C}$ , pokud se používají hodnoty maximálního pnutí podle normy ASME bez provedení zkoušky rázem podle Charpyho. Také dovoluje použít jiné jakosti stupně při nižších teplotách, pokud jsou splněna přísnější kritéria.

Rázové zkoušky uhlíkových ocelí (výslovně takové uhlíkové oceli zkoušené rázem, které splňují pouze minimální požadavky ASTM, ASME nebo API) nezaručují odolnost proti křehkému lomu, ale jemnozrnná struktura těchto „nízkoteplotních“ ocelí poskytuje určitou odolnost proti iniciaci křehkého lomu.



Volba materiálu a tudíž nastavení teploty, při které pracuje nízkoteplotní zařízení, by měly být určované podmínkami okolí a veškerými tolerancemi nebo zpožděními systému snímání teploty, aby se zajistilo, že nedojde k překročení minimální přípustné teploty. Jako minimum se toto kritérium musí používat pro potrubí až k mezní hranici dodávky zákazníka a včetně ní. Zákazník musí být upozorněn na to, že je odpovědný za dodržování mezních hodnot zařízení na straně zákazníka.

Kde platí jiné zákony, body nastavení spuštění LTPS (odstavení zařízení) měly být určovány podobným postupem.

Není vhodné nastavovat teplotu odstavení zařízení nižší, než je konstrukční teplota ve směru toku za zařízením. Teplota odstavení zařízení obvykle bude nastavena na vyšší teplotu.

„Ochranné zařízení“ by se mělo nainstalovat takovým způsobem, aby se zajistilo, že nelze manuálně nastavovat požadovanou teplotu odstavení zařízení, bez dodržování požadavků na řízení změn (MOC) a bez schválení od majitele systému.

### 9.2.2 Nastavená hodnota omezení průtoku

Zaškrnutí průtoku (pokud se používá) se spustí při definované teplotě, která je vyšší, než je zvolený bod nastavení spuštění LTPS. Použitou teplotu požadované hodnoty škrnutí ovlivňuje:

- Omezení měřicího rozsahu přístrojového systému pro měření teploty.
- Vlivy okolní teploty.
- Hodnota, na kterou teplota může klesnout při maximální průtokové rychlosti.

### 9.2.3 Systémy ochrany před nízkými teplotami (LTPS)

„Pozvolna“ reagující ovladače LTPS, které přiměřeně odpovídají charakteristikám poklesu teploty odpařovače, s ohledem na všechny předvídatelné funkční poruchy, jsou pro tyto aplikace vhodné.

Vzdálenost mezi snímačem LTPS a vypínacím zařízením se musí definovat pomocí doby odezvy přístrojového vybavení LTPS a rychlosti toku tekutiny.

## 9.3 IEC 61511

Norma IEC 61511 pro Funkční bezpečnost – Bezpečnostní přístrojové systémy pro sektor průmyslových procesů [5] byla vydána v roce 2003 jako zavedení procesního sektoru základní normy IEC 61508, která se zaměřuje na bezpečnostní přístrojové systémy založené na použití elektrické/elektronické/programovatelné elektronické technologie. Norma podporuje koncepci, že jsou bezpečnostní přístrojové funkce specifikovány, navrhovány, integrovány a ověřovány na základě vyhodnocení rizik. Jednou částí této specifikace je stanovit potřebnou Úroveň integrity bezpečnosti (SIL) každé funkce.

Řešení uvedená v kapitole 10 jsou založena spíše na přístupu kvalitativního hodnocení rizik s použitím správné praxe průmyslového designu a mnohaletých zkušeností v plynárenském průmyslu, než na přístupu uvedeném v normě IEC 61511. Nicméně norma IEC 61511 se může použít jako metoda podporující vyhodnocení rizik a proces návrhu systému, jak je uvedeno v této publikaci.

## 10 Řešení

Požadavky na ochranu před nízkými teplotami u odpařovačů jsou uvedeny v Tabulkách 6.1, 6.2 a 6.3.

