

# Speciální potrubní komponenty a konstrukce, potrubí pro speciální účely a tekutiny



© Václav Pekař, 2023

*iPotrubí.cz*, Vysoké Mýto, 2023

## Obsah:

|  |           |
|--|-----------|
| <b>1. O TOMTO DÍLU .....</b>   | <b>5</b>  |
| <b>2. NÁVRH NĚKTERÝCH POTRUBNÍCH KOMPONENT A KONSTRUKČNÍCH UZLŮ .....</b>                    | <b>6</b>  |
| <b>2.1. Hladké ohyby ohýbané .....</b>   | <b>6</b>  |
| <b>2.2. Segmentové ohyby .....</b>   | <b>7</b>  |
| <b>2.3. Svařované T-kusy a tvarovky .....</b>  | <b>10</b> |
| <b>2.4. Duplikové potrubí .....</b>  | <b>12</b> |
| <b>3. ŘEŠENÍ NĚKTERÝCH PROBLÉMŮ PŘI KONSTRUKCI POTRUBÍ.....</b>                              | <b>15</b> |
| <b>3.1. Zásady kreslení izometrií v této kapitole .....</b>                                  | <b>15</b> |
| <b>3.2. Řešení požadavků tepelné kompenzace .....</b>  | <b>17</b> |
| 3.2.1. O nutnosti kompenzace délkové roztažnosti.....  | 17        |
| 3.2.2. Tepelná kompenzace vodorovného potrubí svým tvarem .....                              | 17        |
| 3.2.3. Tepelná kompenzace svislého potrubí svým tvarem.....                                  | 18        |
| 3.2.4. Tepelná kompenzace kompenzátory vlnovcovými axiálními .....                           | 20        |
| 3.2.5. Tepelná kompenzace kompenzátory vlnovcovými angulárními .....                         | 21        |
| 3.2.6. Kompenzace potrubí u T-kusů .....   | 21        |
| 3.2.7. Kompenzace potrubí u bypassů.....   | 22        |
| 3.2.8. Kompenzace potrubí u rozvaděče .....  | 23        |
| 3.2.9. Kompenzace potrubí u ventilů.....   | 23        |
| 3.2.10. Odchyšky v tepelné kompenzaci u potrubí z plastů .....                               | 24        |
| 3.2.10.1. Kompenzace horizontálních potrubí svým tvarem .....                                | 24        |
| 3.2.10.2. Kompenzace horizontálních plastových potrubí pro uložení do korýtek .....          | 24        |
| 3.2.10.3. Kompenzace plastových potrubí „pevnou montáží“ .....                               | 26        |
| 3.2.11. Příklady špatného řešení potrubí z hlediska zabránění kompenzace tepelné roztažnosti | 26        |
| 3.2.11.1. Umístění pevných bodů vedle sebe .....   | 26        |
| 3.2.11.2. Vzpěr potrubí a následné zvlnění potrubí .....                                     | 27        |
| 3.2.11.3. Chybné umístění vlnovcového kompenzátoru na potrubní větví.....                    | 27        |
| <b>3.3. Konstrukce potrubí u hrdel zařízení s omezeným zatížením .....</b>                   | <b>28</b> |
| 3.3.1. Omezení zatížení hrdel výrobcem zařízení či aparátu .....                             | 28        |
| 3.3.1.1. Ocelová hrdla aparátů.....  | 28        |
| 3.3.1.2. Hrdla běžných válcových výměníků .....  | 29        |
| 3.3.1.3. Smaltovaná hrdla aparátů.....   | 29        |
| 3.3.1.4. Hrdla laminátových nádob .....  | 30        |
| 3.3.1.5. Hrdla plastových nádob.....   | 30        |
| 3.3.2. Omezení zatížení hrdel technickými normami .....                                      | 30        |
| 3.3.2.1. Omezení zatížení hrdel kotlů .....  | 30        |
| 3.3.2.2. Omezení zatížení hrdel parní turbíny.....   | 30        |
| 3.3.2.3. Omezení zatížení hrdel čerpadel.....  | 31        |
| 3.3.2.4. Omezení zatížení hrdel deskových výměníků .....                                     | 32        |
| 3.3.2.5. Omezení zatížení hrdel ventilů .....  | 32        |
| 3.3.3. Konstrukce potrubí u hrdel vodorovných.....   | 32        |
| 3.3.3.1. Potrubí u vodorovných hrdel, pouze podpěrami .....                                  | 32        |
| 3.3.3.2. Potrubí u vodorovných hrdel, pomocí kompenzátorů.....                               | 33        |
| 3.3.4. Konstrukce potrubí u hrdel svislých horních .....                                     | 35        |

|  |           |
|--|-----------|
| 3.3.4.1. Potrubí u svislých horních hrdel, pouze podpěrami .....                                   | 35        |
| 3.3.4.2. Potrubí u svislých horních hrdel, pomocí kompenzátorů .....                               | 35        |
| 3.3.5. Konstrukce potrubí u hrdel svislých spodních.....   | 36        |
| 3.3.5.1. Potrubí u svislých spodních hrdel, pouze podpěrami.....                                   | 36        |
| 3.3.5.2. Potrubí u svislých spodních hrdel, pomocí kompenzátorů.....                               | 37        |
| 3.3.6. Příklady špatného řešení potrubí z hlediska přetížení hrdel .....                           | 37        |
| 3.3.6.1. Velký pohyb hrdla anebo malé dovolené zatížení hrdla. ....                                | 37        |
| 3.3.6.2. Blízká vzdálenost hrdla a pevného bodu .....  | 38        |
| 3.3.6.3. Použití vlnovcového kompenzátoru na hrdle v případě velkého tlaku média .....             | 38        |
| <b>4. NÁVRH POTRUBÍ PRO SPECIÁLNÍ PODMÍNKY .....</b>   | <b>39</b> |
| <b>4.1. Potrubí při dynamickém zatěžování .....</b>  | <b>39</b> |
| 4.1.1. Odstranění kmitání potrubí .....  | 39        |
| 4.1.1.1. Zásah do tvaru kmitání.....   | 39        |
| 4.1.1.2. Přeladění potrubí.....  | 40        |
| 4.1.1.3. Zatlumení potrubí .....   | 40        |
| 4.1.2. Potrubí v případě existence hydraulického rázu.....   | 41        |
| 4.1.3. Uložení potrubí pro případ zemětřesení .....  | 42        |
| <b>4.2. Konstrukce potrubí při jeho ukládání na nezkonsolidovaném či nestabilním podloží .....</b> | <b>42</b> |
| 4.2.1. Výhody a nevýhody povrchového a podzemního potrubí v případě nestabilního podloží... ..     | 42        |
| 4.2.2. Řešení povrchového potrubí na nestabilním podloží .....                                     | 43        |
| 4.2.2.1. Řešení trasy a kompenzace tepelné roztažnosti a poklesu podpěr .....                      | 43        |
| 4.2.2.2. Konstrukce kluzné podpěry .....   | 44        |
| 4.2.3. Řešení podzemního potrubí na nestabilním podloží .....                                      | 44        |
| <b>4.3. Potrubí pro tekutiny o nízkých a velmi nízkých teplotách .....</b>                         | <b>45</b> |
| 4.3.1. Základní rozdělení.....   | 45        |
| 4.3.2. Vlastnosti tekutin .....  | 45        |
| 4.3.3. Vlastnosti potrubních materiálů.....  | 46        |
| 4.3.4. Izolace před únikem chladu.....   | 48        |
| 4.3.5. Podpěry kryogenního potrubí.....  | 48        |
| 4.3.6. Armatury kryogenního potrubí.....   | 49        |
| 4.3.7. Výpočet potrubí pro tekutiny mající nízké a velmi nízké teploty .....                       | 49        |
| 4.3.7.1. Výpočet podle mezních stavů.....  | 49        |
| 4.3.7.2. Mezní stavy, které potřebují zvláštní pozornost .....                                     | 50        |
| <b>4.4. Předizolovaná potrubí pro horkovody ukládané do země. ....</b>                             | <b>51</b> |
| 4.4.1. Definice a popis předizolovaného bezkanálového (sdruženého) potrubí .....                   | 51        |
| 4.4.2. Norma ČSN EN 13941-1 – úvodní informace.....  | 51        |
| 4.4.3. Materiálové hodnoty jednotlivých složek potrubí .....                                       | 52        |
| 4.4.4. Zatížení potrubí zeminou podle uvedené normy .....  | 53        |
| 4.4.5. Mezní stavy v předizolovaném potrubí .....  | 54        |
| 4.4.6. Kompenzace tepelných dilatací .....   | 55        |
| 4.4.7. Možnosti použití předizolovaných potrubí .....  | 56        |
| <b>4.5. Pravidla pro konstrukci skidů .....</b>  | <b>57</b> |
| 4.5.1. Co to je skid.....  | 57        |
| 4.5.2. Ukládání potrubí, armatur a aparátů do skidu.....   | 58        |
| 4.5.4. Zakončení potrubí a možnosti napojení okolních skidů a ostatních okolních zařízení .....    | 58        |
| <b>5. NÁVRH POTRUBÍ PRO NEBEZPEČNÉ A ZVLÁŠTNÍ TEKUTINY.....</b>                                    | <b>60</b> |
| <b>5.1. Potrubí pro vodík v plynném stavu.....</b>   | <b>60</b> |
| 5.1.1. Vlastnosti vodíku a působení vodíku na potrubí .....  | 60        |

|   |           |
|---|-----------|
| 5.1.1.1. Důležité vlastnosti vodíku .....                                 | 60        |
| 5.1.1.2. Působení vodíku na ocelové potrubí.....                          | 60        |
| 5.1.1.3. Působení vodíku na ostatní kovy.....                             | 62        |
| 5.1.1.4. Působení vodíku na nekovová potrubí.....                         | 63        |
| 5.1.2. Zásady pro konstrukci a výpočet vodíkového potrubí .....           | 63        |
| 5.1.2.1. Výběr materiálu. ....  | 63        |
| 5.1.2.2. Výpočet tloušťky stěny potrubí pro vytvoření potrubní třídy..... | 64        |
| 5.1.2.3. Výpočet potrubní větve – vyhodnocování napětí .....              | 64        |
| 5.1.2.4. Konstrukce.....  | 66        |
| 5.1.2.5. Požadavky na výrobu a NDT.....                                   | 66        |
| 5.1.3. Zásady pro provozování vodíkovodu.....                             | 66        |
| <b>5.2. Potrubí pro kapalný a plynný chlor .....</b>                      | <b>67</b> |
| 5.2.1. Vlastnosti chloru a působení chloru na potrubí.....                | 67        |
| 5.2.1.1. Důležité vlastnosti chloru .....                                 | 67        |
| 5.2.1.2. Působení chloru na ocelové potrubí.....                          | 67        |
| 5.2.1.3. Působení chloru na neželezná a nekovová potrubí .....            | 68        |
| 5.2.2. Zásady pro konstrukci a výpočet potrubí pro chlor.....             | 68        |
| <b>5.3. Potrubí pro sypké materiály .....</b>                             | <b>68</b> |
| 5.3.1. Všeobecné informace .....  | 68        |
| 5.3.2. Materiál potrubí.....  | 68        |
| <b>6. SOUVISEJÍCÍ TECHNICKÉ NORMY A LEGISLATIVA .....</b>                 | <b>70</b> |
| <b>6.1. Související legislativa .....</b>                                 | <b>70</b> |
| <b>6.2. Související technické normy .....</b>                             | <b>70</b> |
| <b>6.3. Potrubí pro chlor.....</b>  | <b>70</b> |
| <b>7. POUŽITÁ LITERATURA A LITERATURA PRO DALŠÍ STUDIUM.....</b>          | <b>72</b> |
| <b>7.1. Odborná literatura.....</b>                                       | <b>72</b> |
| <b>7.2. Zajímavé internetové adresy .....</b>                             | <b>72</b> |

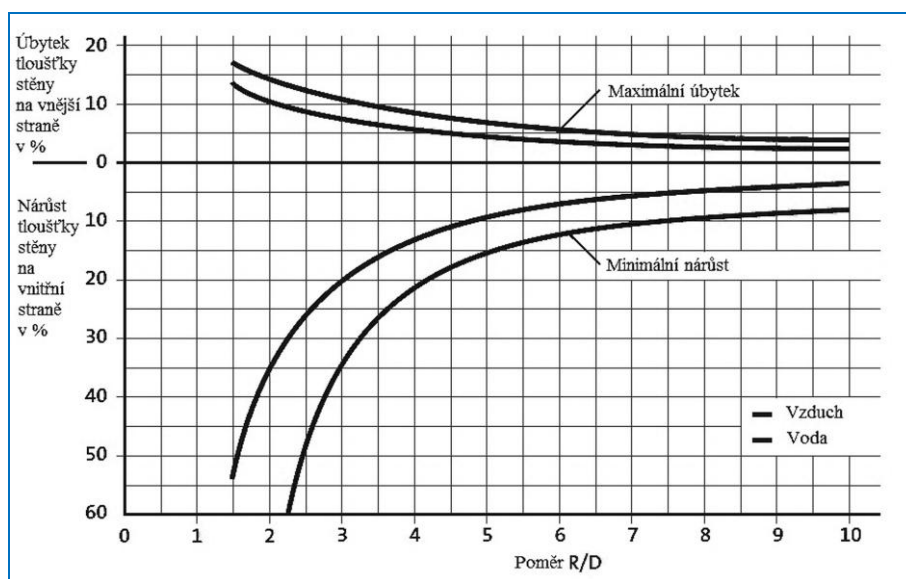
## **1. O tomto dílu**

Tento díl má čtyři základní části. Nejdříve se zabývá konkrétními řešeními některých potrubních komponent, jako jsou například oblouky, téčka, duplikové potrubí. A dále v druhé části, která má několik kapitol, je uvedeno mnoho řešení problematických částí potrubí podle způsobu převládajícího zatěžování potrubí na kapitoly „Řešení požadavků tepelné kompenzace“, „Řešení potrubí u hrdel, která mají svá zatížení omezena“, a třetí díl obsahuje řešení potrubí za speciálních podmínek, např. „Řešení potrubí při dynamickém zatěžování“. Jednotlivá řešení jsou vždy chápána jako vzorová, vždy je nutný provést pevnostní výpočet potrubí a popřípadě řešení upravit. Ve čtvrté části jsou uvedena speciální potrubí a pro speciální tekutiny

## 2. Návrh některých potrubních komponent a konstrukčních uzlů

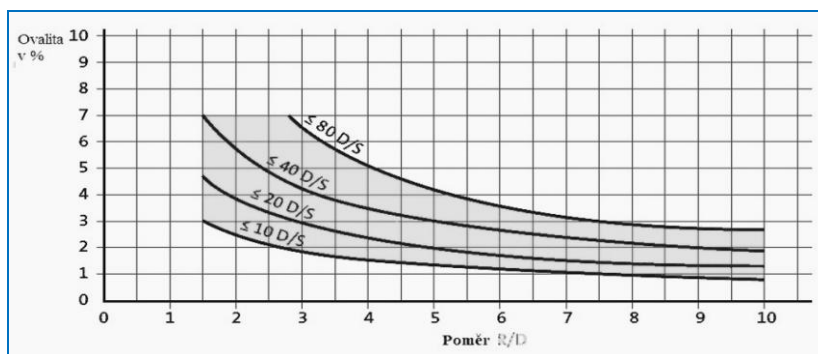
### 2.1. Hladké ohyby ohýbané

Tyto ohyby se vyrábějí ohýbáním z rovné trubky za tepla (např. indukčním ohřátím). Velikost poloměru ohybu je omezena stabilitou vnitřní stěny, čili nesmí nastat boulení. Vnější stěna se potom tahem nad mez kluzu zeslabí a vnitřní zesílí, tak jak je to uvedeno na diagramu dále.

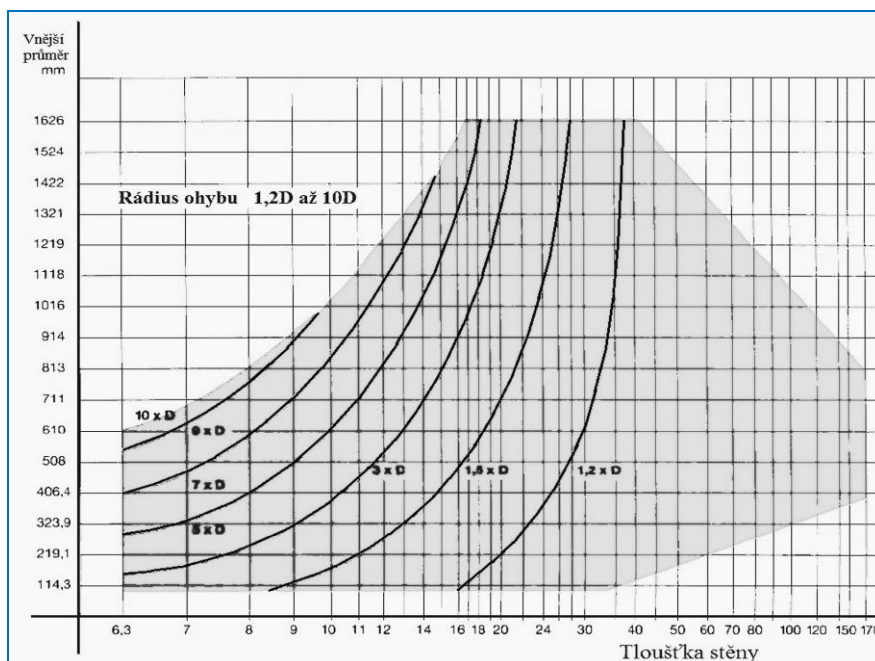


obr. 2.1 Zobrazení změny tloušťky stěny při ohybu

Další deformace spočívá ve změně kruhového průřezu na oválný podle vztahu vyjádřeného diagramem dole. Tyto deformace mají vliv na poddajnost i jako koncentrátor napětí.



obr. 2.2 Zobrazení změny ovality při ohybu



obr. 2.3 Zobrazení možnosti provedení minimálního rádiusu

## 2.2. Segmentové ohyby

Segmentové ohyby se vyrábějí z trubek na základě požadavku.

