

Bezpečnost práce s kryogenním zařízením

NFPL095
ZS 2010/11

A – fyziologické účinky

B – chemické účinky

C – fyzikální účinky

A- Fyziologické účinky

1 – zacházení se zkapalněnými plyny:

Nebezpečí – dotek prochlazených kovových součástí
(vysoká tepelná kapacita a tepelná vodivost) - popáleniny

- prodloužené chlazení kapalinou nasáklou ve tkanině
- proud kapaliny pod tlakem

Kůži před popálením při polití kryogenní kapalinou při krátkodobém působení chrání vrstva par s nízkou tepelnou vodivostí

- Leidenfrostův jev

2 – Změna složení atmosférického vzduchu vlivem odparu kryogenní kapaliny

Normální složení suchého vzduchu (obj. %)

N ₂	O ₂	Ar	CO ₂	Ne	He	Kr	H ₂
78,08	20,95	0,93	0.1	0,002	0,0005	0,0001	0,00005

Nebezpečí – pokles relativní koncentrace kyslíku v uzavřeném prostoru při odparu kryogenní kapaliny

14 – 12 %	obtíže dýchání (ischemická choroba)
12 – 10 %	závratě, poruchy uvažování
10 – 8 %	nevolnost, zvracení, bezvědomí
8 – 6 %	úmrtí(100 %) po 8 minutách působení, možná úspěšná resuscitace po 4 – 5 minutách expozice
4 %	smrt nastává po 40 vteřinách

Ochrana– účinné větrání, kontrola složení atmosféry

B – Chemické účinky

Hoření nebo výbuch – odpařený vodík nebo metan ve směsi s kyslíkem nebo vzduchem

	H ₂ (%)	Metan (%)
Hoření v O ₂	4 – 96	5 – 61
Hoření ve vzduchu	4 – 75	5 - 15
Výbuch v O ₂	15 – 90	
Výbuch ve vzduchu	20 - 65	

Energie jiskry ~ 20 μ J – dostatečná k zapálení směsi
např. elektrickým výbojem

Některé kovy: hliník, hořčík, titan – se stávají hořlavými
v atmosféře s vysokou koncentrací kyslíku

C – Fyzikální účinky

Chlazení – vzrůst Youngova modulu kovů, zvýšení tvrdosti, vzrůst křehkosti, pokles meze pevnosti a křehkého lomu, bod zeskelnění plastů

Bezpečnostní opatření – použití vyšších (150 %) bezpečnostních pevnostních koeficientů při návrhu konstrukce

Vyloučit použití – uzavřených zásobníků zkapalněných plynů
(viz poměr objemů par a kapaliny)

Pojistné ventily – přetlakové ventily s pružinou, Bunsenův ventil, trhací membrána

Důležité – Je třeba opatřit pojistným ventilem jak prostor s kapalinou, tak i vakuový izolační prostor