### 10.1 Všeobecné pokyny pro LTPS

Předchozí vyhodnocení rizik prokázala, že systémy ochrany před nízkými teplotami musí být instalovány tam, kde existuje nebezpečí křehnutí v důsledku působení nízkých teplot. Pravděpodobnost poruchy systému při požadavku na jeho činnost u LTPS by měla být přiměřená úrovni pravděpodobnosti, s jakou dojde k výskytu jevu nízké teploty, důsledků takového křehnutí a přítomnosti jakýchkoliv jiných zabezpečovacích ochrann. Jako obecné pravidlo platí, že systém musí být chráněn tak, aby se zabránilo tomu, že potrubí a zařízení ve směru toku za odpařovačem se příliš ochladí pomocí detekce nízkých teplot na výstupu z odpařovače, a také:

- Pomocí automatického odstavení odpařovacího systému s použitím jednoho nebo více zařízení pro odstavení a s použitím jednoho nebo více přístrojů pro detekci teploty.

- Nebo podle popisu uvedeného v tabulkách, zajištěním alarmů při nízkých teplotách jako ochrany při specifických situacích, s ohledem k požadavkům na odezvu, jak je uvedeno v kapitole 10.2.

K aktivaci alarmu podléhajícímu požadavkům na odezvu, jak je uvedeno v kapitole 10.2, se může také použít jeden nebo více snímačů na pomocném technickém vybavení (např. spínač nízkého průtoku vody, tlakový spínač nízkého tlaku páry, atd.).

## 10.2 Odezva na alarmy

V případech, kde Tabulka 6.1, 6.2 nebo 6.3 indikuje, že systémy ochrany před nízkými teplotami LTPS mohou být vybaveny alarmy, je důležité, aby příslušné místo bylo dosažitelné pro operátora provozu, pro technika údržby nebo pro vyškoleného pracovníka zákazníka v dostatečném čase pro zajištění odezvy na stav alarmu nízké teploty, aniž by došlo k jejich ohrožení kvůli nebezpečným situacím. Signál alarmu musí být odeslán na místo, kde je obsluha po 24 hodin denně. Když se spustí alarm, musí být na místě k dispozici Plán pro mimořádné případy a příslušné administrativní postupy, aby se zabránilo křehkému lomu. To může zahrnovat přepínání mezi paralelně zapojenými řadami vzduchových odpařovačů využívajících přirozené proudění okolního vzduchu, omezení průtoku pro zákazníka, zvýšení přívodu příslušných médií a energií, spuštění redundantního odpařovacího systému atd.

Tam, kde nelze dosáhnout příslušného místa v dostatečně krátké době nebo nelze zajistit odpovídající odezvu na místě, je nutné odstavení zařízení z důvodu nízké teploty.

## 10.3 Doporučená řešení pro specifické situace

Tabulky 6.1, 6.2 a 6.3 uvádějí kvalitativní hodnocení systémů ochrany před nízkými teplotami vzhledem ke vnímaným rizikům výskytu nízkých teplot, která se zakládají na zkušenostech členů EIGA, přičemž se berou v úvahu sekundární efekty vyplývající z uvolnění plynu stejně jako tlaková vlna a relativní pravděpodobnost výskytu takového jevu, a současně se bere v úvahu provozní model a typ odpařovače.

Ve všech případech se musí provádět zdokumentované přezkoumání rizik. Obecně použitelná přezkoumání rizik se mohou rozpracovat pro standardní provedení a instalační místa. Obecně použitelné přezkoumání rizik by mělo platit pro přezkoumávané zařízení, a měly by se označit a určit rozdíly. V následujících tabulkách jsou uvedeny doporučené minimální ochranné systémy pro definované situace.

Specifické přezkoumání rizik může doporučit použití dalších alarmů. Počet a typ alarmů bude záviset na typu odpařovače. Alarmy by se měly zvážit kvůli výpadku jakékoli obslužné jednotky.

Možná bude nutné provádět pravidelná přezkoumání se zákazníkem ohledně spotřeby odpařovacího systému, a mohlo by být nutné modifikovat systém ochrany před nízkými teplotami LTPS, aby se podchytily změny ve spotřebě, nebo by mohlo být nutné přidat další odpařovací kapacitu.

V Tabulkách 6.1, 6.2 a 6.3 nejsou uvedeny všechny možnosti systému ochrany před nízkými teplotami LTPS.

Další možnosti jsou uvedeny v kapitole 9, jako např. použití škrtících ventilů, clon atd., a tyto možnosti se také mohou brát v úvahu při vyhodnocování rizik pro instalaci.