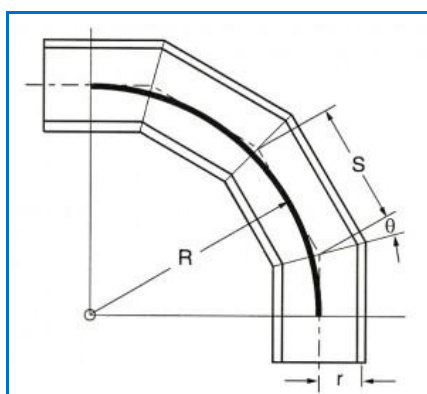
- Uzavřený segmentový ohyb je nakreslen na obrázku. Segmentový ohyb je uzavřený, jestliže platí:

$$S < r(1 + \tan \theta)$$

Kde  $r$  je střední poloměr trubky

$S$  je vzdálenost mezi zkoseními v ose potrubí

$\theta$  je poloviční úhel mezi zkoseními



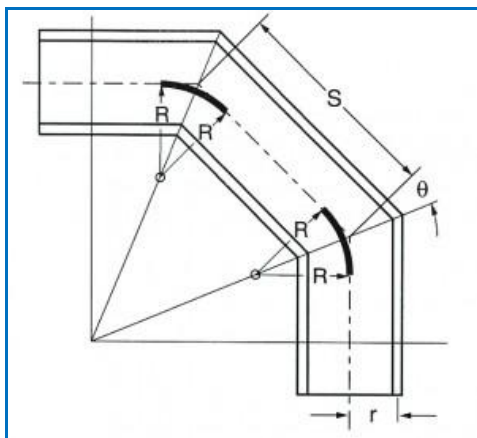
obr. 2.4 Uzavřený segmentový ohyb

Radius segmentového ohybu se vypočítá takto:

$$R = 0,5 \cot \theta$$

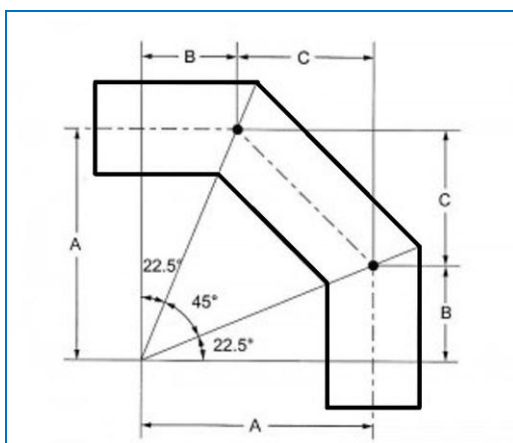
- Otevřený segmentový ohyb je na dalším obrázku. Segmentový ohyb je otevřený, jestliže platí:

$$S \geq r(1 + \operatorname{tg}\Theta)$$



obr. 2.5 Otevřený segmentový ohyb

Jednoduchý segmentový ohyb (viz obrázek dále)



obr. 2.6 Jednoduchý segmentový ohyb

Pro uvedený ohyb platí:

$$\Theta = 90^\circ / (2 \times 2) = 22,5^\circ$$

$$S = 2A \cdot \operatorname{tg}\Theta = 0,828427 \cdot A$$

$$B = A \cdot \operatorname{tg}\Theta = 0,414214 \cdot A$$

$$C = 2A \cdot \operatorname{tg}\Theta \cdot \cos 2\Theta = 0,585786 \cdot A$$

Pro uzavřený segmentový ohyb platí:

$$S < r(1 + \operatorname{tg}\Theta)$$

po dosazení za  $S$  vyjde:

$$2A \operatorname{tg}\Theta < r(1 + \operatorname{tg}\Theta)$$

$$A < 1,707107$$

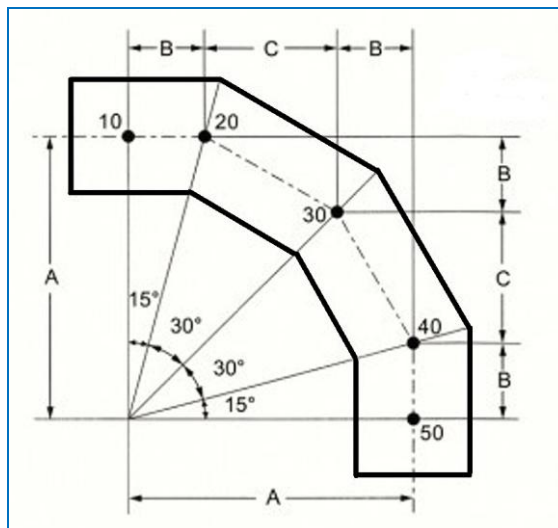
$$R = 0,5S \cot\Theta$$



Pro otevřený segmentový ohyb platí:

$$R=0,5r(1+\cot\theta)=1,707107r$$

Dvojnásobný segmentový ohyb (viz obrázek dále)



obr. 2.7 Dvojnásobný segmentový ohyb (tj. se třemi zkosenými svary)

Pro uvedený ohyb platí:

$$\theta=90^\circ/(2 \times 3)=15^\circ$$

$$S=2A \operatorname{tg}\theta=0,535898A$$

$$C=2A \operatorname{tg}\theta \cos 2\theta=0,464102A$$

Pro uzavřený segmentový ohyb platí:

$$S < r(1 + \operatorname{tg}\theta)$$

po dosazení za S vyjde:

$$2A \operatorname{tg}\theta < r(1 + \operatorname{tg}\theta)$$

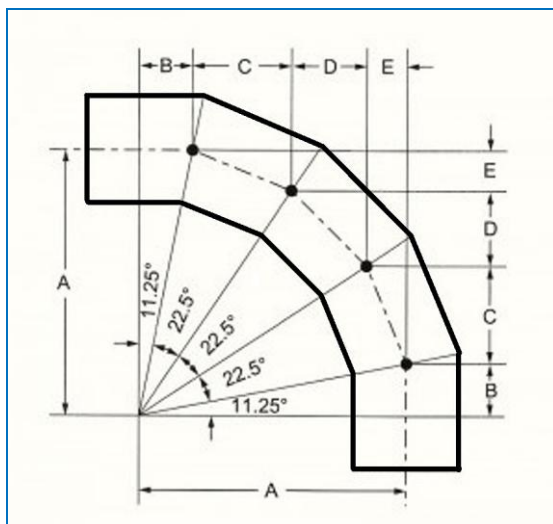
$$A < 2,366025r$$

$$R = 0,5S \cot\theta$$

Pro otevřený segmentový ohyb platí:

$$R=0,5r(1+\cot\theta)=2,366025r$$

Trojnásobný segmentový ohyb (viz obrázek dále)



obr. 2.8 Trojnásobný segmentový ohyb (tj. se čtyřmi zkosenými svary)

Pro uvedený ohyb platí:

$$\theta = 90^\circ / (2 \times 4) = 11,25^\circ$$

$$S = 2A \operatorname{tg} \theta = 0,397825A$$

$$B = A \operatorname{tg} \theta = 0,198912A$$

$$C = 2A \operatorname{tg} \theta \cos 2\theta = 0,367542A$$

$$D = 2A \operatorname{tg} \theta \sin 4\theta = 0,281305A$$

$$E = 2A \operatorname{tg} \theta \sin 2\theta = 0,152241A$$

Pro uzavřený segmentový ohyb platí:

$$S < r(1 + \operatorname{tg} \theta)$$

po dosazení za S vyjde:

$$2A \operatorname{tg} \theta < r(1 + \operatorname{tg} \theta)$$

$$A < 3,01367r$$

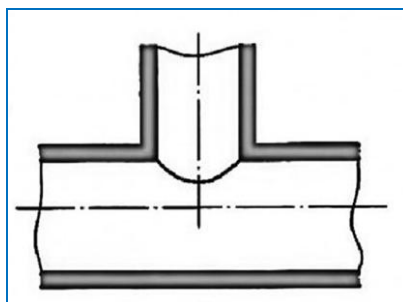
$$R = 0,5S \operatorname{cot} \theta$$

Pro otevřený segmentový ohyb platí:

$$R = 0,5r(1 + \operatorname{cot} \theta) = 3,013670r$$

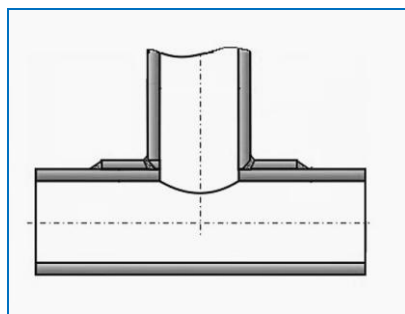
### 2.3. Svařované T-kusy a tvarovky

Jednotlivé typy provedení svařovaných T-kusů a odboček



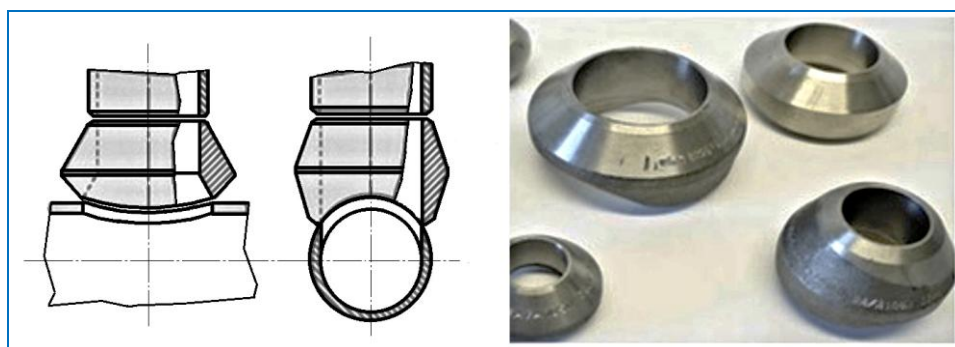
obr. 2.9 Svařované téčko nevyztužené

Téčko nevyztužené (unreinforced tee), je to při montáži vyrobené nezesílené téčko,



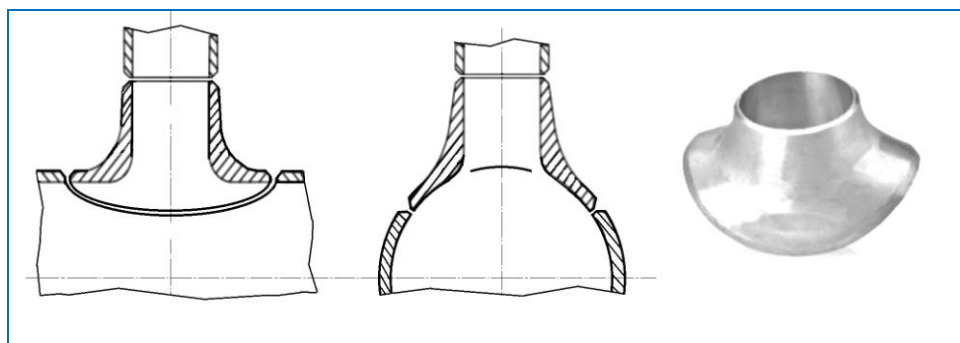
obr. 2.10 Svažené téčko vyztužené límcem

Téčko vyztužené (reinforced tee), je to při montáži vyrobené zesílené téčko, malé SIF.



obr. 2.11 Návarek, weldolet

Weldolet, tvarovka, integrálně vyztužená, která je při montáži nasazená a navařená na porubí

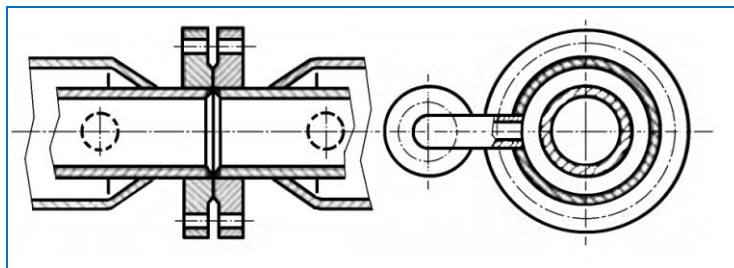


obr. 2.12 Vyhrdlený návarek, sweepolet

Sweepolet, vevařovací vyhrdlení, předkovaná tvarovka, která je při montáži vsazená a zavařená do porubí, do předem připraveného otvoru.

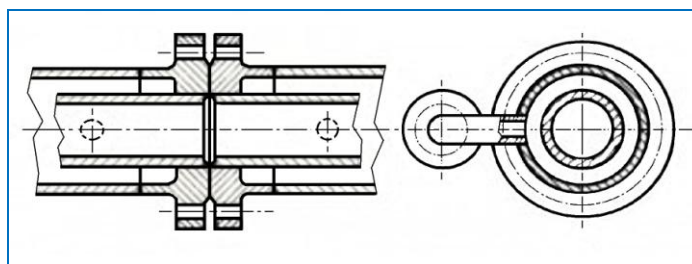
## 2.4. Duplikové potrubí

### Přírubový spoj – řešení 1



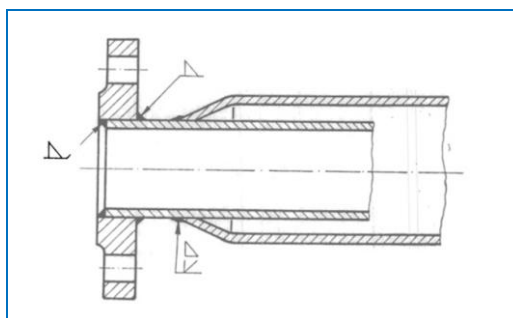
obr. 2.13 Příruba – řešení 1

### Přírubový spoj – řešení 2



obr. 2.14 Příruba – řešení 2

### Příruba – řešení 1



obr. 2.15 Příruba – řešení 1

Použitá příruba je typ 01 , B1 ČSN 1092-1

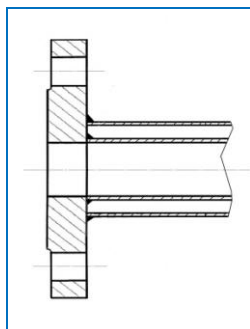
| Rozměr<br>dupliku | DN<br>příruby | $d$  | Rozměr<br>dupliku | DN příruby |
|-------------------|---------------|------|-------------------|------------|
| 50/25             | 25            | 34,5 | 125/80            | 80         |
| 65/40             | 40            | 49,5 | 150/100           | 100        |
| 80/50             | 50            | 61,5 | 200/125           | 125        |
| 100/65            | 65            | 77,5 | 200/150           | 150        |

tab. 2.1 Rozměry okolí příruby

Poznámky:

Vnější trubku nutno zakončit tak, tj. zúžit a přivařit k vnitřní trubce, a v takové vzdálenosti, aby bylo možno instalovat šroubový spoj

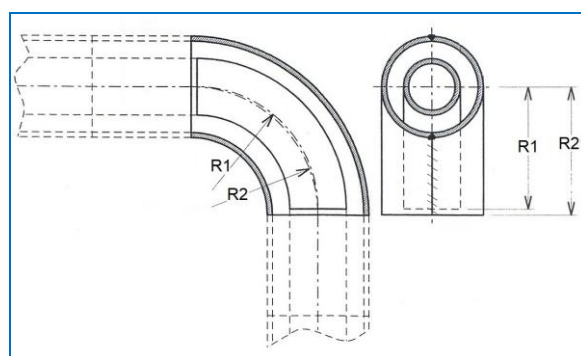
### Příruba – řešení 2



obr. 2.16 Příruba – řešení 2

Příruba je vyrobena z příruby typ 05 ČSN 1092-1 vyvrtáním středního otvoru.

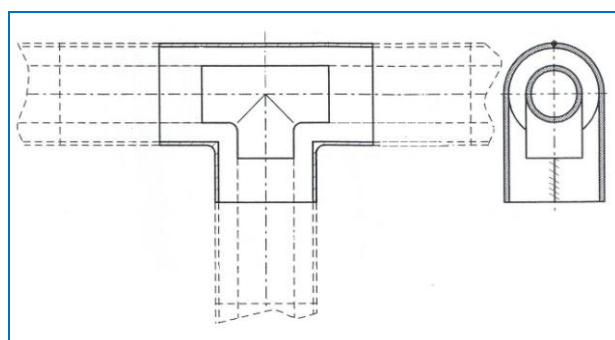
### Koleno



obr. 2.17 Koleno

Jako polotovaru pro plášť je použito standardní koleno  $R=1,5D$ , podélně rozříznuté. Při montáži je plášť svařen z uvedených dvou kusů.

### T-kus



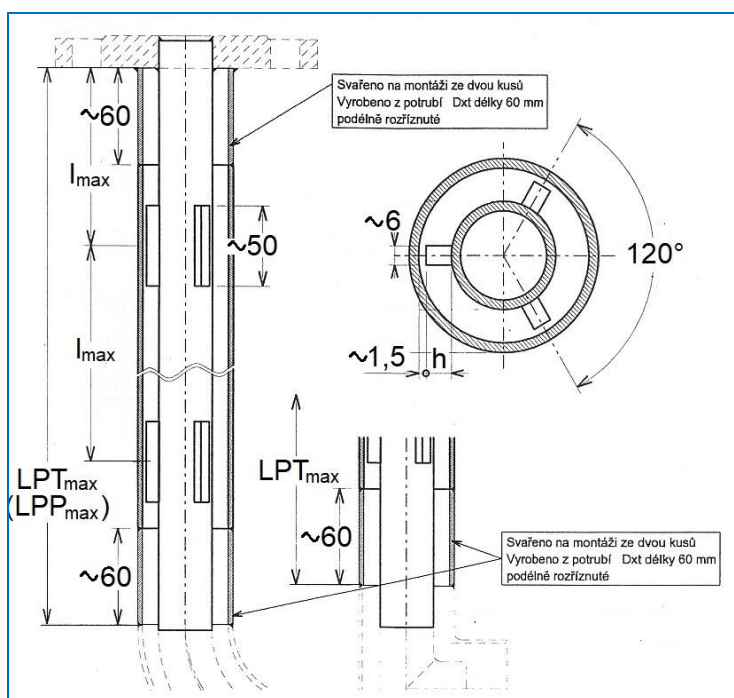
obr. 2.18 T-kus duplik

Jako polotovaru pro plášť je použit standardní T-kus, podélně rozříznutý. Při montáži je plášť svařen z uvedených dvou kusů.

### Redukce

Jako polotovaru pro plášť je použito standardní redukce, podélně rozříznuté. Při montáži je plášť svařen z uvedených dvou kusů.

### Montáž:



obr. 2.19 Montáž

Vysvětlivky k obrázku montáž:

$L_{max}$  je maximální vzdálenost mezi rozpěrnými plechy (příruba se bere jako rozpěrný plech).

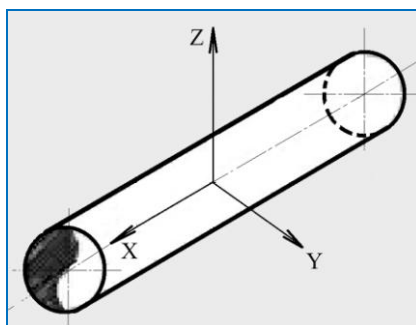
$LPT_{max}$  je maximální vzdálenost rovného potrubí mezi přírubou a tvarovkou.