– je třeba zabránit vytvoření ledové zátky v potrubí odcházejících chladných par

Mechanická pevnost kryogenních nádob

Válcový plášť s **vnitřním** přetlakem

minimální tloušťka stěny s

$$s \approx \frac{pD}{2\sigma_D}$$

D – průměr, p – tlak

povolené napětí $\sigma_D = \sigma_k/x$,

σ_k – mez pevnosti [$\text{MN}\cdot\text{m}^{-2}$],

bezpečnostní koeficient $x = 1.5$ pro oceli, $x = 3.5$ for Al, Cu a slitiny

Válcový plášť s **vnějším** přetlakem

$x = 2$ pro oceli, $x = 5$ for Al, Cu a slitiny

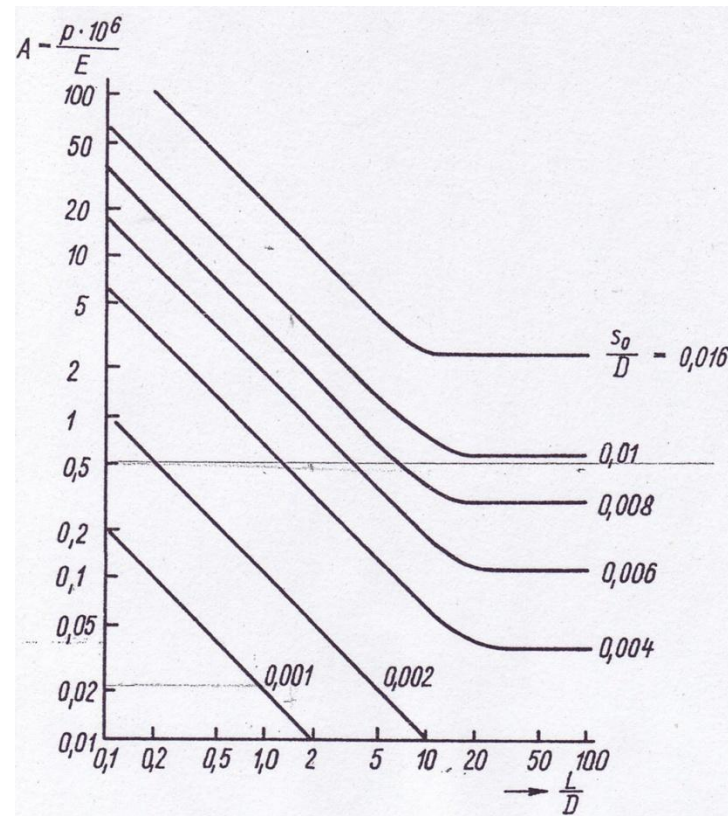
Nebezpečí elastické nestability v dlouhých tenkostěnných válcích

pro $D < 0,6$ m se používá nomogram k určení minimální tloušťky stěny s_0

factor A je určen jako $A = 10^6 \cdot p/E$, E – je Youngův modul [$\text{MN} \cdot \text{m}^{-2}$].
p je přetlak [MPa]

Pro zadaný poměr L/D se určí s_0
(nomogram je spočten pro $x = 4$)

Pro zpevnění dlouhých trubek
se užívají vnější kroužky nebo
protlačovaná kruhová zpevnění.



Kulové nádoby

s vnitřním přetlakem:

-tloušťka stěny $s > p \cdot D / 4 \cdot \sigma_D$

s vnějším přetlakem:

užívá se bezpečnostní koeficient násobený 1,3

Kriterium stability proti implozi

$$s \geq D \left(\frac{p}{0.4E} \right)^{1/2}$$

Tloušťka plochého kruhového dna nebo víka

$$s \geq 0.5D \left(\frac{p}{\sigma_D} \right)^{1/2}$$

dno nebo víko přivařené po obvodu

$$s \geq 0.7 p \frac{D}{\sigma_D}$$

Příklad odhadu tloušťky stěny při návrhu konstrukce:

nerozová ocel $E = 2 \cdot 10^5 \text{ MN.m}^{-2}$, $\sigma_k = 250 - 270 \text{ MN.m}^{-2}$,
tedy $\sigma_D = 166 \text{ MN.m}^{-2}$

$D = 0,2 \text{ m}$, $L = 1 \text{ m}$, pro vnitřní plášť (vnitřní přetlak)

vyjde $s = 6 \cdot 10^{-5} \text{ m}$, použije se zpravidla $0,5 \text{ mm}$

-pro vyloučení kolapsu při případném havarijním vnějším přetlaku
(tj. narušený vakuový prostor a vnitřní prostor odčerpán)

pro $L/D = 5$ a $A = 0,5$ dostáváme $s_0/D = 0,0072$, tj. $s_0 = 1,44 \text{ mm}$
(je nezbytně nutné použít jeden nebo dva zpevňovací kroužky)

Víko nádoby pro vnější přetlak $0,1 \text{ MPa}$ (nádobu je čerpaná)
by mělo mít tloušťku $s > 2,5 \text{ mm}$

Příruby s vevařenými trubkami
by měly být γ – násobně silnější