**Tabulka 6.1 – Doporučená volba LTPS – Stupeň P1 závažnosti PB**

Stupeň závažnosti nebezpečí Tabulka 3	Pravděpodobnost nízké teploty Tabulka 4	Provozní model Tabulka 5	Řešení LTPS
H1	L1	S1 a S2	Jestliže specifické přezkoumání rizik prokáže, že je to nutné, měl by být nainstalován alarm nízké teploty nebo snímač nízké teploty a vypínací zařízení. V případech, kdy se riziko považuje za nízké, alarm a/nebo vypínací zařízení nejsou nutná.
H1	L2	S1	Odpařovače s vodní lázní pro záložní provoz by v této kategorii měly být vybaveny minimálně snímačem nízké teploty a vypínacím zařízením. Vzduchové odpařovače využívající přirozené proudění okolního vzduchu

			s přídatnými ohřivači pro záložní provoz nebo s přepínacími systémy a odpařovače s ventilátorem by v této kategorii měly být minimálně vybaveny alarmem nízké teploty.
H1	L2	S2	Odpařovače s vodní lázní, odpařovače opatřené ventilátory a vzduchové odpařovače využívající přirozené proudění okolního vzduchu s přídatnými ohřivači nebo s přepínacími systémy v nepřetržitém provozu nebo při provozu pro pokrytí špiček odběru v této kategorii by měly být minimálně vybaveny snímačem nízké teploty a vypínacím zařízením.
H3	L1	S1 a S2	Tato kategorie vzduchových odpařovačů využívajících přirozené proudění okolního vzduchu by měla být minimálně vybavena snímačem nízké teploty a vypínacím zařízením.
H3	L2	S1 a S2	Tyto odpařovače HTB by měly být vybaveny minimálně dvěma snímači nízké teploty a dvěma nezávislými vypínacími zařízeními.

POZNÁMKA: - definice P1 až P3, H1 až H3, L1 a L2 a S1 a S2 jsou uvedené v Tabulkách 2, 3, 4 a 5.

Tabulka 6.2 – Doporučená volba LTPS – Stupeň P2 závažnosti PV

Stupeň závažnosti nebezpečí Tabulka 3	Pravděpodobnost nízké teploty Tabulka 4	Provozní model Tabulka 5	Řešení LTPS
H1	L1	S1	U vzduchových odpařovačů využívajících přirozené proudění okolního vzduchu v záložním provozu v této kategorii by měl být minimálně nainstalovaný alarm nízké teploty. Pokud specifické přezkoumání rizik prokáže, že je to nutné, měly by se přidat snímač nízké teploty a vypínací zařízení.
H1	L1	S2	U vzduchových odpařovačů využívajících přirozené proudění okolního vzduchu v nepřetržitém provozu nebo při provozu pro pokrytí špiček odběru v této kategorii by měly být minimálně nainstalovány snímač nízké teploty a vypínací zařízení. Specifické přezkoumání rizik může doporučit použití dalších alarmů výskytu nízké teploty.
H1	L2	S1 a S2	Odpařovače s vodní lázní, odpařovače s ventilátorem a vzduchové odpařovače využívající přirozené proudění okolního vzduchu s přídatnými ohřivači nebo s přepínacími systémy v této kategorii by měly být minimálně vybaveny snímačem nízké teploty a uzavíracím vypínacím zařízením. Snímač na přívodech energií nebo médií by měl být vybaven alarmem.
H2	L1	S1 a S2	Tyto vzduchové odpařovače využívající přirozené proudění okolního vzduchu by měly být minimálně vybaveny snímačem nízké teploty a vypínacím zařízením.
H2	L2	S1	Odpařovače s vodní lázní pro záložní provoz, odpařovače s ventilátorem pro záložní provoz a vzduchové odpařovače využívající přirozené proudění okolního vzduchu s přídatnými ohřivači pro záložní provoz nebo s přepínacími systémy v této kategorii, by měly být minimálně vybaveny snímačem nízké teploty a vypínacím zařízením. Snímač na pomocném technickém vybavení by měl být vybaven alarmem.
H2	L2	S2	Odpařovače s vodní lázní, odpařovače s ventilátorem a vzduchové odpařovače využívající přirozené proudění okolního vzduchu s pomocnými ohřivači nebo s přepínacími systémy v nepřetržitém provozu nebo při provozu s vykříváním špičkových zatížení by měly být minimálně vybavené 2 nebo více nezávislými snímači nízké teploty, z nichž každý spouští minimálně jedno vypínací zařízení.
H3	L1	S1 a S2	Tato kategorie vzduchových odpařovačů využívajících přirozené proudění okolního vzduchu by měla být vybavena minimálně dvěma snímači teploty, z nichž každý bude spouštět jedno vypínací zařízení.
H3	L2	S1 a S2	Tyto odpařovače HTB by měly být vybaveny minimálně dvěma snímači teploty, z nichž každý bude uzavírat dva nezávislé uzavírací ventily.