$LPP_{max}$  je maximální vzdálenost rovného potrubí mezi dvěma přírubami

### 3. Řešení některých problémů při konstrukci potrubí

#### 3.1. Zásady kreslení izometrií v této kapitole





Osová soustava pro kreslení izometrií v této publikaci je na obrázku dále:







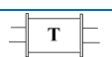
obr. 3.1 Směr a orientace os

Izometrie používané v této publikaci jsou zjednodušené a svými symboly přizpůsobené účelu publikace. Chybí zde tedy: Materiálová specifikace, označení izolace, značení a umístění svárů. Symbol svarů má jiný význam.

| Typ podpěry<br>Symboly: hrdla aparátu a příruby apod. | Grafická značka pro izometrie | Zkratka pro izometrie |
|---|-------------------------------|-----------------------|
| Kotvení / Pevný bod                                   |                               | PBM                   |
| Směrová zarážka ve všech směrech, (pevný bod)         |                               | PBS                   |
| Směrová zarážka ve všech směrech, s vůlemi            |                               | LAV                   |
| Směrová zarážka směr x                                |                               | LXP                   |
| Směrová zarážka směr y                                |                               | LYP                   |
| Směrová zarážka směr z                                |                               | LZP                   |
| Vedení  |                               | GUI                   |
| Kluzná tuhá podpěra                                   |                               | LTZ                   |
| Kluzná pružná podpěra                                 |                               | LPZ                   |
| Kluzná konstantní podpěra                             |                               | LKZ                   |
| Tuhý závěs  |                               | ZTZ                   |
| Pružný závěs  |                               | ZPZ                   |
| Konstantní závěs                                      |                               | ZKZ                   |

|   |  |                       |
|---|--|-----------------------|
| Typ podpěry<br>Symboly: hrdla aparátu a příruby apod. | Grafická značka pro izometrie  | Zkratka pro izometrie |
| Tlumič rázů a kmitání                                 |  | LRK                   |
| Vzpěrné tyče  |  | SVT                   |
| Hrdlo aparátu   |   | Bez zkratky           |
| Přírubový spoj  |  | Bez zkratky           |

tab. 3.1 Značky a zkratky pro podpěry v izometriích v tomto atlase

| Typ kompenzátoru                 | Grafická značka pro izometrie  |
|----------------------------------|--|
| Vlnocový kompenzátor univerzální |    |
| Vlnocový kompenzátor axiální     |   |
| Vlnocový kompenzátor angulární   |  |
| Vlnocový kompenzátor laterální   |  |
| Textilní kompenzátor             |  |

tab. 3.2 Značky pro kompenzátory v izometriích v tomto atlase



## **3.2. Řešení požadavků tepelné kompenzace**

### **3.2.1. O nutnosti kompenzace délkové roztažnosti**

Délkovou roztažností (ať už zabráněnou anebo nezabráněnou) vzniká v potrubí napětí, které můžeme zařadit jako sekundární. Jako takové je pro dovolené napětí sekundárního napětí povolena redistribuce napětí, popsána již v minulých kapitolách, čímž dovolené napětí vzroste. Jestliže je dovolené napětí překročeno anebo jestliže dochází k takovému posunu potrubí tak, že může dojít ke kolizi, musí být započato s kompenzací délkové roztažnosti podle následujících kapitol.

Uspořádání podpěr u kompenzátorů má svá pravidla, jsou uvedeny v dalších kapitolách.

### **3.2.2. Tepelná kompenzace vodorovného potrubí svým tvarem**

Přirozená kompenzace tvarem znamená, že potrubí má tvar hodně členěný v prostoru z jiných důvodů než primární snaha po kompenzaci tepelné roztažnosti. Jestliže tato přirozená kompenzace nestačí, musí se změnit trasa potrubí a vytvořit tvarový kompenzátor. Tvarový kompenzátor, tj. nejčastěji U-kompenzátor, méně často  $\Omega$ -kompenzátor, je nutno vytvořit v případě přímého, za provozu teplého, potrubí jako třeba u parovodů.

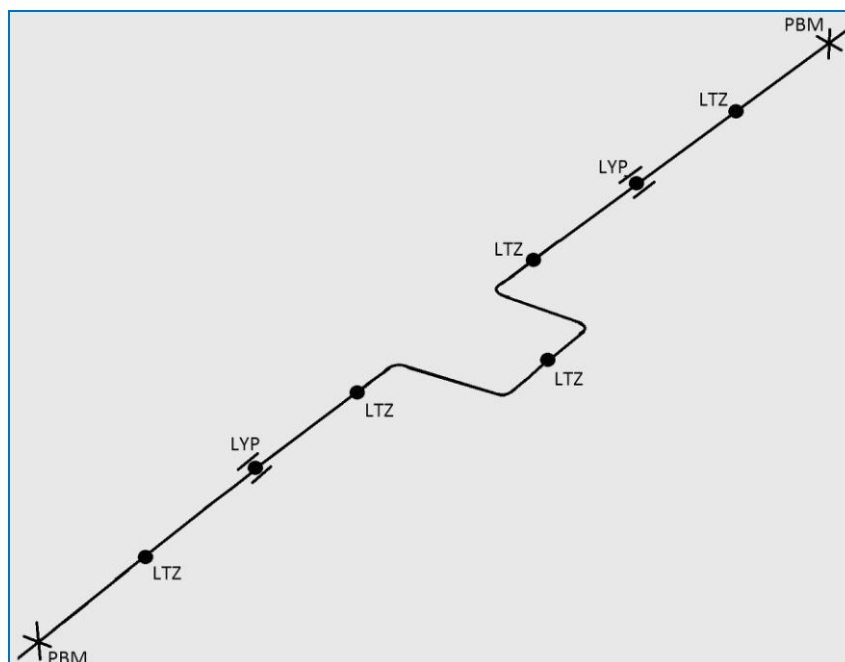
Uspořádání podpěr u kompenzátorů tvarem v horizontálním potrubí má takováto pravidla:

- a) Pevné body se umísťují zpravidla doprostřed, tj. mezi tvarové kompenzátory. Za pevný bod může být chápáno hrdlo aparátu.
- b) Mezi pevnými body musí být taková vzdálenost, aby umožňovala zejména v místech přirozených kompenzátorů tvarem potrubí, tepelnou dilataci potrubí bez překročení dovoleného namáhání. Pružnost trubky mezi pevnými body pohlcuje tepelnou dilataci mezi uvedenými body. Větší pružnost potrubí je možné dosáhnout ohybem. U tlaku či tahu je tuhost potrubí velmi velká a nestačí kompenzovat tepelnou roztažnost.
- c) Trasa potrubní větve by měla být volena tak, aby tvořila maximální počet přirozených kompenzátorů tvarem potrubí (co nejvíce změn směru, co největší členitost)
- d) V případě průchodu stěnou musí otvory umožňovat posuvy potrubí ve všech směrech.

Na obrázku izometrie je vidět příklad uložení okolo horizontálního U-kompenzátoru. Z obrázku je patrné umožnění volného pohybu potrubí do stran v blízkosti kompenzátoru.

Z uvedeného vyplývá, že limitující ve výpočtu je napětí způsobené délkovou roztažností. V případě, že po provedení výpočtu toto napětí nevyhovuje, je nutné udělat

změny, nejlépe v tomto pořadí: použít ohyby s větším radiusem, zvětšit rozměry kompenzátoru, v první řadě vyložení, zvětšit počet kompenzátorů.

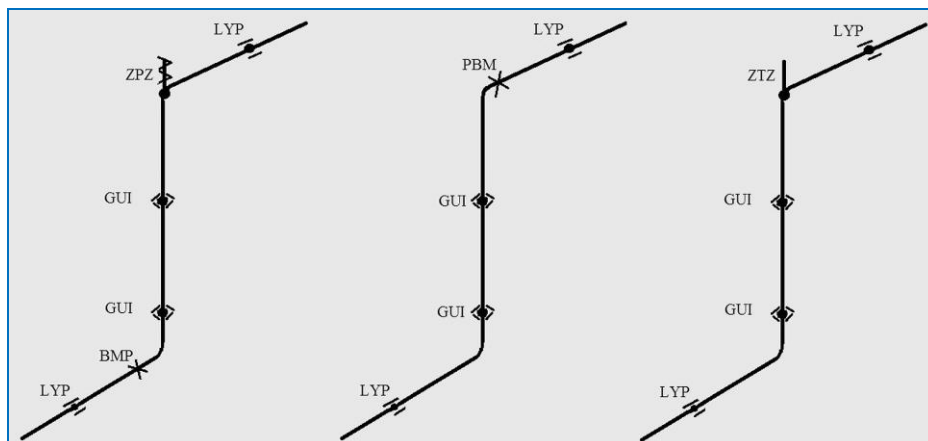


obr. 3.2 Horizontální U-kompensátor

### 3.2.3. Tepelná kompenzace svislého potrubí svým tvarem

U vertikálního potrubí se používá systém závěsu v horní části a vedení ve střední a/nebo dolní části, tj. verze a) anebo pevný bod, tj. verze b). Místo tuhého závěsu je možné použít i podpěry umístěné stejně jako závěs pod horním kolenem. U vertikálního potrubí je možno použít i pružného závěsu, a to v případě, že je třeba, aby se nepohybovala dolní část svislého potrubí (např. napojení na hrdlo aparátu), tj. verze c). Dále se používá alespoň jedenkrát vedení, které však musí být dostatečně daleko od spodního ohybu potrubí. Toto vše je vidět na následujících obrázcích uložení svislého potrubí – izometrie, verze a), verze b), verze c).

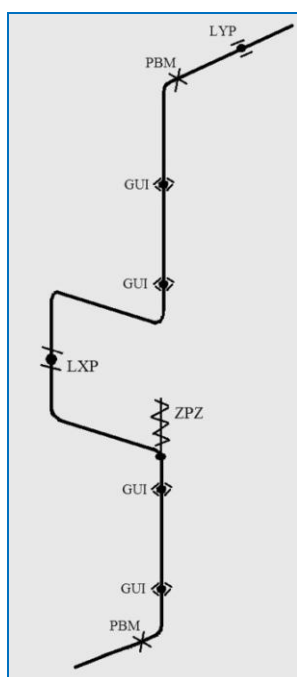
Z uvedeného vyplývá, že limitující ve výpočtu je napětí způsobené délkovou roztažností. V případě, že po provedení výpočtu toto napětí nevyhovuje, je nutné udělat změny, nejlépe v tomto pořadí: použití pružného závěsu, použití konstantního závěsu.



obr. 3.3 Uložení svislého potrubí – izometrie, verze a), verze b), verze c)

Dále je nutno uvést, že v případě vyčerpání již uvedených možností je i ve svislém směru možno použít tvarový kompenzátor, tj. nejčastěji U-kompenzátor. Uložení pak vychází ze stejných principů, rozdíl je však v tom, že vlastní hmotnosti jsou uloženy jiným systémem, příklad je vidět na obrázku v dalším.

Ve výpočtu je limitující opět napětí způsobené délkovou roztažností. V případě, že po provedení výpočtu toto napětí nevyhovuje, je nutné udělat změny, nejlépe v tomto pořadí: použít ohyby s větším radiusem, zvětšit rozměry kompenzátoru, v první řadě vyložení, . zvětšit počet kompenzátorů.

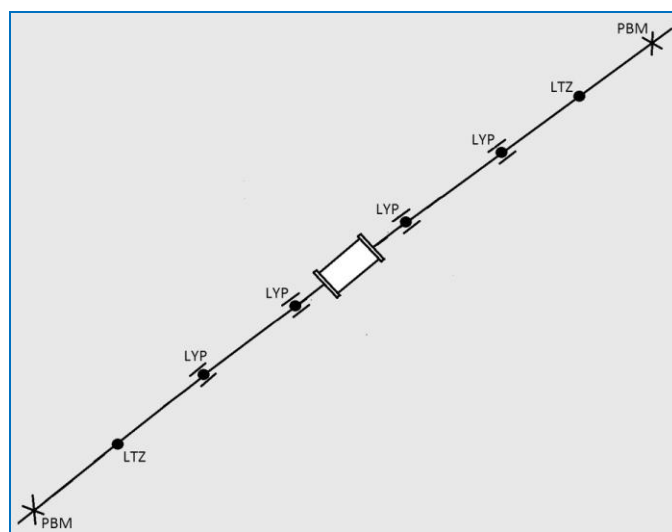


obr. 3.4 Uložení svislého potrubí s U kompenzátořem

### 9.3.2.4. Tepelná kompenzace kompenzátory vlnovcovými axiálními

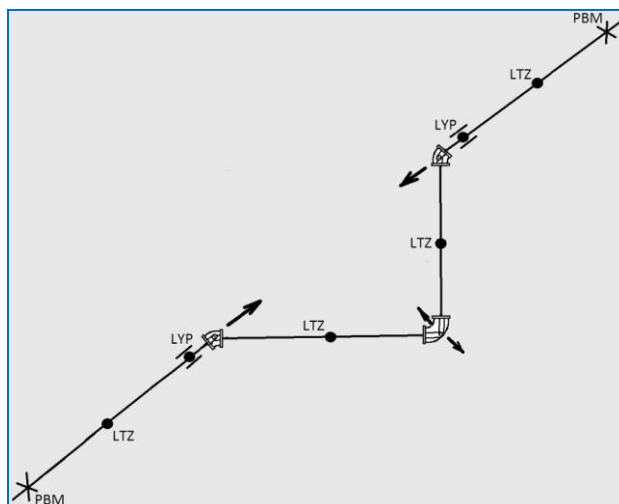
Uspořádání podpěr u axiálních vlnovcových kompenzátorů se řídí takovými pravidly:

- a) Pevné body se umísťují zpravidla doprostřed, tj. mezi axiálními vlnovcovými kompenzátory.
- b) Vlnovcové kompenzátory uprostřed potrubní větve musí být uchyceny z obou stran vedením a uprostřed pevným bodem nebo z jedné strany vedením a z druhé strany pevným bodem.
- c) Mezi pevnými body a kompenzátory musí být taková vzdálenost, aby bylo umožněno absorbovat tepelnou dilataci potrubí kompenzátorem bez překročení dovoleného namáhání v potrubí a dovoleného axiálního zdvihu u axiálního kompenzátoru.
- d) Trasa potrubní větve by měla být volena tak, aby vytvořila maximální počet přirozených kompenzátorů tvarem potrubí (co nejvíce změn směru, co největší členitost)
- e) V případě průchodu stěnou musí otvory umožňovat posuvy potrubí ve všech směrech.



obr. 3.5 Vlnovcový axiální kompenzátor na horizontálním potrubí

### 3.2.5. Tepelná kompenzace kompenzátory vlnovcovými angulárními



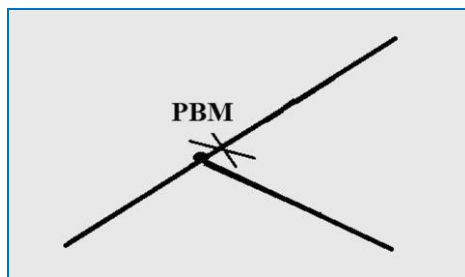
obr. 3.6 Vlnovcové angulární kompenzátory na horizontálním potrubí

Angulární kompenzátory mají vlnovec s bočními klouby umístěné v ose zlomu. Mají tak omezenou pohyblivost a musí být tři, aby vytvořily společně mechanismus, jehož pohyb kompenzuje tepelnou roztažnost potrubí. Uložení potrubí je pak stejné jako v předešlém případě.

### 3.2.6. Kompenzace potrubí u T-kusů

V konstrukci potrubí vlivem různé roztažnosti a jí způsobeném pohybu v hlavním potrubí a v odbočce vzniká napětí, které musíme kompenzovat. Z tohoto důvodu je nejlepší zabránit uvedenému pohybu umístěním pevného bodu.

Největší napětí se vytváří ve vrubu u T-kusů. V T-kusech vzniká i velká až nereálná hodnota SIF, pomocí které musí být vypočítané napětí a porovnané s dovolenou hodnotou.



obr. 3.7 Příklad uspořádání uložení u T-kusu

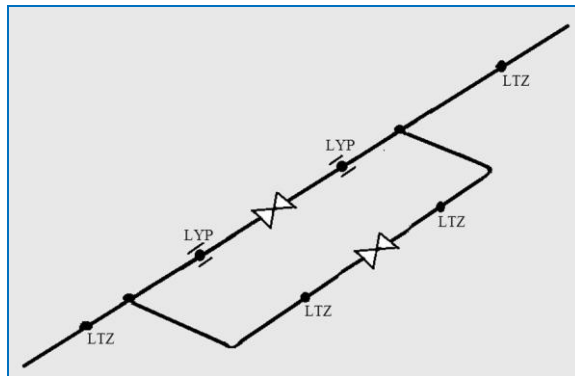
Z uvedeného vyplývá, že limitující ve výpočtu je napětí způsobené různou délkovou roztažností základního potrubí a odbočky. Kritické místo je vrub (SIF) u T-kusu. V případě, že po provedení výpočtu toto napětí nevyhovuje, je nutné udělat změny, nejlépe v tomto pořadí: provést napojení odbočky v blízkosti pevného bodu (kotvení) anebo obráceně

umístit pevný bod (kotvení) v blízkosti T-kusu, v případě, že toto řešení není možné, můžeme použít trasu potrubí podle obrázku anebo použijeme takový typ T-kusu, který má menší koncentraci napětí způsobenou vrubem. V případě, že napětí ještě nevyhovuje, použije se obojí, tj. řešení tvaru trasy podle obrázku a zároveň takový typ T-kusu, který má menší koncentraci napětí způsobenou vrubem.

### 3.2.7. Kompenzace potrubí u bypassů

Bypass a základní potrubí bývají v jednom čase v provozu většinou vždy opačně, mají tedy většinou různou teplotu. Toto je regulováno ventily na nich uloženými. Vzniká tedy v konstrukci potrubí vlivem různé roztažnosti napětí, které musíme kompenzovat.

Nejčastější je kompenzace přirozených tvarem. Největší napětí se vytváří v T-kusech, protože odbočka je tím pádem namáhána ohybovým momentem v rovině odbočky, neboť tento moment vzniká rozdílnou tepelnou expanzí bypassu a hlavního potrubí. Tím pádem výpočtem zjistíme, že čím vzdálenější je osa hlavní větve a osa bypassu, tím se v té-kusech objevuje menší napětí. V T-kusech vzniká i velká až nereálná hodnota SIF. Situace na bypassech je zobrazena na obrázku dole. Dalším omezením je v některých případech i možnost překročení zatížení hrdel armatur. Omezení je dáno například předpisy o jaderných elektrárnách.