POZNÁMKA: - definice P1 až P3, H1 až H3, L1 a L2 a S1 a S2 jsou uvedené v Tabulkách 2, 3, 4 a 5.

Tabulka 6.3 – Doporučená volba LTPS – Stupeň P3 závažnosti PV

Stupeň závažnosti nebezpečí Tabulka 3	Pravděpodobnost nízké teploty Tabulka 4	Provozní model Tabulka 5	Řešení LTPS
H1	L1	S1 a S2	Tyto vzduchové odpařovače využívající přirozené proudění okolního vzduchu by měly být minimálně vybaveny snímačem nízké teploty a vypínacím zařízením. Tento snímač by měl poskytnout výstražnou signalizaci nízké teploty.
H1	L2	S1	Tyto odpařovače HTB by měly být minimálně vybaveny dvěma snímači teploty, z nichž každý bude spouštět vypínací zařízení.
H1	L2	S2	Tyto odpařovače HTB by měly být minimálně vybaveny dvěma snímači teploty, z nichž každý bude spouštět vypínací zařízení. Snímač na pomocném technickém vybavení by měl být vybaven alarmem.
H2	L1	S1 a S2	Tyto vzduchové odpařovače využívající přirozené proudění okolního vzduchu by měly být minimálně vybaveny snímačem nízké teploty a vypínacím zařízením. Snímač by měl zajistit alarm nízké teploty.
H2	L2	S1	Tyto odpařovače HTB by měly být vybaveny minimálně dvěma snímači teploty, z nichž každý bude spouštět jedno vypínací zařízení. Snímač na pomocném technickém vybavení by měl být vybaven alarmem.
H2	L2	S2	Tyto odpařovače HTB by měly být vybavené minimálně dvěma snímači teploty, z nichž každý bude spouštět dvě nezávislá vypínací zařízení.
H3	L1	S1 a S2	Tato kategorie vzduchových odpařovačů využívajících přirozené proudění okolního vzduchu by měla být vybavena minimálně dvěma snímači teploty, z nichž každý bude spouštět dvě nezávislá vypínací zařízení.
H3	L2	S1 a S2	Tyto odpařovače HTB by měly být vybaveny minimálně dvěma snímači teploty, z nichž každý bude spouštět dvě nezávislá vypínací zařízení. Snímač na pomocném technickém vybavení (např. snímač průtoku nebo tlaku) by měl být vybaven alarmem.

POZNÁMKA: - definice P1 až P3, H1 až H3, L1 a L2 a S1 a S2 jsou uvedené v Tabulkách 2, 3, 4 a 5.

## 11 Provoz

### 11.1 Monitorování spotřeby

Monitorování spotřeby může významným způsobem přispět k bezpečnému provozu odpařovacího systému. Od původního smluvního ujednání a původního návrhu systému se budou požadavky zákazníků často zvyšovat, protože jejich obchodní činnost obvykle vzrůstá.

Existují dva parametry, které by se měly monitorovat:

- Zaprvé průtok, který představuje jeden z klíčových konstrukčních parametrů návrhu při dimenzování odpařovacích systémů. Jakékoliv zvýšení spotřeby u zákazníka může způsobit přetížení odpařovače, což by mohlo mít za následek rizikový stav.
- Zadruhé model využití, který má také významný vliv na schopnost odpařovacího zařízení. Toto by se mělo vzít v úvahu ve fázi návrhu, ale také monitorovat, aby se zajistilo, že jakákoliv změna v modelu využití je v případě potřeby sledována a vyhodnocována.

Vliv zvýšení spotřeby u odpařovacích systémů může být často maskován, zejména u systémů využívajících okolního prostředí, kde budou příznivé podmínky okolního prostředí kompenzovat zvýšené požadavky, a problém se může projevit pouze za chladnějších okolních podmínek.

Monitorování spotřeby je možné dosáhnout řadou různých způsobů včetně místního měření průtoku a souhrnu průtoku nebo monitorováním stupně spotřeby kapaliny.

Měření průtoku umožní provádět podrobnější analýzu spotřeby kapaliny. Měření průtoku může poskytnout okamžité alarmy vysokého průtoku nebo alarmy vysokého průtoku zprůměrované v čase, nebo může zajistit vstup pro funkci regulace omezování průtoku.

Monitorování spotřeby kapaliny se obvykle provádí jako metoda plánování dodávek kapaliny do skladovacího zásobníku zákazníka. Monitorování skladování na dálku je možné dosáhnout pomocí telemetrických systémů, které zaznamenávají hladinu kapaliny a mohou vypočítat rychlost změny hladiny kapaliny ve skladovací nádrži. Toto monitorování lze také zajistit ručním zaznamenáváním hladiny kapaliny ve skladovacím zásobníku nebo kontrolou frekvence dodávek kapaliny. Je možné poskytnout automatické alarmy vytvářené softwarem pro monitorování, nebo je možné provádět pravidelné přezkoumání spotřeby kapaliny, aby se zajistilo, že spotřebitelská poptávka nepřekračuje konstrukční parametry systému.

Při monitorování spotřeby by se měly brát v úvahu následující parametry:

- Parametry odpařovacího systému.
- Příslušné úrovně alarmu pro alarmy vysoké míry spotřeby.
- Časové období, ve kterém by měly být nastaveny alarmy vysoké míry spotřeby (okamžité, hodinové, denní, týdenní, atd.), což bude záviset na aplikaci u zákazníka a na modelu použití.
- Činnost, která se má provést, pokud se zjistí vysoká spotřeba, zda se má spustit přezkoumání návrhu nebo urgentnější činnost, když se zvýšení pohybuje významně nad hodnotami návrhu.

Kde bezpečný provoz odpařovacího systému využívajícího přirozené proudění okolního vzduchu závisí pouze na provozu v rámci konstrukčních omezení a kde:

- Neexistuje systém vypnutí při nízkých teplotách.
- Není nainstalovaný alarm nízké teploty.
- Není zabudované žádné zařízení omezující průtok.
- Systém není zkonstruovaný kompletně z materiálů vhodných pro kryogenné teploty.

Poté by se měla být aplikovat metoda monitorování spotřeby

## 12 Pravidelná kontrola, kalibrace a testování

Provádění pravidelných kontrol, kalibrací a testování odpařovacího zařízení a ochranných systémů je důležité pro udržení spolehlivosti funkce na ochranu před nízkými teplotami. Pro každý systém se musí vypracovat vhodné intervaly a pracovní postupy pro provádění kontrol, kalibrace a testování a pracovní postupy, které budou nezávislé na návrhu systému, typu zařízení a vhodnosti systému k práci.

Tam, kde je plánovaná perioda jednotlivých odstavení potrubní dodávky delší než perioda zkoušky odolnosti požadovaného systému LTPS, měl by být systém navržen tak, aby bylo možné provést testování systému ochrany před nízkými teplotami bez přerušení dodávky k zákazníkovi.

Pracovní postup testování by měl také brát v úvahu opatření proti neplánovanému přerušení dodávky k zákazníkovi a pro odpojení jakýchkoli blokování na vypínacích zařízeních, pokud se testování provádí online.

Zařízení nainstalované na ochranu před nízkými teplotami by mělo být zahrnuto do systému plánování údržby. Pro systém ochrany před nízkými teplotami by se mělo pravidelně plánovat provedení preventivní údržby (PM) pomocí systému údržby.

### 12.1 Pravidelná kontrola

Pravidelně provádějte vizuální kontrolu a prohlídku veškerého přístrojového vybavení pro regulaci teploty a odpařovač kvůli:

- Nadměrné tvorbě ledu.
- Namrzání potrubního vedení.

- Fyzickému poškození komponentů odpařovacího systému.
- Únikům procesní tekutiny nebo prosakování médií obslužných technických vybavení.
- Jakýmkoli zjevným změnám, které mohou ovlivnit provoz odpařovacího systému;
- Změnám v okolním prostředí odpařovače, jako jsou stěny nebo budovy okolo vzduchových odpařovačů využívajících přirozené proudění okolního vzduchu;
- Ucpání u větracích otvorů kontrolního přístrojového vybavení (např. hmyz nebo hnízda, sutiny atd.).
- Nastavení požadované hodnoty teploty vypínání a/nebo požadované hodnoty škrce ní.
- Funkčnost vypínacích zařízení (tj. výstupní ventil odpařovače, vstupní ventil odpařovače nebo vypnutí pohonu čerpadla).
- Poškození propojovacího potrubí, vedení atd.