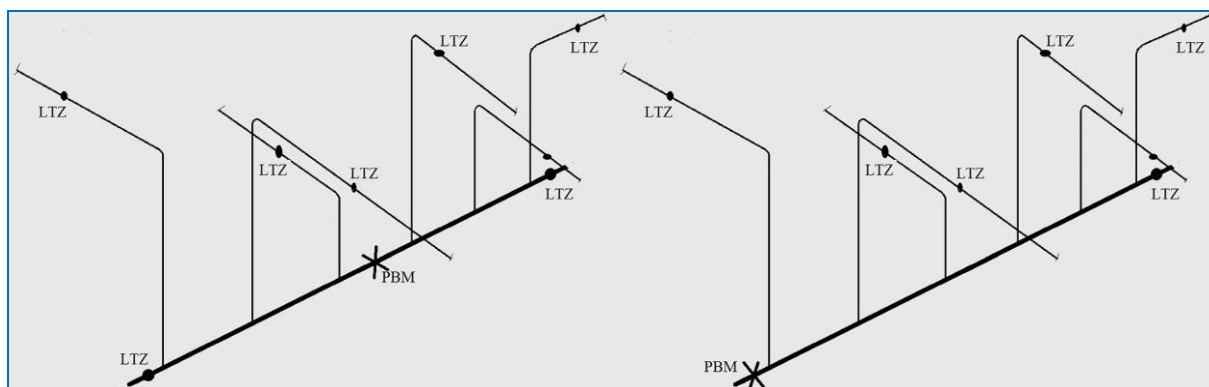


obr. 3.8 Příklad uspořádání uložení u bypassu

Z uvedeného vyplývá, že limitující ve výpočtu je napětí způsobené různou délkovou roztažností přímého potrubí a bypassu. V případě, že po provedení výpočtu toto napětí nevyhovuje, je nutné udělat změny, nejlépe v tomto pořadí: jiné možnosti uložení tohoto uzlu například umístěním pevného bodu v blízkosti T-kusů, zvětšením vyložení ramene, v případě omezení místem je možné změnit tvar bypassu, v tomto případě je nutno použít větší množství kluzných podpěr. Také je možné použít takový typ T-kusu, který má menší koncentraci napětí způsobenou vrubem.

### 3.2.8. Kompenzace potrubí u rozvaděče

Jedná se o rozvaděče pro potrubí páry, horké vody a pro jiná potrubí, která při provozu mají takovou teplotu, že dochází k takové tepelné expanzi, kde může být překročeno dovolené napětí. Protože se jedná o jednu trubku s větším DN a na ní navazuje kolmo na ní mnoho potrubních větví s menším DN, musíme brát ohled na SIF v každém T-kusu, který může dosahovat velkých hodnot. V případě, že toto popsané nebezpečí je vážné, umísťujeme pevný bod naprostřed a obě strany jsou podepřeny kluzně a v ostatních případech umístíme pevný bod na jeden okraj a na druhý okraj kluzné podepření. Od uvedeného se pak odvíjejí uložení jednotlivých větví kolmých na velkou trubku rozvaděče.

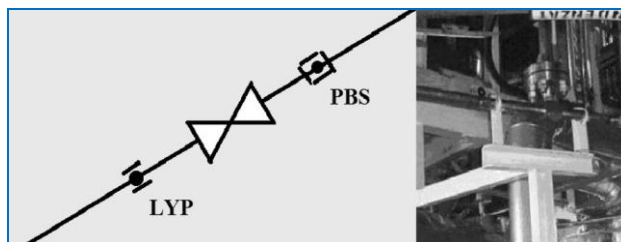


obr. 3.9 Příklady uložení rozvaděče

Z uvedeného vyplývá, že limitující ve výpočtu je napětí způsobené různou délkovou roztažností rozvaděče a potrubí, které vzniklo různým tvarem jednotlivých připojených potrubí. V případě, že po provedení výpočtu toto napětí nevyhovuje, je nutné udělat změny, nejlépe v tomto pořadí: změnit umístění pevného bodu, použít takový typ T-kusu, který má menší koncentraci napětí způsobenou vrubem. Je také možné na připojená potrubí ve svislé části a jdoucí od rozvaděče připojit pružný závěs, který by odlehčil nejen připojenému potrubí, ale i rozvaděči.

### 3.2.9. Kompenzace potrubí u ventilů

Jde o těžké amatury, které nemají možnost uložení přímého na armatuře a je nutné je uchytit za potrubí a zároveň v případě potrubí teplých, tj. má se vzít v úvahu tepelná roztažnost. Nejčastěji používaný příklad pro uložení ventilu je na obrázku, tj. směrová zarážka (provedení třmenem v ose posuvná) a pevný bod (provedení třmenem pevně dotazeno). Podmínka je, že uvedený bod je pro toto umístění vhodný z pohledu celkové situace na potrubní větví. V opačném případě bude nutné použít obě dvě podpěry v ose posuvné.



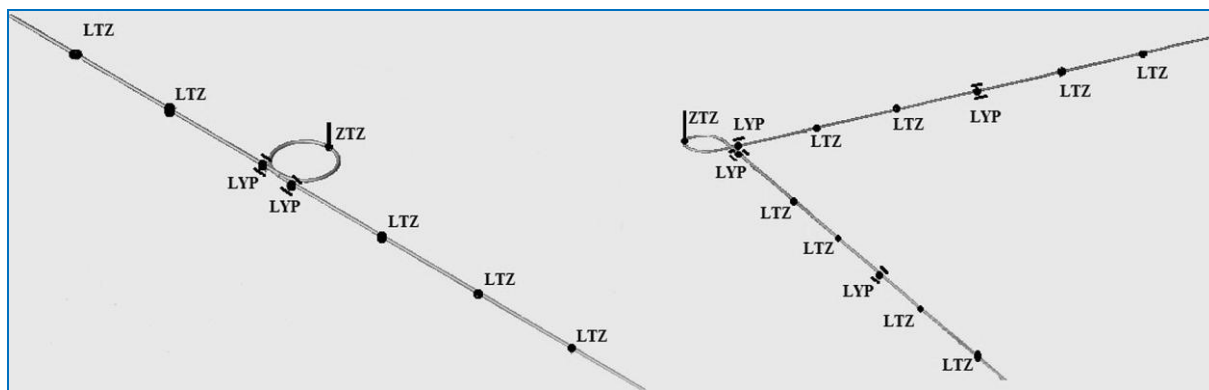
obr. 3.10. Směrová zarážka (provedení třmenem v ose posuvná) a pevný bod (provedení třmenem pevně dotaženo) – příklad uložení ventilu

### 3.2.10. Odchytky v tepelné kompenzaci u potrubí z plastů

#### 3.2.10.1. Kompenzace horizontálních potrubí svým tvarem

Při montáži dilatačních smyček se musí využívat přetvarování, které je způsobeno např. navinutím trubky na cívku. Nesmí se používat trubky přímé a při montáži je ohýbat, zanášá se tím do trubky namáhání, s kterými se nepočítalo, a které mohou vést ke zlomení trubky.

Vodorovnou přímou a vodorovnou rohovou dilatační smyčku je vhodné používat v případě nutnosti zachování spádu pro odvodnění či odvzdušnění potrubí. Svislou přímou a svislou rohovou dilatační smyčku můžeme použít v ostatních případech.



obr. 3.11 Vodorovné dilatační smyčky

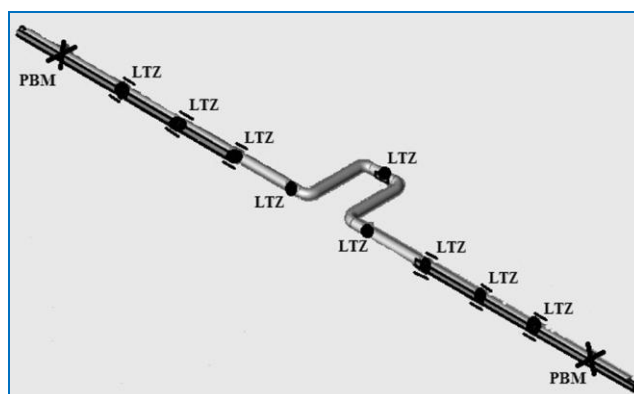
#### 3.2.10.2. Kompenzace horizontálních plastových potrubí pro uložení do korýtek

Uložení do korýtek se používá do DN 125 a menší pro všechny plasty. Uložení do korýtek se používá pro uložení horizontální. Potrubí se ke korýtkům stahuje páskou. Korýtka mohou být podepřena nebo zavěšena na závěsech. Z důvodu umožnění kompenzace nesmí být umístěna korýtka v dostatečné vzdálenosti od kolen a ohybů, ať už tvarového kompenzátoru nebo při přirozeném změny směru, a to i změně z horizontálního potrubí na vertikální. U vertikálního potrubí se používá systém závěsu v horní části hned pod kolenem a vedení ve střední a/nebo dolní části. U vertikálního potrubí je možno použít i pružného



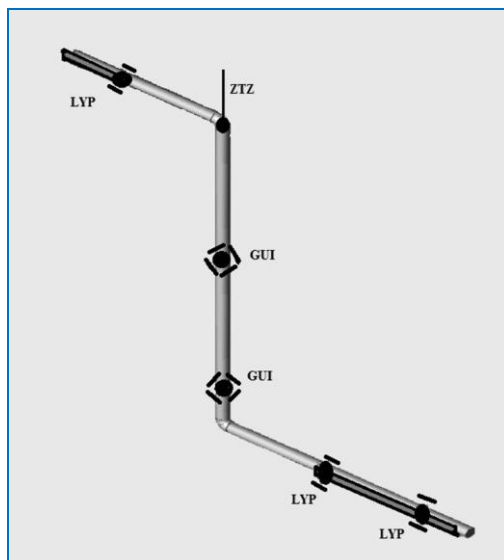
závěsu s pružinou o velkém zdvihu, a to v případě, že je třeba, aby se nepohybovala dolní část svislého potrubí (např. napojení na hrdlo aparátu).

Příklady použití sestavy podpěr. Uložení do korýtek se používá pro uložení horizontálních. Potrubí se ke korýtkům stahuje páskou. Korýtka mohou být podepřena nebo zavěšena na závěsech. Z důvodu umožnění kompenzace nesmí být umístěna korýtka v dostatečné vzdálenosti od kolen a ohybů, ať už tvarového kompenzátoru nebo při přirozeném změny směru, a to i změně z horizontálního potrubí na vertikální. Na obrázku je izometrie kompenzátoru při využití korýtek. Je zde vidět dodržení určité vzdálenosti bez korýtek od ohybu potrubí.



obr. 3.12 Kompenzátor při použití korýtek, izometrie

U vertikálního potrubí se používá systém závěsu v horní části hned pod kolenem a vedení ve střední a/nebo dolní části. U vertikálního potrubí je možno použít i pružného závěsu s pružinou o velkém zdvihu, a to v případě, že je třeba, aby se nepohybovala dolní část svislého potrubí (např. napojení na hrdlo aparátu). Místo závěsu je možné použít i podpěry umístěné stejně jako závěs pod horním kolenem. Na obrázcích je vidět izometrie a bokorys uložení svislého potrubí a dodržení určité vzdálenosti bez korýtek od ohybu potrubí.



obr. 3.13 Uložení svislého potrubí při použití korýtek – izometrie

### 3.2.10.3. Kompenzace plastových potrubí „pevnou montáží“

„Pevná montáž“ je pevné ukotvení konců plastového potrubí za montážní teploty, popř. předepnutí a ponechání takto vzniklého napětí při nižších teplotách než montážních v potrubí při provozu. „Pevnou montáž“ je výhodné použít při dlouhých potrubních větvích beze změny směru, např. na potrubních mostech. Uspoří se tak náklady na kompenzátory a na ocelovou konstrukci, která kompenzátory nese.

Na obou koncích potrubí jsou instalovány pevné body (kotvení). V případě, že je nutné provést montáž za nižších teplot, než vyjde výpočtem, musí tyto pevné body umožňovat předpětí. Dále by měly být mezi pevnými body instalovány kluzné podpěry. V případě, že hodláme potrubí při vyšších teplotách zatížit i osovým tlakem od zabráněné tepelné expanze, musí být mezi pevnými body instalovány podpěry se směrovými zarážkami, které neumožňují potrubí vybočit při zatížení vzpěrem.

Kladně zde může působit relaxace napětí plastových potrubí, které po nějakém čase napětí v potrubí sníží. „Pevná montáž“ je typická kompenzace tepelné roztažnosti, kterou je možné použít pouze u plastů. Umožňuje to vzájemný poměr hodnot materiálových veličin plastů.

### 3.2.11. Příklady špatného řešení potrubí z hlediska zabránění kompenzace tepelné roztažnosti

#### 3.2.11.1. Umístění pevných bodů vedle sebe

V případě, že umístíme dva pevné body vedle sebe v takové vzdálenosti, která neumožňuje dostatečnou pružnost potrubí, a když médium má jinou teplotu, než při které probíhala montáž, projeví se to zabráněnou tepelnou expanzí a nárůstem napětí v potrubí.

I přímé potrubí má nějakou pružnost, ale ve většině případů tato pružnost nestačí na kompenzaci napětí v potrubí, které vzniklo zabráněnou tepelnou expanzí. Z těchto důvodů je nutné, aby byly oba pevné body odděleny nějakým potrubním ohybem, obloukem či kolenem či podobnou změnou směru potrubí. V takovémto případě je část potrubí namáhána ohybem, který má řádově příznivější pružnost. Přesné napěťové poměry lze získat jedině výpočtem.

### **3.2.11.2. Vzpěr potrubí a následné zvlnění potrubí**

U parovodů, horkovodů a jiných potrubí s vysokou teplotou kompenzuje tuto teplotu U-kompenzátor. Uložení potrubí s U-kompenzátozem je většinou řešeno tak, že uprostřed mezi dvěma kompenzátory je pevný bod. V určité potřebné vzdálenosti jsou na potrubí instalovány kluzné podpěry. Nejčastěji se každá druhá opatří omezením pohybu potrubí do strany bočním vedením. U takovéto konstrukce se občas stane, že se potrubí začne vlnit. Zvlnění do tvaru plazícího se hada vznikne za určitých podmínek spíše u potrubí menších průměrů.

Jak už bylo uvedeno, většinou se střídají kluzné podpěry s bočním vedením a podpěry bez vedení, a proto se vytváří potrubí tvaru hada ve vodorovné rovině. Tento tvar vzniká, jestliže se v potrubí existuje zabráněná tepelná expanze, která vytváří osovou sílu v potrubí, a to větší, než je u tohoto potrubí síla kritická ve vzpěru. Zvlnění vznikne ihned po prvním zahřátí potrubí. Matematicky je zvlněné potrubí zpracováno v dílu I. této knihy, v kapitole zabývající se mezními stavy použitelnosti.

Přesné napěťové poměry lze získat jedině výpočtem. Avšak v případě, že provádíme výpočet potrubí programem typu AutoPIPE anebo CaesarII musíme dát pozor, zda je výpočet stability potrubí (ať už celého anebo stability stěny potrubí) je zpracován do algoritmu v něm obsaženém. Protože tento problém není řešen ani v normách, např. EN 13480-3 (a zde je řešena pouze stabilita vůči podtlaku), nebývá tento mezní stav kontrolován ani ve výpočetních programech z těchto norem vycházejících. Tyto stabilitní vztahy však bývají v literatuře uváděny. Z těchto důvodů proto je nutné provést dopočet „ručně“. Bližší informace jsou v kapitole dále, v knize týkající se jednotlivých případů.

### **3.2.11.3. Chybné umístění vlnovcového kompenzátoru na potrubní větvi**

Na kompenzátorech (vlnovcových i textilních) vzniká od vnitřního tlaku osová síla, kterou je nutno nějak zachytit. Např. u vlnovcových kompenzátorů s táhly (tj. laterální kompenzátor) zachycují tuto sílu táhla. V jiných případech to mohou být pevné body, na nichž se uvedená přenáší do základů. Zde je však riziko, které spočívá v umístění těchto bodů. Osa takovéto síly musí protínat střed pevného bodu, tj. nesmí vznikat rameno síly. V takovémto případě by bylo potrubí namáháno ještě momentem. Přesné napěťové poměry lze však získat jedině výpočtem.

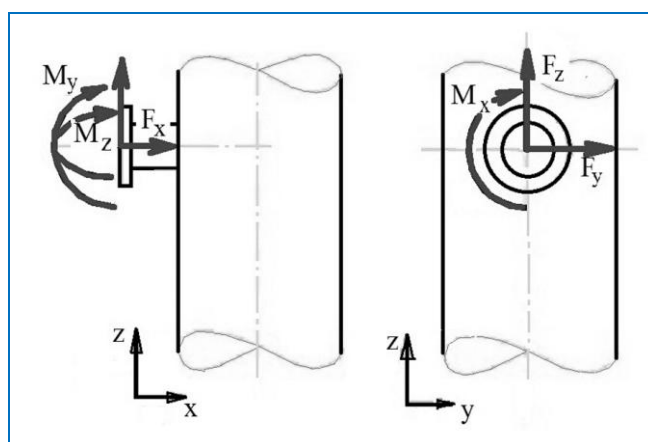
### 3.3. Konstrukce potrubí u hrdel zařízení s omezeným zatížením

#### 3.3.1. Omezení zatížení hrdel výrobcem zařízení či aparátu

##### 3.3.1.1. Ocelová hrdla aparátů

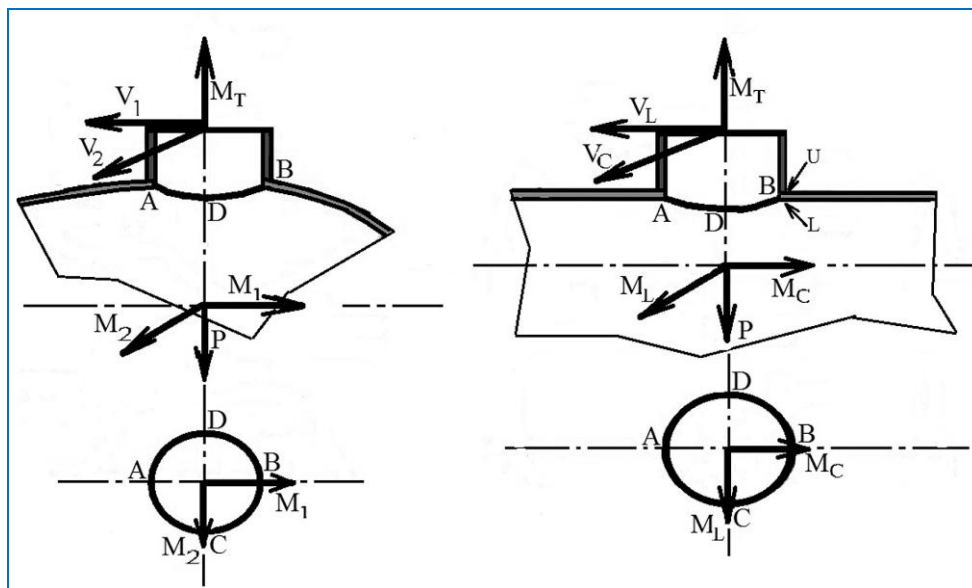
Každé hrdlo aparátu, tlakové nádoby a ostatních zařízení má svá maximální dovolená zatížení hrdel, určená v této části publikace konstrukcí podle výrobce, avšak i tento výrobce musí dodržovat ustanovení pro výpočet, který je součástí normy. Může však například určovat druh a dimenzi výztuh hrdla aparátu či tlakové nádoby.