Na četnost prohlídek by měly mít vliv následující faktory:

- Typ odpařovače.
- Hodnoty průtoku a modely použití.
- Četnost alarmů nízké teploty nebo vypnutí za provozu.
- Absence alarmů nízké teploty nebo vypínacích systémů.
- Závažnost okolních povětrnostních podmínek potenciálně ovlivňujících výkon (např. extrémně nízké teploty, extrémně vysoká vlhkost).

## 12.2 Pravidelná kalibrace a testování

U veškerého přístrojového vybavení a ovladačů (regulátorů) na ochranu před nízkými teplotami se musí provádět preventivní údržba (PM), kalibrace a testování funkčnosti v pravidelných intervalech stanovených jednotlivými společnostmi. Každá společnost musí používat výsledky vyhodnocení rizik ke stanovení intervalů testování funkčnosti (viz kapitola 6.2). Kalibrace a testování by měly zahrnovat body uvedené v kapitolách 12.2.1 a 12.2.2.

### 12.2.1 Provozní kontroly a kalibrace

Provozní kontroly, kalibrace a testování by měly zahrnovat:

- Přezkoušení (kontrola) všech místních indikátorů teploty pro výstup odpařovače a teploty potrubí.
- Kalibraci všech snímačů teploty nebo teplotních spínačů.
- Přezkoušení (kontrola) správného provozu logických prvků (např. relé, PLC).
- Přezkoušení (kontrola) chodu teplotou řízených regulačních ventilů a vypínacích zařízení podle konstrukční specifikace.
- Testování funkčnosti alarmů teploty ohledně jejich řádného provozu.
- Funkční testování celého cyklu LTPS pro zajištění toho, že se konečný regulační prvek zavře, pokud teplota klesne na bod nastavení vypnutí a zda se zastaví procesní průtok.

### 12.2.2 Varianta kalibrace, která se neprovádí v terénu

Když není praktické provést kalibraci komponentů v terénu nebo zkoušku funkčnosti LTPS, zařízení se může odeslat zpět výrobci nebo na vhodné místo pro provedení kalibrací, zkoušky funkčnosti, přezkoušení, oprav atd.

Vzhledem k tomu, že provoz bez teplotní ochrany není možný, je nutné mít k dispozici kalibrované zařízení na výměnu za zařízení z provozu.

Pro zajištění toho, že bude celý cyklus fungovat dle požadavku, může se provést funkční kontrola cyklu na zařízení nebo v terénu simulací teplotního signálu s ujištěním se, že koncové vypínací zařízení funguje dle specifikace, a úplně zastaví technologický proces.

Ve všech případech by měly být zdokumentovány záznamy o zkouškách pro každou instalaci. Záznamy o zkouškách funkčnosti se musí uchovávat během celé doby životnosti odpařovacího systému.

### 13 Školení pro zaměstnance plynářské společnosti

Následující osoby by měly být proškoleny, aby si uvědomily možné příčiny a důsledky nebezpečí plynoucího z křehnutí materiálů v důsledku působení nízkých teplot:

- Projektanti, kteří jsou odpovědní za instalaci odpařovacích systémů a systémů ochrany před nízkými teplotami LTPS.
- Vedoucí údržby a technici, kteří jsou odpovědní za údržbu odpařovacích systémů a za pravidelné provádění testování funkčnosti systému ochrany LTPS.
- Pracovníci obsluhy a dozoru nad zařízením, kteří jsou zodpovědní za provoz zařízení a přidružených záložních systémů.
- Konstrukteři, kteří jsou odpovědní za vývoj technologických schémat a specifikací odpařovacích systémů a systémů ochrany LTPS, musí být také takto proškoleni, a navíc by měli mít znalosti o příslušných konstrukčních normách pro systémy ochrany před nízkými teplotami.