Určení dovolených zatížení hrdel od potrubí chrání zařízení před poruchou. Reálné zatížení hrdel nesmí tak být vyšší než maximální dovolené zatížení hrdel.



obr. 3.14 Síly a momenty působící na hrdlo

Pro ocelová hrdla válcových a prostorově klenutých tlakových nádob se maximální dovolená napětí vypočítávají podle vztahů vydaných v Bulletinech WRC. WRC znamená ve zkratce Welding Research Council. WRC Bulletin 107 je používán od roku 1965. V roce 2010 byl vydán WRC Bulletin 537, který má stejný obsah jako č.107. Rozdíl spočívá pouze v tom, že v bulletinu č. 537 jsou uvedeny vzorce a rovnice, které jsou vhodné pro počítačové zpracování, kdežto Bulletin č.107 poskytuje to samé, ale ve formě grafů a křivek, což je vhodnější pro „ruční“ výpočet. Bulletin tak hodnotí namáhání jak na vnitřním, tak na vnějším povrchu stěny nádoby a to v osovém i obvodovém směru napětí. Dále definují ve výpočtu aplikovaná zatížení a výsledná namáhání pro prostorově klenuté a válcové nádoby, která jsou uvedena níže.



obr. 3.15 Znázornění os, zatížení hrdel a bodů pro výpočet napětí pro hrdlo na sféricky klenuté a válcové nádobě

Definování os pro sféricky klenutou nádobu. Jsou to osy  $P$ ,  $M_1$  a  $M_2$ , které jsou nakresleny na obrázcích. Definování os pro válcovou nádobu. Jsou to osy  $P$ ,  $M_C$  a  $M_L$ , které jsou nakresleny na obrázcích.

A poslední, třetí WRC Bulletin 297 byl publikován v srpnu 1984 a rozšiřuje stávající nástroje. WRC 297 se liší od široce používané WRC 107 především v tom, že WRC 297 je určen pro větší  $d/D$  poměry (až 0,5), tedy pro nádoby s relativně tlustší stěnou. WRC 297 dále vypočítává namáhání v hrdlu, zatímco WRC 107 vypočítá namáhání pouze v nádobě.

Podobné a z uvedeného vycházející jsou vztahy dle ČSN EN 13445-3 „Netopené tlakové nádoby“ – Část 3 „Konstrukce a výpočet“ kap. 16.4 „Lokální zatížení hrdel na kulových skořepinách“ a kap. 16.5 „Lokální zatížení hrdel na válcových skořepinách“.

### 3.3.1.2. Hrdla běžných válcových výměníků

Žádná evropská norma harmonizovaná k PED neřeší problematiku numerického limitování zatížení hrdel ocelových výměníků. Norma TEMA v čl. RBC-10.6 odkazuje na správnou inženýrskou praxi, což jsou v podstatě ustanovení z předešlé kapitoly.

Dále zde platí norma HEI a to je „Heat Exchange Institute Standard For Closed Feedwater Heaters“.

### 3.3.1.3. Smaltovaná hrdla aparátů.

Každý výrobce smaltovaných aparátů určí pro své výrobky hodnoty dovoleného namáhání hrdel. Zde je limitována nejen pevnost, kde platí stejné zákonitosti jako v předchozí kapitole, ale i poměrné prodloužení dané svoji maximální dovolenou hodnotou. V případě, že je toto prodloužení překročeno, smalt popraská.

Výrobci smaltovaných aparátů vydávají proto dokument o maximálním zatížení hrdel svých výrobků.

#### **3.3.1.4. Hrdla laminátových nádob**

Každý výrobce laminátových aparátů určí pro své výrobky hodnoty dovoleného namáhání hrdel. V případě namáhání v tahu je limitující pevnost výztužných vláken. V případě namáhání v osovém tlaku je rozhodující tlaková pevnost pryskyřice. A při smyku je limitující vzájemná soudržnost vláken a pryskyřice.

Výrobci laminátových aparátů vydávají proto dokument o maximálním zatížení hrdel svých výrobků. Jako příklad omezení zatížení hrdel můžeme uvést firmu Plasticon Europe.

#### **3.3.1.5. Hrdla plastových nádob**

Každý výrobce plastových aparátů určí pro své výrobky hodnoty dovoleného namáhání hrdel. Jsou vždy limitující vlastnosti použitého materiálu. Výpočet se provádí podle norem:

ČSN EN 12573-2 Svařované stabilní beztlakové termoplastické nádrže – Část 2: Výpočet vertikálních válcových nádrží

ČSN EN 12573-4 Svařované stabilní beztlakové termoplastické nádrže – Část 4: Konstrukce a výpočet přírubových spojů

Výrobci plastových aparátů vydávají proto dokument o maximálním zatížení hrdel svých výrobků.

### **3.3.2. Omezení zatížení hrdel technickými normami**

#### **3.3.2.1. Omezení zatížení hrdel kotlů**

Max. dovolená zatížení hrdel pro topené kotle je předepsána v API 560 „Fired Heaters for General Refinery Service“

#### **3.3.2.2. Omezení zatížení hrdel parní turbíny**

Omezení zatížení hrdel u rotačních zařízení existuje z důvodů zabezpečení řádné funkce uvedených zařízení. Velké namáhání hrdel může způsobit lom, přílišnou deformaci základové konstrukce rotačních zařízení (v základové konstrukci jsou umístěna ložiska, která mohou prasknout nebo se jinak nefungovat). Toto vše se umocňuje u turbín, které jsou samy o sobě tepelně namáhané a dilatují.

Podle norem NEMA jsou udány tyto limity pro zatížení hrdel od potrubí: Limit 1a). Pro každé hrdlo platí – Výsledek součtu sil vynásobený třemi a součtu momentů musí být menší anebo rovný než konstantou vynásobený ekvivalentní průměr.

Limit 1b). Pro každé hrdlo platí – Hodnota každé ze složek sil a momentů musí být menší anebo rovný než konstantou vynásobený ekvivalentní průměr. Konstanta je pro každou složku jiná.

Limit 2. Pro součet sil a momentů hrdel vstupu a výstupu do turbíny platí. Výsledek součtu sil vynásobený dvěma a součtu momentů musí být menší anebo rovný než konstantou vynásobený ekvivalentní průměr.

Turbíny – omezení zatížení hrdel udává:

API 611 „General-Purpose Steam Turbines for Petroleum, Chemical, and Gas Industry Services“

NEMA SM23 Steam Turbines for Mechanical Drive Service

NEMA SM24 Land Based Steam Turbine Generator Sets 0 to 33,000 kW

Podobně se zatížení hrdel vypočítá i u odstředivých kompresorů podle:

API 617 „Centrifugal compressors“

### **3.3.2.3. Omezení zatížení hrdel čerpadel**

Omezení zatížení hrdel u čerpadel existuje z důvodů zabezpečení jejich řádné funkce. Velké namáhání hrdel může způsobit lom, minimálně však přílišnou deformaci bloku čerpadel, která má za následek špatnou funkci čerpadla.

V ČSN EN ISO 5199 byl podle celkového uspořádání čerpadla a nejčastěji používaných pracovních podmínek nalezen určitý počet skupin čerpadel. Maximální dovolené síly a momenty pro každou skupinu čerpadel jsou stanoveny ze základních hodnot, které jsou v této normě dány tabulkově a použitím příslušných součinitelů, u kterých se předpokládá, že nejvíce odpovídají každé skupině čerpadel.

Bylo tedy stanoveno šest skupin čerpadel s horizontální osou (každá je ještě členěna na A a B podle toho, zda je čerpadlo z litiny nebo ocelolitiny. Dále bylo stanoveno pět skupin čerpadel s vertikální osou, které jsou podle použitého materiálu členěny na stejné podskupiny.

Všechny hodnoty jsou určeny pro hodnoty při teplotě 20°C pro větší teploty se tato zatížení musí korigovat podle normy.

Omezení zatížení hrdel udává:

ČSN EN ISO 5199, Příloha B „Vnější síly a momenty na přírubách hrdel čerpadla“

API 610 „Centrifugal pumps for petroleum, petrochemical and natural gas Industries“

API 685 „Sealless Centrifugal Pumps for Petroleum, Heavy duty, Chemical, and Gas industry Services“

### 3.3.2.4. Omezení zatížení hrdel deskových výměníků

Zvlášť jsou předepsána max. dovolená zatížení hrdel pro vzduchem chlazené deskové výměníky, a to v ČSN EN ISO 15547-1. Naftový, petrochemický a plynárenský průmysl. Deskové výměníky tepla. Část 1: Deskové výměníky tepla s rámem a v ČSN EN ISO 15547-2. Naftový, petrochemický a plynárenský průmysl. Deskové výměníky tepla. Část 2: Hliníkové deskožebrové výměníky tepla pájené na tvrdo.

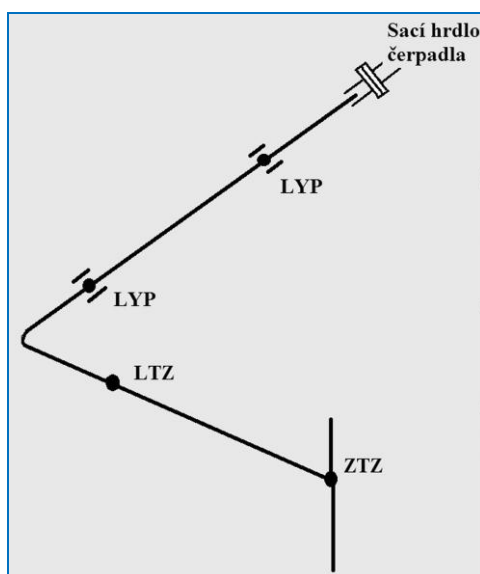
V USA jsou předepsány v normě API 661 „Air-cooled Heat Exchangers for General Refinery Service“.

### 3.3.2.5. Omezení zatížení hrdel ventilů

Max. dovolená zatížení hrdel armatur jsou například uvedeny v dokumentu: „Armatury pro zařízení a potrubí jaderných elektráren – Všeobecné technické požadavky VTP (OTT) 87. Příloha 4 „Hodnoty zatížení od potrubí“. Zde jsou definována nejen zatížení hrdel, ale i nejvyšší dovolené zrychlení v těžišti armatury od seizmického zatížení.

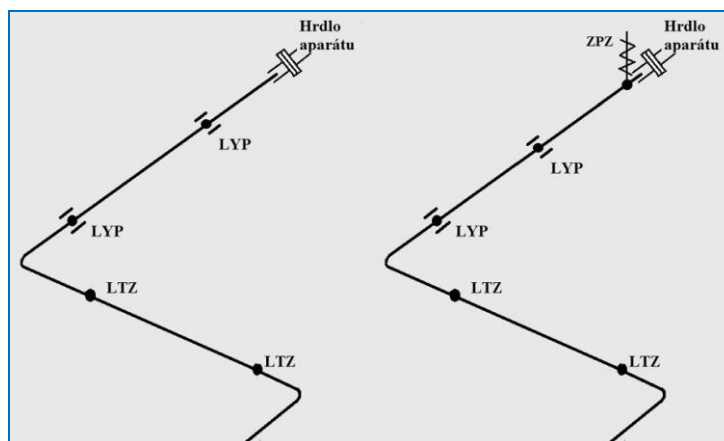
## 3.3.3. Konstrukce potrubí u hrdel vodorovných

### 3.3.3.1. Potrubí u vodorovných hrdel, pouze podpěrami



obr. 3.16 Uložení u sacího hrdla čerpadla





obr. 3.17 Uložení u bočního hrdla aparátu

Z uvedeného vyplývá, že limitující ve výpočtu je zatížení hrdel způsobené potrubím, a to z obou uváděných důvodů. Hrdla od potrubí mohou být zatížena zatíženími způsobující promární i sekundární napětí (např. vlastní hmotností potrubí, média, izolace, klimatickými zatíženími, tepelnou roztažností atd.) V případě, že po provedení výpočtu je zatížení hrdla od potrubí větší než dovolená zatížení, je nutné udělat změny, nejlépe v tomto pořadí: u dvou podpěr v přímém směru za sebou doplnit směrové zarážky, těsně u hrdla doplnit pružný závěs (to je účinné, jestliže se samo hrdlo svisle pohybuje), těsně u hrdla doplnit konstantní závěs. Toto platí v případě, že z nějakých důvodů není možné použít vlnovcový kompenzátor.

### 3.3.3.2. Potrubí u vodorovných hrdel, pomocí kompenzátorů

Podmínka použití kompenzátoru je relativně nižší vnitřní tlak, a to z toho důvodu, aby osová síla od kompenzátoru byla co nejmenší.

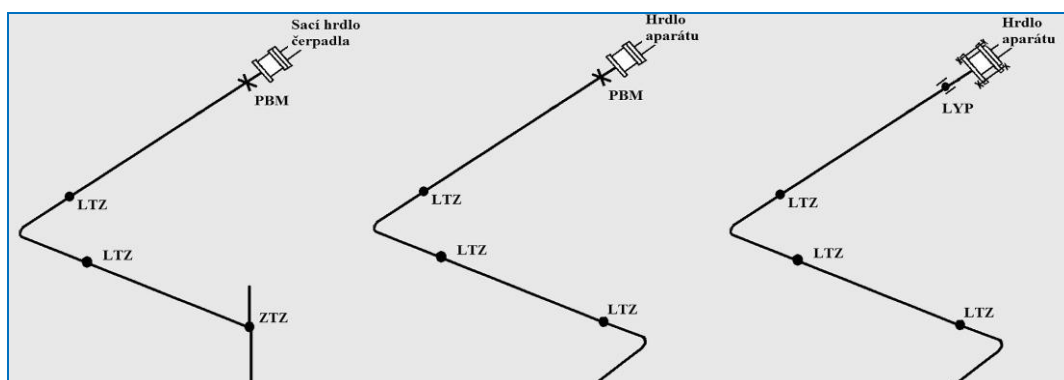
V případě, že je na hrdlo zapojen kompenzátor za účelem snížení zatížení hrdla, musí na druhé straně kompenzátoru být umístěn pevný bod.

Vnitřní podtlak/přetlak ve vlnovcovém kompenzátoru působí na okolní potrubí axiální silou. Síla je určena součinem velikosti vnitřního tlaku a efektivní plochy kompenzátoru. Tento efekt je však změněn tím, že bereme menší plochu, na níž působí vnitřní tlak  $p$ . Tato plocha je rozdíl mezi efektivní plochou kompenzátoru  $A_{ef}$  a plochou odpovídající kruhu o vnitřním průměru hrdla aparátu. Takže tlak pro axiální zatížení hrdla působí na takto vzniklé mezikružší.

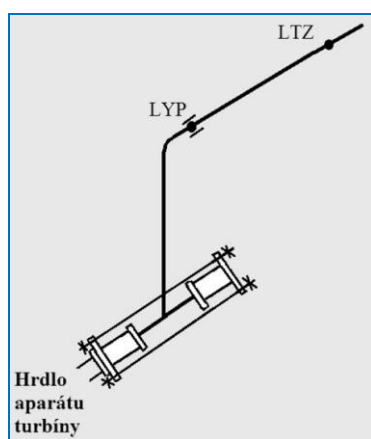
Zbytek síly odpovídající vnitřnímu tlaku ploše dané kruhem o vnitřním průměru hrdla aparátu nepůsobí na hrdlo zařízení či aparátu, ale přímo na těleso zařízení či aparátu.

Na pevný bod na druhé straně kompenzátoru však působí síla odpovídající vnitřnímu tlaku působícím na celý průřez  $A_{ef}$ .

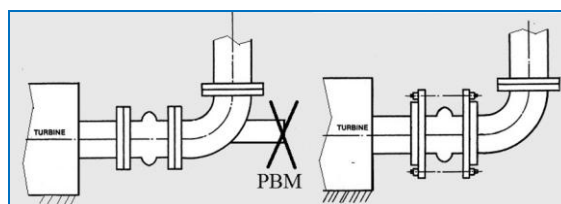
Avšak připoužití laterálního kompenzátoru tj. kompenzátor s táhly, se axiální síla přenáší právě těmito táhly.



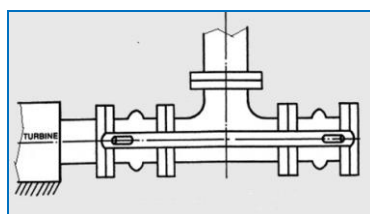
obr. 3.18 Uložení u sacího hrdla čerpadla a hrdla aparátu



obr. 3.19 Uložení u vodorovného hrdla aparátu anebo turbíny



obr. 3.20 Uložení u vodorovného hrdla turbíny I.



obr. 3.21 Uložení u vodorovného hrdla turbíny II.

Z uvedeného vyplývá, že limitující ve výpočtu je zatížení hrdel způsobené potrubím, a to z obou uváděných důvodů. Hrdla od potrubí mohou být zatížena zatíženími způsobující

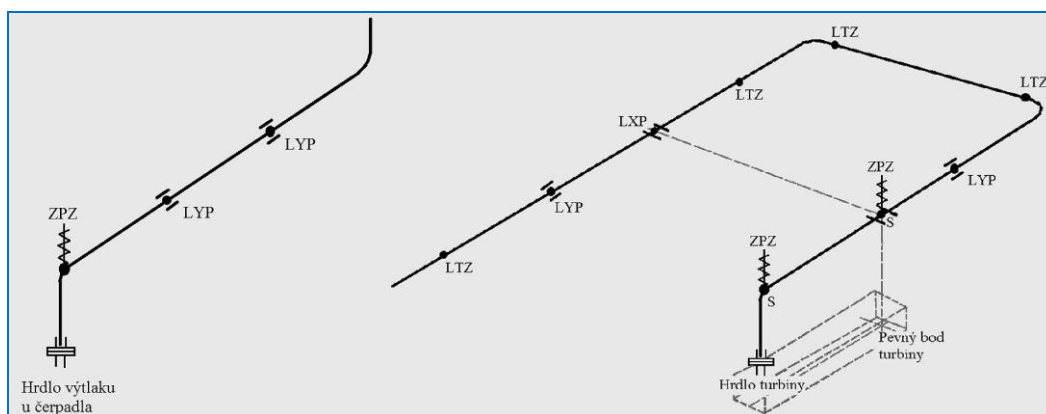
promární i sekundární napětí (např. vlastní hmotností potrubí, média, izolace, klimatickými zatíženími, tepelnou roztažností atd.) V případě, že po provedení výpočtu je zatížení hrdla od potrubí větší než dovolená zatížení, je nutné udělat změny, a to použitím dvojitého kompenzátoru, kde se nepříznivé síly vzájemně ruší.

### 3.3.4. Konstrukce potrubí u hrdel svislých horních

#### 3.3.4.1. Potrubí u svislých horních hrdel, pouze podpěrami

Příklad je u potrubí parní turbíny anebo i jiných zařízení, která má také svůj pevný bod.

Z uvedeného vyplývá, že limitující ve výpočtu je zatížení hrdel způsobené potrubím. Hrdla od potrubí mohou být zatížena zatíženími způsobující promární i sekundární napětí (např. vlastní hmotností potrubí, média, izolace, klimatickými zatíženími, tepelnou roztažností atd.) V případě, že po provedení výpočtu je zatížení hrdla od potrubí větší než dovolená zatížení, je nutné pevný bod simulovat na potrubí dvěma kluzáky s omezením pohybu čelního a do strany. Na hrdlo tak nebudou působit téměř žádné boční síly. Osovou sílu je nutné eliminovat pružným závěsem a jestliže ani ten nevyhoví, pak konstantním závěsem.



obr. 3.22 Uložení u výtlačného hrdla čerpadla anebo aparátu a turbíny

#### 3.3.4.2. Potrubí u svislých horních hrdel, pomocí kompenzátorů

Podmínka použití kompenzátorů je relativně nižší tlak, aby osová síla od kompenzátoru byla co nejmenší.

V případě, že je na hrdlo zapojen kompenzátor za účelem snížení zatížení hrdla, musí na druhé straně kompenzátoru být umístěn pevný bod.

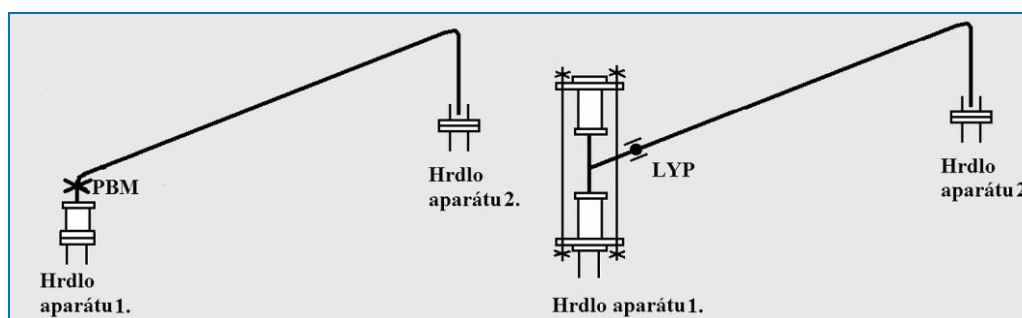
Vnitřní podtlak/přetlak ve vlnovcovém kompenzátoru působí na okolní potrubí axiální silou. Síla je určena součinem velikosti vnitřního tlaku a efektivní plochy kompenzátoru. Tento efekt je však změněn tím, že bereme menší plochu, na níž působí vnitřní tlak  $p$ . Tato plocha je rozdíl mezi efektivní plochou kompenzátoru  $A_{ef}$  a plochou odpovídající kruhu o

vnitřním průměru hrdla aparátu. Takže tlak pro axiální zatížení hrdla působí na takto vzniklé mezikružší.

Zbytek síly odpovídající vnitřnímu tlaku ploše dané kruhem o vnitřním průměru hrdla aparátu nepůsobí na hrdlo zařízení či aparátu, ale přímo na těleso zařízení či aparátu.

Na pevný bod na druhé straně kompenzátoru však působí síla odpovídající vnitřnímu tlaku působícím na celý průřez  $A_{ef}$ .

Z uvedeného vyplývá, že limitující ve výpočtu je zatížení hrdel způsobené potrubím, a to z obou uváděných důvodů. Hrdla od potrubí mohou být zatížena zatíženími způsobující promární i sekundární napětí (např. vlastní hmotností potrubí, média, izolace, klimatickými zatíženími, tepelnou roztažností atd.) V případě, že po provedení výpočtu je zatížení hrdla od potrubí větší než dovolená zatížení, je nutné udělat změny, a to použitím dvojitého kompenzátoru, kde se nepříznivé síly vzájemně ruší.



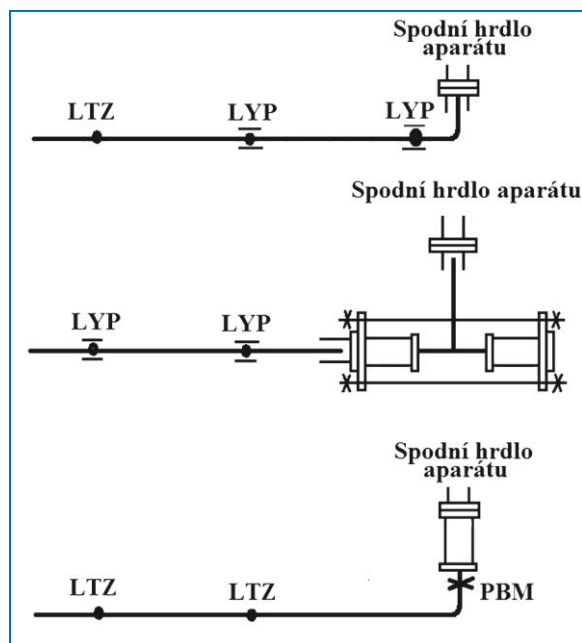
obr. 3.23 Uložení u hrdel turbíny a aparátů

Na uvedených obrázcích se pracuje s předpokladem, že hrdlo aparátu 2. se nepohybuje a je dostatečně pevně ukotveno v plášti aparátu (jinak řečeno hrdlo aparátu 2. není problematické a není třeba ho řešit).

### 3.3.5. Konstrukce potrubí u hrdel svislých spodních

#### 3.3.5.1. Potrubí u svislých spodních hrdel, pouze podpěrami

U spodního svislého hrdla můžeme předpokládat, že se nepohybuje svisle ve velkém rozsahu, neboť vzdálenost od uložení bývá malá, čímž nevytváří velkou axiální reakci. Toto bývá zvládnutelné dostatečnou vzdáleností první podpěry od hrdla. Boční síly na hrdlo by se měly zvládnout dvěma kluzáky s bočním vedením s co největší vzájemnou vzdáleností.



obr. 9.3.24 Uložení u spodních hrdel aparátů

### 3.3.5.2. Potrubí u svislých spodních hrdel, pomocí kompenzátorů

V případě, že zatížení hrdla je překročeno je možné použít vlnovcový kompenzátor. Podmínka pro použití je relativně nižší tlak, aby osová síla od kompenzátoru byla co nejmenší.

V případě, že je na hrdlo zapojen kompenzátor za účelem snížení zatížení hrdla, musí na druhé straně kompenzátoru být umístěn pevný bod.

Vnitřní podtlak/přetlak ve vlnovcovém kompenzátoru působí na okolní potrubí axiální silou. Síla je určena součinem velikosti vnitřního tlaku a efektivní plochy kompenzátoru. Tento efekt je však změněn tím, že bereme menší plochu, na níž působí vnitřní tlak  $p$ . Tato plocha je rozdíl mezi efektivní plochou kompenzátoru  $A_{ef}$  a plochou odpovídající kruhu o vnitřním průměru hrdla aparátu. Takže tlak pro axiální zatížení hrdla působí na takto vzniklé mezikružší.

Zbytek síly odpovídající vnitřnímu tlaku ploše dané kruhem o vnitřním průměru hrdla aparátu nepůsobí na hrdlo zařízení či aparátu, ale přímo na těleso zařízení či aparátu.

Na pevný bod na druhé straně kompenzátoru však působí síla odpovídající vnitřnímu tlaku působícím na celý průřez  $A_{ef}$ .

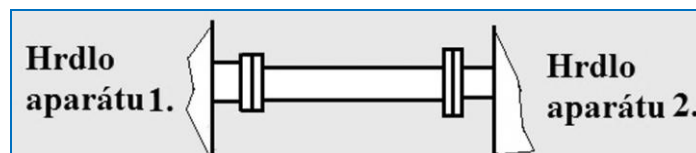
### 3.3.6. Příklady špatného řešení potrubí z hlediska přetížení hrdel

#### 3.3.6.1. Velký pohyb hrdla anebo malé dovolené zatížení hrdla.

Přesné napěťové poměry lze získat jedině výpočtem. Je však vždy lacinější zesílit hrdlo, než vymýšlet komplikovaná uložení potrubí tak, aby se do malého dovoleného zatížení hrdla vešla.

### 3.3.6.2. Blízká vzdálenost hrdla a pevného bodu

V případě umístění pevného bodu a hrdla vedle sebe v takové vzdálenosti, která neumožňuje dostatečnou pružnost potrubí, a to za podmínky, že médium má jinou teplotu, než při které probíhala montáž, může dojít k příliš velkému napětí v potrubí anebo příliš velké síle na hrdle. Podobné je to, jestliže jsou dvě hrdla od různých zařízení spojena přímo nejkratší cestou – viz obr. dále. I zde je toto řešení nevyhovující z důvodu malé kompenzace tepelné roztažnosti.



obr. 3.25 Přímé spojení dvou hrdel

Jistěže i přímé potrubí má nějakou pružnost, ale ve většině případů tato pružnost nestačí na kompenzaci napětí v potrubí anebo zmenšení sil na hrdle. Uvedené vzniká zabráněnou tepelnou roztažností, způsobenou jinou teplotou média při provozu než při montáži. Z těchto důvodů je nutné, aby byl pevný bod od hrdla oddělen nějakým potrubním ohybem, obloukem či kolenem či podobnou změnou směru potrubí. V takovémto případě je část potrubí namáhána ohybem, který má řádově příznivější pružnost. Přesné napěťové poměry v potrubí a silové poměry na hrdle lze získat jedině výpočtem.

### 3.3.6.3. Použití vlnovcového kompenzátoru na hrdle v případě velkého tlaku média

V případě, že je na hrdlo zapojen kompenzátor, musí na druhé straně kompenzátoru být umístěn pevný bod. Vnitřní podtlak/přetlak ve vlnovcovém kompenzátoru působí na okolní potrubí axiální silou. Síla je určena součinem velikosti vnitřního tlaku a efektivní plochy kompenzátoru. Tento efekt je však změněn tím, že bereme menší plochu, na níž působí vnitřní tlak  $p$ . Tato plocha je rozdíl mezi efektivní plochou kompenzátoru  $A_{ef}$  a plochou odpovídající kruhu o vnitřním průměru hrdla aparátu. Takže tlak pro axiální zatížení hrdla působí na takto vzniklé mezikruží.

Zbytek síly odpovídající vnitřnímu tlaku ploše dané kruhem o vnitřním průměru hrdla aparátu nepůsobí na hrdlo zařízení či aparátu, ale přímo na těleso zařízení či aparátu. Avšak při velkém tlaku se může běžně stát, že je překročena axiální síla.

Na pevný bod na druhé straně kompenzátoru však působí síla odpovídající vnitřnímu tlaku působícím na celý průřez  $A_{ef}$ .

## 4. Návrh potrubí pro speciální podmínky

### 4.1. Potrubí při dynamickém zatěžování

#### 4.1.1. Odstranění kmitání potrubí

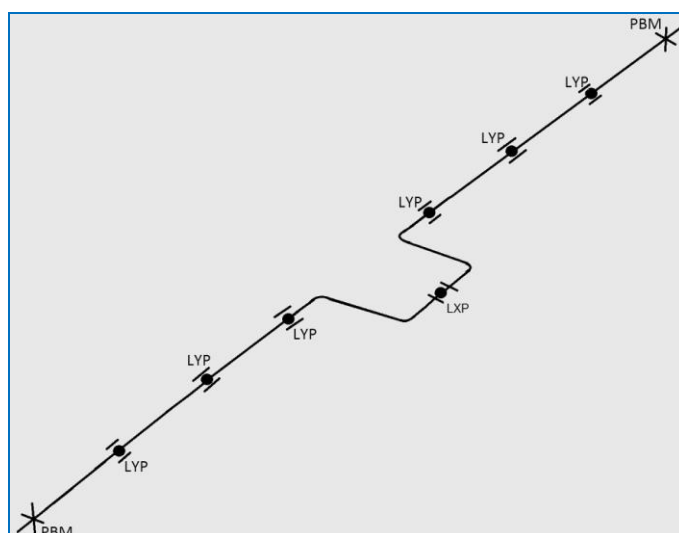
##### 4.1.1.1. Zásah do tvaru kmitání

To jednoduše znamená umístit podpěru tak, aby nemohl být realizován tvar kmitu. Nebezpečí je, že se tímto nastaví jiné modální spektrum i s mody, které mohou být opět rezonanci, což ve výsledku znamená umístění více podpěr.

Všeobecně platí, že čím jsou podpěry instalovány hustěji a čím je potrubí staticky více neurčitější, tím menší počet nízkých vlastních frekvencí potrubí má. Anebo obráceně: čím větší necháme volnost, tím více má potrubí vlastních frekvencí v nižším spektru.

Řešení je tak co nejutaženější uložení potrubí, avšak přesně kromě pohybů sloužících k tepelné kompenzaci, například podle obrázku dále.

U každé dynamiky se musí postupovat tak, aby se snížila možnost kmitání o nízkých vlastních frekvencích, které jsou nejvíce nebezpečné. To znamená co nejvíc podpěr. Všeobecně platí, že čím jsou podpěry instalovány hustěji a čím je potrubí staticky více neurčitější, tím menší počet nízkých vlastních frekvencí potrubí má. Anebo obráceně: čím větší necháme volnost, tím více má potrubí vlastních frekvencí v nižším spektru. Další podmínka je existence nějakého budícího kmitání o podobné frekvenci, jako je některá vlastní, čímž nastává rezonance.



obr. 4.1 Příklad co nejutaženějšího potrubí, které zároveň umožňuje kompenzaci tepelné roztažnosti

#### 4.1.1.2. Přeladění potrubí

Přeladění vlastní frekvence znamená upravit potrubí tak, aby některá z vlastních frekvencí nebyla v rezonanci s budící frekvencí od rotačních strojů, prouděním tekutiny a prouděním větru okolo potrubí. Přeladění je vhodné tehdy, když je budící spektrum jednoznačné, tj. harmonické a můžeme je provádět těmito způsoby:

Změna hmotnosti a tuhosti potrubí může znamenat:

- Vložení vlnovcového kompenzátoru, tj. oddělení zařízení, které budí vibrace od ost. potrubí např. vložení vlnovcového kompenzátor
- Zeslabení nebo zesílení tloušťky stěny trubky. Dovoluje-li to statická bezpečnost potrubí. Mění se tak tuhost potrubí
- Instalace dodatečné hmotnosti, např. závaží. Instaluje se na takové místo, které změní vlastní frekvenci potrubí

Změna tuhosti podpěr znamená instalaci:

- Vibroizolační komponenty na bázi speciálních pružin. U speciálních pružin dochází k mírnému tření uvnitř pružiny a maří tak energii, avšak především mění vlastní frekvenci potrubí, patří tak do obou skupin metod omezování vibrací.
- Změna tuhosti pružného závěsu nebo podpěry. Někdy je možné i zaměnit druh pružiny, např. ocelovou za pryžovou (silentblok).
- Instalace pružné podpěry namísto tuhé a naopak.

#### 4.1.1.3. Zatlumení potrubí

Zatlumení provádíme speciálními typy tlumících komponentů uložení.

Vibroizolační komponenty na bázi pružin. U speciálních pružin dochází k mírnému tření uvnitř pružiny a maří tak energii, avšak především mění vlastní frekvenci potrubí, patří tak do obou skupin metod omezování vibrací.

Použití kluzných podpěr s definovaným koeficientem tření znamená použití podpěr s přesně definovaným koeficientem tření. Kluzná podpěra funguje při vibraci jako omezovač kmitání, kdy maří energii třením. Čím větší je koeficient tření, tím větší je zmařená energie kmitání.

Použití omezovače kmitání. *Omezovač kmitání (sway brace, sway suppressor)* je zařízení, které na základě předpětí působí na kmitající potrubí tlumící silou. Funkce omezovače kmitání se děje na základě pružné deformace ocelového pláště omezovače, do kterého pronikají dva klíny ve tvaru komolého jehlanu a maří tak energii vibrace.

Použití tlumiče rázů. *Tlumič rázů (otřesů) (snubber, shock arrester)* je zařízení, které je samouzavírací nebo samobrzdicí pro omezení rychlých posuvů v jednom nebo více směrech potrubní sítě podrobené dynamickému zatížení, zatímco připouští pomalé pohyby (takové jako od teplotních dilatací) v těchto směrech. Tlumiče rázů se používají v konstrukci



potrubí pro ovládání pohybů potrubí během událostí jako je zemětřesení nebo rychlé uzavírání armatur, nejsou konstruovány pro přenos tíhy od vlastní hmotnosti potrubních prvků. Tlumiče rázů musí umožňovat statická posunutí např. od tepelné dilatace. Rozsah aktivační rychlosti je v rozmezí 3 až 5 mm/s a naopak uvolňovací rychlost je mezi 0,2 až 2 mm/s. Tlumiče rázů fungují při frekvenci mezi 0,5Hz až 50Hz.

#### 4.1.2. Potrubí v případě existence hydraulického rázu

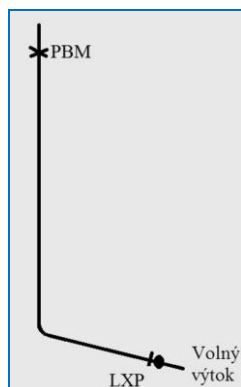
U každé dynamiky se musí postupovat tak, aby se snížila možnost kmitání o nízkých vlastních frekvencích, které jsou nejvíce nebezpečné. To znamená co nejvíc podpěr. Všeobecně platí, že čím jsou podpěry instalovány hustěji a čím je potrubí staticky více neurčitější, tím menší počet nízkých vlastních frekvencí potrubí má. Anebo obráceně: čím větší necháme volnost, tím více má potrubí vlastních frekvencí v nižším spektru. Další podmínka je existence nějakého budícího kmitání o podobné frekvenci, jako je některá vlastní, čímž nastává rezonance.

Dále můžeme instalovat podpěry co nejbíže působíště rázových sil, kamse potom promítné reakce těchto rázových sil. Při instalaci dodatečných podpěr musí být zachována možnost nezabráněné tepelné roztažnosti.