### 14 Informovanost zákazníka

#### 14.1 Smlouva se zákazníkem

Pro návrh a provoz odpařovacího systému se musí vzájemně prodiskutovat mezi zákazníkem a plynářskou společností následující informace:

- Odhadované průtoky a modely použití.
- Konstrukční výkon odpařovacího systému a teplotní extrém, o kterých se dá předpokládat, že se vyskytnou na systému zákazníka.
- Odezva na nouzový stav, kdy náhodně dojde k náhlému zvýšení průtoku na stanovišti zákazníka.
- Pracovní postup, který se má zavést včetně doby předeřívání, když se ze strany zákazníka zvyšuje požadavek na dodávku plynu.
- Kontaktní osoba plynářské společnosti a telefonní číslo pro případ nouze.
- Odpovědnost za údržbu, kontroly, atd. pro instalaci odpařovače.

Kromě toho by měla smlouva se zákazníkem specifikovat použitou metodu ochrany před nízkými teplotami, jako je:

- Zastavení průtoku.
- Snížení průtoku před jeho zastavením.
- Pouze snížení průtoku.
- Nepřetržitý průtok bez jakékoliv ochrany před nízkými teplotami.

Zákazník musí být informován o zvolené metodě a jejích důsledcích na spolehlivost dodávky a návrh systému na straně zákazníka od rozhraní. Zákazník by si měl také uvědomovat požadavek na pravidelné zkoušení všech namontovaných ochranných zařízení, které si v případě potřeby může vyžádat přerušení dodávky (plynu).

Dodavatel plynu musí vždy písemnou formou informovat svého zákazníka, když smlouva na objemovou dodávku plynu specifikuje, že v rozsahu projektu není zahrnuta ochrana před nízkými teplotami, a že existuje nebezpečí poruchy potrubí a zařízení nainstalovaných ve směru technologického toku za odpařovacím zařízením, jestliže zákazník překročí konstrukční kapacitu odpařovače. V projektových záznamech se musí uchovávat kopie dokumentace indikující schválenou volbu systému ochrany před nízkými teplotami.



## 14.2 Školení zákazníka a informace pro zákazníka

Dodavatel plynu musí poskytnout zákazníkovi příslušné informace a informační/školící materiál včetně příslušných Bezpečnostních listů. Důrazně se doporučuje, aby dodavatel plynu také proškolil všechny zaměstnance zákazníka, kteří se podílejí na monitorování nebo na údržbě instalace odpařovače. Takové školení by mělo zahrnovat:

- Informace o vlastnostech plynu včetně kryogenických rizik.
- Rizika a bezpečnostní opatření ohledně materiálu, který je vystaven působení nízkých teplot.
- Důsledky náhodného uvolnění plynu nebo kapaliny.
- Vhodné postupy pro nouzové případy, včetně činností, která je třeba podniknout, jako je například evakuace nejbližší oblasti.
- Jakékoliv smluvně definované činnosti údržby a kontroly.

## 15 Reference

- [1] NFPA 55 – *Zásady pro stlačené plyny a kryogenní kapaliny*, Národní asociace protipožární ochrany, 1  
Batterymarch Park, P.O. Box 9101, Quincy, MA 02269-9101, USA
- [2] NFPA 86 – *Norma pro průmyslové trouby a pece*, Národní asociace protipožární ochrany,  
1 Batterymarch Park, P.O. Box 9101, Quincy, MA 02269-9101, USA
- [3] EN ISO 7396-1: – *Potrubní rozvody medicinálních plynů – Část 1: Potrubní rozvody pro stlačené  
medicinální plyny a podtlak*, CEN Evropský výbor pro normalizaci, European Committee for Standardization  
36, rue de Stassart, B – 1050 Brusel, Belgie
- [4] NFPA 99 – *Norma pro zdravotnická zařízení*, Národní asociace protipožární ochrany,  
1 Batterymarch Park, P.O. Box 9101, Quincy, MA 02269-9101, USA
- [5] IEC 61511 – *Funkční bezpečnost – Bezpečnostní přístrojové systémy pro sektor průmyslových procesů –  
všechny části*, Mezinárodní Elektrotechnická komise (IEC), International Electrotechnical Commission, 3, rue de  
Varembé, P.O. Box 131, CH – 1211 Ženeva 20, Švýcarsko
- [6] Směrnice 97/23/ES Evropského parlamentu a Rady ze dne 29. května 1997 o sbližování právních předpisů  
členských států týkajících se tlakových zařízení, Evropská komise, DG Enterprise – G.4.
- [7] ASME B31.3 – 2002 – *Procesní potrubí*, Americká společnost strojních inženýrů (ASME), Three, Park  
Avenue, New York, NY 10016 – 5990, USA