Zde je navíc možné řešení instalací zvláštních hydraulických prvků, například nádob s membránou, na jejíž druhé straně je stlačený plyn, které zmenšují hydraulický ráz.

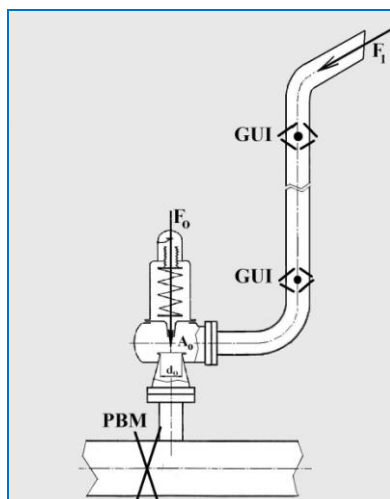
Špatně navržené potrubí z hlediska statických hydraulických zatížení znamená nepochopení, kde se při proudění kapaliny tvoří reakce na potrubí. Každá síla, vznikající ustáleným prouděním a nemající vazbu na stejnou sílu opačné orientace přímo v potrubí, musí být zachycena uložením potrubí zvenčí.

U potrubí umožňující volný výtok je třeba zachytit jako reakci sílu, která je vyvolaná součinem váhového množství a rychlostí výtoku. Při instalaci dodatečných podpěr musí být zachována možnost nezabráněné tepelné roztažnosti. Na obrázku je vodorovný volný výtok.



obr. 4.2 Shema uložení jako reakce od působení síly od volného výtoku

Potrubí okolo pojišťovacího zařízení. U výfukového potrubí existuje ta samá reakční síla jako u volného výtoku. Tato síla je zachycena dvojicí vedení. Vedení proto, že výfukové potrubí se po otevření pojišťovacího ventilu začne ohřívat. Dále je nutné instalovat pevný bod u odbočky z hlavní větve k pojišťovacímu ventilu. Tento pevný bod je zde nutný z důvodů existence koncentrátoru napětí v téčku a dále je nutné zachytit reakci vznikající v sedle ventilu. Při instalaci dodatečných podpěr musí být zachována možnost nezabráněné tepelné roztažnosti.



obr. 4.3 Schema uložení jako reakce od působení sil  $F_0$  a  $F_1$  u pojišťovacího ventilu

#### 4.1.3. Uložení potrubí pro případ zemětřesení

V první řadě je to zásah do frekvenčního modu, zejména do tvaru kmitání, tj. zamezení tvarů kmitání uložním a tím i zrušení kmitání zejména o nízkých frekvencích. To znamená, že dojde ke zmenšení možnosti, aby se do kmitání zapojily velké hmotnosti potrubí. Platí zde tak v plném rozsahu kapitola 9.4.1.1.1. Zásah do tvaru kmitání .

Dále je zde možnost použití tlumičů a jiných opatření již popsaných v dílu 3., který se jako celek zabývá dynamikou potrubí.

### 4.2. Konstrukce potrubí při jeho ukládání na nezkonsolidovaném či nestabilním podloží

#### 4.2.1. Výhody a nevýhody povrchového a podzemního potrubí v případě nestabilního podloží

Nestabilní (nezkonsolidované, poddolované atd.) potrubí by mělo být definováno předem geologickou službou a přehled by měl mít i stavební úřad. Aby takovéto potrubí bylo řešitelné, musíme mít nestabilitu zeminy či nejpřesněji definovanou. A to jak územně, tak kvantitativně. V některých případech není možné se při tvorbě trasy vyhnout nezkonsolidovanému, poddolovanému anebo jinak nestabilnímu podloží.

V první řadě je nutno rozhodnout, zda je dobré a za jakých podmínek je možné, trasovat potrubí pod zemí anebo je nutné potrubí instalovat na povrchu. Musíme si tedy vyjmenovat výhody a nevýhody povrchového a podzemního potrubí.

Výhody povrchového potrubí:

- Je možné jednodušeji kontrolovat úniky tekutiny a poruchy potrubí
- Je možné jednodušeji kontinuálně sledovat všechny prvky stárnutí potrubí
- Je možné jednoduše sledovat všechny reálné pohyby podpěr, s tím, že nesmějí překročit maximální hodnoty. Není tak nutné vhodným způsobem (např.: tenzometricky) sledovat napjatost v potrubí přímo.
- Je-li nutná kompenzace tepelné roztažnosti, je možné ji realizovat jednodušeji, tj. deformacemi při změně tvaru potrubí, toto lze u podzemního potrubí řešit jen obtížně pomocí „polštářů“.
- Je jednodušší údržba
- Je zde výrazně menší rozsah zemních prací

Výhody podzemního potrubí

- V případě, že na povrchu je málo místa, např. v úzké ulici a při souběžném vedení komunikace, chodníků atp je velmi vhodné ji použít.
- Také je jednoduché dostat se z jedné strany potrubí na druhou
- Po stavbě nejsou po potrubí žádné stopy v krajině ani v životním prostředí
- Je rovnoměrnější tepelná roztažnost, teplota potrubí se nemění např. působením slunečního záření.

V každém případě je v obou případech nutné vhodným způsobem sledovat pohyb podloží v hloubce uložení potrubí anebo vhodným způsobem (např.: tenzometricky) sledovat napjatost v potrubí.

Je tedy jasné, že v takovémto případě nestabilního podloží je bezpečnější, jednodušší a lacinější přiklonit se k nadzemnímu potrubí.

## **4.2.2. Řešení povrchového potrubí na nestabilním podloží**

### **4.2.2.1. Řešení trasy a kompenzace tepelné roztažnosti a poklesu podpěr**

Jestliže máme úsek s nestabilním podložím, je výhodné si ho oddělit pevnými body od ostatního potrubí, a to z toho důvodu, aby se negativní jevy vznikající v úseku s nestabilním podložím nepřenášely dále do potrubí s podložím stabilním. Další pevné body instalované uvnitř zóny s nestabilním podložím jsou nevhodné, neboť je těžké zajistit jeho seřizování v případě pohybu podloží. Jestliže přesto pevný bod instalujeme, musí se počítat s tím, že pevný bod uvnitř zóny s nestabilním podložím se bude pohybovat tak, jak mu to

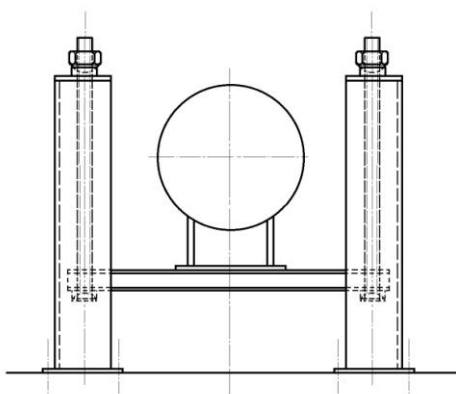
nestabilní podloží dovolí. Proto musí být výpočtem určen maximální pokles pevného bodu a postup, jak vrátit pevný bod do nivelety.

Mezi pevnými body se musí instalovat kluzné podpěry speciální konstrukce, které umožní vyrovnávat potrubí do nivelety při předem daném poklesu, který se získá výpočtem.

Poklesem podpěr se zvětší potřeba délky potrubí. Tuto délku je nutné kompenzovat vhodným tvarem potrubí, eventuálně i axiální vlnovcovým kompenzátorem. Kompenzátor tvarem může být U-kompenzátor anebo trasa potrubí ve tvaru cik cak (ve zmiňovaném tvaru). Podobně se může kompenzovat i tepelná roztažnost potrubí.

#### 4.2.2.2. Konstrukce kluzné podpěry

Konstrukce kluzné podpěry musí umožňovat pohyb potrubí v posunech a rotacích podle všech tří os. Na příkladu konstrukce uvedeném na obrázku dole se posuvy podle dvou vodorovných os umožní kluzem mezi konstrukcí patky a příčným nosníkem. Pohyb podle svislé osy se dorovnáva maticí a závitovými tyčemi.



obr. 4.4. Příklad konstrukce kluzné podpěry

Zrovna tak, tj. maticí závitovými tyčemi, které jsou výkyvné, se může vyrovnat rotace podle osy totožné (tj. pohyb podloží způsobující turo rotaci) s osou potrubí. Pohyb pohloží způsobující rotaci podél svislé osy se umožní skluzem mezi mezi patkou a příčným nosníkem. A nakonec pohyb podloží způsobující rotaci okolo vodorovné osy, kolmé k potrubí, se umožní výkyvem závitové tyče.

#### 4.2.3. Řešení podzemního potrubí na nestabilním podloží

V případě, že je přesto nutné vést potrubí na nestabilním podloží pod zemí. Je nutné na základě geotechnických podkladů provést výpočet tohoto potrubí, který by jasně definoval maximální dovolené posuvy. Je možné v rámci výpočtu tyto dovolené posuvy zvětšit instalací osového kompenzátoru.

Poté je nutné pohyby nestabilní zeminy kontrolovat vhodnými snímači a ještě před poruchou potrubí provést zákrok vybagrováním zeminy a vyrovnáním potrubí.

Také je možná kontrola napjatosti přímo na potrubí např. tenzometry.

### 4.3. Potrubí pro tekutiny o nízkých a velmi nízkých teplotách

#### 4.3.1. Základní rozdělení

Jsou dvě hlavní skupiny média, kde se nízké teploty používají:

- *Kryogenní kapaliny*, nazývané někdy krátce kryogeny, jsou látky, které mají za normální teploty a běžného tlaku plynné skupenství. Při zchlazení na velmi nízkou teplotu se však stávají kapalinami. Bod jejich varu bývá zpravidla nižší než  $-150\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Jednotlivé kryogeny se stávají kapalinami za různých tepelných podmínek a různých tlaků, ale pro všechny je společné to, že jsou extrémně chladné a že i z jejich malého množství může vzniknout velký objem plynu.

- *Chladiva* jsou chemické látky nebo směsi látek používané v tepelném cyklu, kde podléhají fázové přeměně z plynu na kapalinu a zpět. Hlavní oblasti použití chladiv jsou chladničky/mrazničky, klimatizace a tepelné čerpadlo.

Americký Národní institut standardů a technologie stanovil hranici mezi chlazením a kryogikou na  $93,15\text{ K}$  ( $-180^{\circ}\text{C}$ ), ale existují i jiná rozdělení.

#### 4.3.2. Vlastnosti tekutin

Chladiva se dělí na *CFC* (*chlorfluorované uhlovodíky*) a další halogenderiváty, *uhlovodíky* a *ostatní látky* (čpavek, voda, helium, vzácné plyny atd.)

Kryogenní tekutiny jsou při vypařování bez zápachu, chuti a bezbarvé. S kryogenními tekutinami je třeba pečlivě zacházet, protože mohou způsobit popáleniny kůže a omrzliny. Tabulka níže uvádí uvedené teploty kapaliny a poměr kapaliny k expanznímu poměru plynu některých běžných kryogenních materiálů:

| Kryogenní tekutiny | Teplota kapaliny ( $^{\circ}\text{C}$ ) | Expanzní poměr objemu kapaliny k plynu |
|--------------------|---|--|
| Kyslík             | -183                                    | 1: 860                                 |
| Dusík              | -196                                    | 1: 696                                 |
| Metan              | -162                                    | 1: 579                                 |
| Helium             | -269                                    | 1: 757                                 |
| Argon              | -186                                    | 1: 847                                 |
| Vodík              | -253                                    | 1: 851                                 |
| Fluor              | -187                                    | 1: 888                                 |

tab. 4.1. Kryogenní tekutiny

### 4.3.3. Vlastnosti potrubních materiálů

Hlavní eliminace křehkého lomu spočívá ve výběru materiálu.

*Oceli.* Musí být použitý materiál, který je v souladu s ČSN EN 13 480-2 Kovová průmyslová potrubí, část 2. Materiály. V normě jsou uvedeny i nejnižší teploty pro použití materiálů v tlakových sestavách. Dále musí být dodrženy minimální požadavky na nárazovou práci (v  $J$ ) anebo vypočítanou vrubovou houževnatost (v  $J/cm^2$ ), při stanovených teplotách. Pro nízké teploty musí být prokázáno dodržení hodnoty vrubové houževnatosti stanovené harmonizovanou normou a provedené pro teplotu TS. Pokud podle jiných kritérií nejsou požadovány jiné hodnoty, které je nutné brát v úvahu, považuje se ocel za dostatečně tažnou, aby vyhověla hodnotám menším než 14 % a její nárazová práce při zkoušce rázem v ohybu měřená na zkušební tyči s  $V$  vrubem podle ISO není menší než 27 J (eventuálně 40J) při teplotě, která nepřekračuje 19 °C, avšak není vyšší než nejnižší předpokládaná pracovní teplota.

Příklady vhodných evropských ocelí:

| Označení materiálu | Materiálové číslo | Minimální použitelná teplota °C | Evropská norma EN    |
|--------------------|-------------------|---------------------------------|----------------------|
| P275NL1            | 1.0488            | -40                             | EN10217-3            |
| P275NL2            | 1.1104            | -50                             | EN10217-3            |
| P355N, P355NH      | 1.0562, 1.0565    | -20                             | EN10216-3, EN10217-3 |
| P355NL1            | 1.0566            | -40                             | EN10216-3, EN10217-3 |
| P355NL2            | 1.1106            | -50                             | EN10216-3, EN10217-3 |
| P690Q, P690QH      | 1.8879, 1.8880    | -10                             | EN10216-3            |
| P690QL1            | 1.8881            | -30                             | EN10216-3            |
| P690QL2            | 1.8888            | -40                             | EN10216-3            |
| P460N, P460NH      | 1.8905, 1.8935    | -20                             | EN10216-3, EN10217-3 |
| P460NL1            | 1.8915            | -40                             | EN10216-3, EN10217-3 |

Tab. 4.2. Jemnozrné oceli - příklady ocelí

| Označení materiálu | Materiálové číslo | Minimální použitelná teplota °C | Evropská norma EN               |
|--------------------|-------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| P215NL             | 1.0451            | -40                             | EN10216-4, EN10217-4, EN10217-6 |
| P255QL             | 1.0452            | -50                             | EN10216-4                       |
| P265NL             | 1.0453            | -40                             | EN10216-4, EN10217-4, EN10217-6 |
| 12Ni14             | 1.5637            | -100                            | EN10216-4                       |
| X12Ni5             | 1.6217            | -60                             | EN10216-4                       |
| X10Ni9             | 1.5682            | -196                            | EN10216-4                       |
| 26CrMo4-2          | 1.7219            | -60                             | EN10216-4                       |

Tab. 4.3. Oceli pro nízké teploty - příklady ocelí

| Označení materiálu | Materiálové číslo | Minimální použitelná teplota °C | Evropská norma EN    |
|--------------------|-------------------|---------------------------------|----------------------|
| X5CrNi18-10        | 1.4301            | -196                            | EN10216-5, EN10217-7 |
| X2CrNi19-11        | 1.4306            | -196                            | EN10216-5, EN10217-7 |
| X2CrNi18-9         | 1.4307            | -196                            | EN10216-5, EN10217-7 |
| X2CrNiN18-10       | 1.4311            | -196                            | EN10216-5, EN10217-7 |
| X1CrNi25-21        | 1.4335            | -196                            | EN10216-5            |
| X5CrNiMo17-12-2    | 1.4401            | -196                            | EN10216-5, EN10217-7 |
| X2CrNiMo17-12-2    | 1.4404            | -196                            | EN10216-5, EN10217-7 |
| X2CrNiMoN 17-13-3  | 1.4429            | -196                            | EN10216-5, EN10217-7 |
| X2CrNiMo18-14-3    | 1.4435            | -196                            | EN10216-5, EN10217-7 |
| X3CrNiMo 17-13-3   | 1.4436            | -196                            | EN10216-5, EN10217-7 |
| X2CrNiMoN 17-13-5  | 1.4439            | -196                            | EN10216-5, EN10217-7 |

Tab. 4.4. Korozivzdorné oceli - příklady ocelí

Příklady vhodných amerických ocelí:

| Označení materiálu  | Minimální použitelná teplota °C |
|---|---------------------------------|
| SA-333 Stupeň 1   | -46                             |
| SA-333 Stupeň 7   | -73                             |
| SA-333 Stupeň 3   | -101                            |
| SA-333 Stupeň 8   | -196                            |
| Austenitická nerez. ocel (třída 304, 304L, 321, 347)        | -254                            |
| Austenitická nerez. ocel (stupeň 316, 316L, 316 Ti, 316 Nb) | -196                            |

Tab. 4.5. Příklady amerických ocelí

*Měď* je při dodržení příslušných pravidel možno použít při teplotě v rozmezí -269°C až do +250°C. Cu-DHP je dezoxidovaná měď s přesnou přísadou fosforu (0,015 až 0,040%). Dále je chemicky odolná všem běžně používaným chladivům snad kromě čpavku a oxidu siřičitého a z ostatních sloučenin nesmí zejména přijít do styku s acetylénem, chlorovodíkem a sirovodíkem

Měděné trubky mohou být dodávány ve stavu měkkém (žíhaném) s pevností 220MPa – označení R220, polotvrdém s pevností 250MPa s označením R250 a tvrdém s pevností 290 MPa s označením R290. Slitina CuFe2P je měď nízko legovaná železem, je vhodná pro vysokotlaké použití.

Spojování potrubí může být pájením, svařováním a speciálními lisovacími tvarovkami.

| Označení materiálu | Materiálové číslo | Minimální použitelná teplota °C | Evropská norma EN |
|--------------------|-------------------|---------------------------------|-------------------|
| Cu -DHP            | 2.0090            | -269                            | EN 12735-1        |

|         |  |      |            |
|---------|--|------|------------|
| Cu Fe2P |  | -269 | EN 12735-1 |
|---------|--|------|------------|

Tab. 4.6. Mědi a její slitiny

| Označení materiálu   | Minimální použitelná teplota °C |
|--|---------------------------------|
| Hliníková slitina (1100, 3003, 5052, 5083, 6061, 5086)     | -254                            |
| Slitina mědi (C10200/C12200), slitina mědi (70600, C71500) | -198                            |
| Monel 400  | -198                            |

Tab. 4.7. Americké neželezné slitiny

#### 4.3.4. Izolace před únikem chladu

Všechny kryogenní potrubní a potrubní systémy s častým používáním jsou izolovány pomocí některého z následujících kryogenních typů izolace:

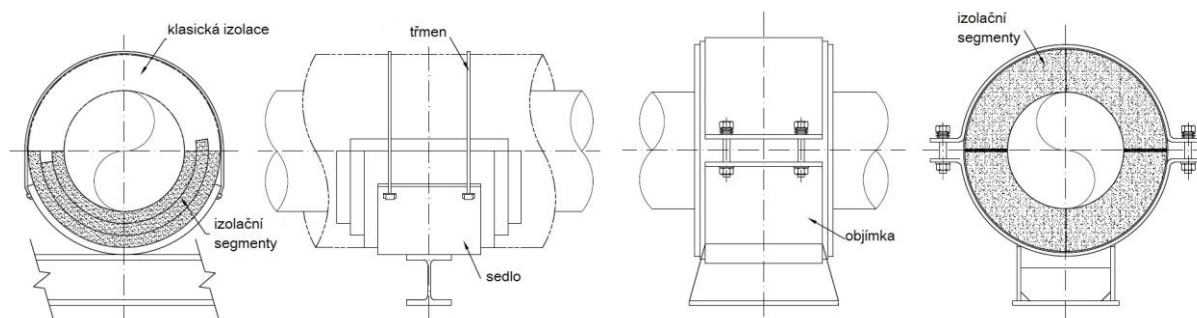
- Expandové pěny (např. pěnové sklo, polyuretan)
- Prášková izolace (např. perlit)
- Vakuová izolace
- Evakuovaný prášek a vláknitá izolace

Hlavním cílem kryogenního izolačního systému potrubí je vytvořit bariéru, která by udržela atmosférickou vlhkost před vnikem do izolačního prostoru. Potrubí s chladicí látkou je nutné izolovat minimálně tak, aby se zvýšila teplota na jejím vnějším povrchu nad teplotu rosného bodu okolního vzduchu. Kryogenní izolace se aplikuje ve více vrstvách. I za tohoto stavu však stále dochází k prostupu vodní páry izolací směrem k chladnému potrubí. Vlhkost v takovémto případě prostupuje izolací a pak kondenzuje. Což výrazně zvyšuje korozní změny na potrubí. Může také dojít k hromadění vody nebo ledu, což má za následek snížení výkonu.

#### 4.3.5. Podpěry kryogenního potrubí

Aby se zabránilo tepelnému přenosu z interiéru potrubí do okolních konstrukcí, musí být podpěry tepelně nevodivé. Proto jsou objímky provedeny z venku izolace, aby nezpůsobovaly tepelné mosty. V objímkách jsou tepelně izolační jádra, která mají zároveň pevnost tak velkou, aby unesla váhu potrubí. Další nutnou vlastností je nepropustnost vlhkosti k vlastnímu potrubí. Proto se objevují takovéto konstrukce:





Obr. 4.4. Provedení kryobenních podpěr

#### 4.3.6. Armatury kryogenního potrubí

Hlavním rozdílem mezi kryogenními ventily ze standardních ventilů je to, že jsou schopny pracovat při tak nízkých teplotách s vysokými tlaky. To je důvod, proč ventily pro kryogenní aplikace musí být navrženy pro vysoký výkon a skutečně nulový únik.

Kódy a normy používané pro kryogenní ventily jsou:

- EN 12567, EN 1626, EN 12300
- ISO 28921-1, ISO 21011, ISO 10497
- ASME B16.34

Kryogenní ventily mají obvykle prodloužená tělesa ventilu okolo vřetena tak, aby těsnění vřetena ventilu bylo drženo mimo studený zdroj. To bude sloužit dvěma důležitým účelům:

- Těsnění stonku ventilu budou mít relativně vyšší teplotu.
- Mezi potrubím a pákou/ručním kolečkem pracujícím s ventilem bude dostatek místa.

Kryogenní ventily mohou odolávat tlaku od absolutního vákua do 700 barů a teplotě až - 254<sup>0</sup> C. Obvyklé materiály, které se používají pro stavbu kryogenního ventilu, jsou hliník, monel, mosaz, bronz, nerezová ocel, inkolé, zirkonium atd. PTFE nebo grafit se obvykle používá jako těsnící materiál.

#### 4.3.7. Výpočet potrubí pro tekutiny mající nízké a velmi nízké teploty

##### 4.3.7.1. Výpočet podle mezních stavů

Výpočet se má zabývat všemi mezními stavy. Jsou to:

- Mezní stavy únosnosti, které se vztahují k takovému vzniku poruchy, která může ohrozit vlastní funkci potrubí anebo bezpečnost lidí. Vlastní funkce potrubí, tj. dopravovat tekutinu, může být způsobenou poruchou narušena. Mezní stav únosnosti nesmí být porušen po dobu plánované životnosti potrubí.
- Mezní stavy použitelnosti (také se používá název: stav omezeného poškození), které se vztahují k takovému vzniku poruchy, která neohrožuje vlastní funkci potrubí ani

bezpečnost lidí. Vlastní funkce potrubí, tj. dopravovat tekutinu, nesmí být způsobenou poruchou narušena.

Seznam mezních stavů pro potrubí je uveden v dílu 1 této série.

#### **4.3.7.2. Mezní stavy, které potřebují zvláštní pozornost**

Mezní stav - materiálová křehkost. U některých materiálů dochází při snižování teploty k tzv. přechodové teplotní oblasti, tj. k prudkému snížení plastických vlastností. Původně plastický materiál přechází, při snižování teploty, do křehkého stavu. Tím, za určitých podmínek, vzniká nebezpečí křehkého lomu. Rizika pro vznik křehkého lomu jsou:

- Vysoká rychlost zatěžování, rázy.
- Velká tloušťka materiálu
- Teplota pod přechodovou oblastí materiálu
- Existence mikrotrhliny kolmo na hlavní napětí
- Koroze

*Křehký lom* je náhlý nestabilní lom, který nastává při nominálním napětí, které je nižší než makroskopická mez kluzu. Patří mezi mezní stavy konstrukce, kdy v důsledku nejrůznějších příčin ztrácí konstrukce plnit funkci, pro kterou je určena. Výsledkem rozvoje lomové mechaniky jsou samostatné normy pro destruktivní zkoušení materiálů používaných pro výrobky, které pracují při nízkých teplotách, výrobní normy pro taková nízkoteplotní zařízení, kryogenická potrubí.

*Ocel – ochrana proti křehkému lomu.* Jsou dvě hlavní ochrany proti křehkému lomu:

- Výběr materiálu podle ČSN EN 13 480-2 Kovová průmyslová potrubí, část 2. Materiály.
- Dodržení předepsané vrubové houževnatosti zjišťované při předepsané teplotě

Tyto principy jsou podrobně rozepsány v kapitole Křehký lom u houževnatých materiálů a ochrana proti němu v díle I. této série.

*Ochrana proti křehkému lomu - Měď* je pro uvedené použití vynikající materiál, neboť na klesající teplotu reaguje měď vzrůstající pevností a s křehnutím kvůli nízké teplotě se u mědi nesetkáváme. Měď má plošně středěnou krystalickou strukturu. I zde se musí dát důraz na výběr materiálu.

Mezní stav - stratifikace teploty. U těchto potrubí pracujících za nízkých teplot je nebezpečí vzniku stratifikace teploty. Viz díl I. této série.

Mezní stav - kmitání potrubí buzené pístovými kompresory. V systémech s pístovým kompresorem se obecně těžko eliminují vibrace. Je to další mezní stav typický pro tato potrubí. Je nutné provést modální a harmonickou analýzu kmitání potrubí, kdy budící frekvence a budící síla je vytvářena pístovými kompresory. Více o harmonické a modální analýze v dílu 3. této série.

#### 4.4. Předizolovaná potrubí pro horkovody ukládané do země.

##### 4.4.1. Definice a popis předizolovaného bezkanálového (sdruženého) potrubí

V případě předizolovaných potrubních konstrukcí je použita jako vnitřní trubka uhlíková ocel a jako venkovní plášťová trubka je použita trubka z plastu nejčastěji polyetylénu PE-HD. Izolace je mezi venkovní plastovou a vnitřní ocelovou trubkou a pomocí ní jsou navzájem silově spojeny. Izolace může být i kombinovaná z minerální vlny a polyuretanu anebo jen z polyuretanu podle teploty ve vnitřní trubce. Izolace minerální vlnou je vnitřní.

Při tepelném zatížení dochází u všech třech složek ke stejným změnám délky v axiálním směru, vzniká tak celá řada napětí, které sdružená konstrukce musí zachytit. Z těchto důvodů je stanovena maximální teplota média, která většinou vyhovuje horké vodě tj. cca 20 až 30°C, je však nutné uvedené zkontrolovat. Předizolované potrubí jako celek má tepelnou roztažnost blízkou tepelné roztažnosti oceli.



obr. 4.5 Předizolované potrubí

##### 4.4.2. Norma ČSN EN 13941-1 – úvodní informace

Norma se plným jménem nazývá ČSN EN13941-1 Vedení vodních tepelných sítí – Navrhování a instalace předizolovaných jednotlivých a dvojitých potrubí pro vodní tepelné sítě ukládaných přímo do země, Část 1 Navrhování. Protože se norma týká vedení teplovodních sítí, jsou to podle směrnice PED dálkovody a tak pod tuto směrnici nepatří a není s ní harmonizována. Výpočet je tak proveden metodou mezních stavů na rozdíl od PED, který předepisuje metodu dovolených napětí popř. jiných veličin.

Dále norma rozděluje projekty do tříd, zde jsou jejich charakteristiky:

Třída projektu A: Průměry potrubí: malé nebo střední ( $r_o/t < 28,7$ ); axiální napětí od tepelné roztažnosti: nízké (pod mez kluzu); nízké riziko ohrožení osob, životního prostředí a okolních budov; nízké riziko ekonomických ztrát.

Třída projektu B: Průměry potrubí: malé nebo střední ( $r_g/t < 28,7$ ); axiální napětí od tepelné roztažnosti : vysoké tlakové napětí (nad mez kluzu); nízké riziko ohrožení osob, životního prostředí a okolních budov; nízké riziko ekonomických ztrát

Třída projektu C: Průměry potrubí: velké ( $r_g/t > 28,7$ ); axiální napětí od tepelné roztažnosti: vysoké (nad mez kluzu); vyšší riziko ohrožení osob, životního prostředí a okolních budov, speciální či složité stavby, např. křížení se železnicí, hlavní silnicí či vodní cestou.  $r_g/t$  = průměrný poloměr potrubí/tloušťka stěny trubky.

Vlastnosti používaných komponentů:

Potrubí podle ČSN EN 253 Vedení vodních tepelných sítí - Předizolované sdružené potrubní systémy pro bezkanálové vedení vodních tepelných sítí - Potrubní systém z ocelové teplotnosné trubky, polyurethanové tepelné izolace a vnějšího opláštění z polyethylenu. Vnitřní trubka je podle ČSN EN 10216-2, ČSN EN 10217-2, ČSN EN 10217-5.

Polyuretanová tepelná izolace podle ČSN EN 253. Vnější PE opláštění podle ČSN EN ISO 15494.

Tvarovky podle ČSN EN 448 Vedení vodních tepelných sítí - Předizolované sdružené potrubní systémy pro bezkanálové vedení vodních tepelných sítí - Tvarovky pro ocelové teplotnosné trubky s polyurethanovou tepelnou izolací a vnějším opláštěním z polyethylenu.

Armatury podle ČSN EN 488 - Vedení vodních tepelných sítí - Předizolované sdružené potrubní systémy pro bezkanálové vedení vodních tepelných sítí - Uzavírací armatury pro ocelové teplotnosné trubky s polyurethanovou tepelnou izolací a vnějším opláštěním z polyethylenu.

Spojky podle ČSN EN 489-1 - Vedení vodních tepelných sítí - Předizolované sdružené potrubní systémy pro bezkanálové vedení vodních tepelných sítí - Část 1: Spojky pro teplotnosné trubky s tepelnou izolací pro vodní tepelné sítě podle EN 13941-1

#### 4.4.3. Materiálové hodnoty jednotlivých složek potrubí

Materiálové hodnoty jednotlivých složek uvádíme v následující tabulce:

| Vlastnost materiálu                           | Jednotka         | Vnitřní trubka, Ocel minimální jakost: 1.0345 (P235GH) | Tepelná izolace, Polyuretan podle ČSN EN 253 | Vnější opláštění, PE-100 podle ČSN EN ISO 15494 | Pošťár pro tepelnou expanzi, polyetylenová pěna*) |
|---|------------------|--|--|---|---|
| Koeficient tepelné roztažnosti                | $10^{-6} K^{-1}$ | 13,0 pro 20°C<br>12,25 pro 150°C                       | 50 až 80                                     | 180   | Max. teplota polštáře je 50°C, krátkodobě 60°C    |
| Modul pružnosti krátkodobý/dlouhodobý         | MPa              | 211 660 pro 20°C,<br>202 380 pro 150°C                 | 10 pro 23°C,<br>6,5 pro 140°C                | 800/ 150 pro 0°C,<br>30 pro 80°C                |   |
| Dovolené axiální napětí krátkodobé/dlouhodobé | MPa              | 143,3 pro 20°C<br>124,7 pro 150°C                      | 0,30/0,15                                    | 12/ 7 pro 0°C,<br>1,4 pro 80°C                  |   |

|         |                   |      |    |     |          |
|---------|-------------------|------|----|-----|----------|
| Hustota | kg/m <sup>3</sup> | 7850 | 60 | 935 | 22 až 35 |
|---------|-------------------|------|----|-----|----------|

tab. 4.8 Vlastnosti jednotlivých materiálů předizolovaného potrubí

Pro návrh polštáře potřebujeme dvě veličiny, a to maximální stlačení (ultimate hodnotu) a tuhost – viz tabulka dále. Pro jiné hodnoty stlačení je možné odečíst z grafu na obr.3 ČSN EN 13941-1

| Typ polštáře   | Tlak na polštář potřebný pro stlačení |               |               |
|--|---------------------------------------|---------------|---------------|
|  | Stlačení 40%                          | Stlačení 50%  | Stlačení 75%  |
| 1. tvrdý   | 85 kPa ±15%                           | 120 kPa ±15%  | 480 kPa ±15%  |
| Tuhost polštáře od stlačení (konstanta bočního uložení pro polštář) v kPa/m na 1m tloušťky - $k_{h,2}/\text{tloušťka}$ | 212,5 kPa/m/m                         | 240,0 kPa/m/m | 640,0 kPa/m/m |
| 2. průměrný  | 60 kPa ±15%                           | 90 kPa ±15%   | 275 kPa ±15%  |
| Tuhost polštáře od stlačení (konstanta bočního uložení pro polštář) v kPa/m na 1m tloušťky - $k_{h,2}/\text{tloušťka}$ | 150,0 kPa/m/m                         | 180,0 kPa/m/m | 366,7 kPa/m/m |

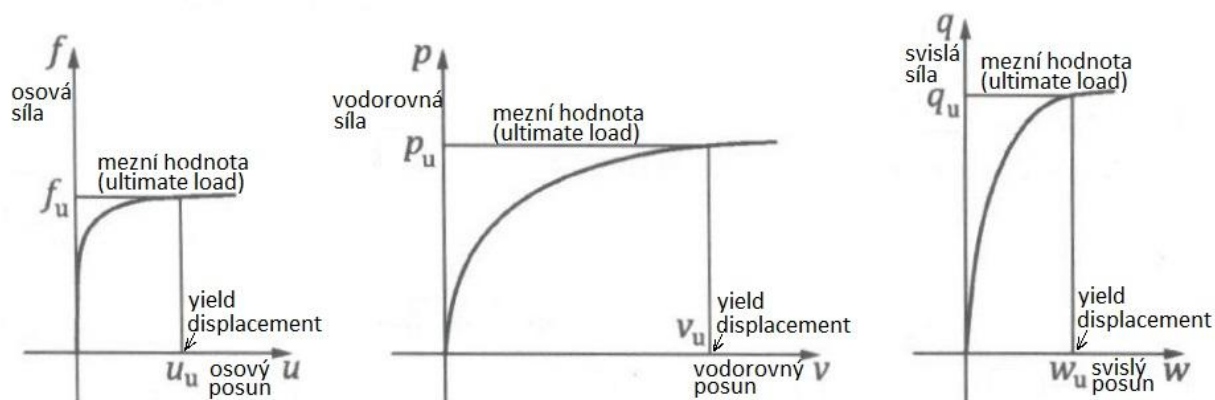
tab. 4.9 Vlastnosti polštáře

#### 4.4.4. Zatížení potrubí zeminou podle uvedené normy

Výpočet potrubí v zemi se provádí tak, že se nahradí působení zeminy náhradním zatížením. Náhradní zatížení ve všech třech osách simuluje zatížení zeminou. U každé osy působí zatížení proti sobě v kladné i záporné orientaci. Jedná se o osy podle obrázku dále, kde 1 nahrazuje zatížení zeminou ve vertikálním směru, 2 ve směru osy a 3 ve směru horizontálním – viz díl „Potrubí v zemi“ této série.

Každý prvek z náhradního zatížení má tvar podle grafů. Nejprve síla roste lineárně a můžeme ji nazvat tuhostí, protože je to závislost síly na posunu potrubí, poté dosáhne určité mezní hodnoty, která má konstantní hodnotu nezávislou na posunu potrubí daným směrem.

Grafy dole zobrazují vztah síly a posunu ve směru osovém (tj. ve směru osy potrubí), ve směru vodorovném (tj. kolmém na osu potrubí) a ve směru svislém (též kolmém na osu potrubí). Tyto grafy mají průběh identický jako grafy v normě. Navíc jsou tam zobrazeny hodnoty „ultimate load“ a „yield displacement“, které používá například výpočetní program CaesarII.



Obr. 4.6. Grafy převodu zatížení zeminou na potrubí

Výpočet tuhostí zeminy a mezních zatížení se v principu provádí podle dílu „Potrubí v zemi“ této série.

#### 4.4.5. Mezní stavy v předizolovaném potrubí

| Mezní stav |  | Vypočítat pro kombinace zatížení | Součinitel zatížení $\gamma_a$ | Součinitel materiálu $\gamma_m$ |
|------------|--|----------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|
| Č.         | Název  |                                  |                                |                                 |
| A1         | Kontrola membránového napětí                       | 1,2                              |                                | 1,1                             |
| A1         | Kontrola membránového a ohybového napětí           | 2,3,4                            |                                | 1,1                             |
| A2         | Kontrola plastické deformace (sekundárního napětí) | 2,3,4                            |                                | 1,1                             |
| B1         | Nízkocyklová únava                                 | 4                                | 1,0                            | 1,0                             |
| B2         | Vysokocyklová únava                                | 4                                | 1,0                            | 1,0                             |
| C1         | Lokální boulení                                    | 1,3,4                            |                                | 1,1                             |
| C1         | Imploze vnějším tlakem                             | 1,3,6                            | 1,05                           | 1,45                            |
| C2         | Globální nestabilita (vzpěr)                       | 1,3,4,5                          | 1,0                            | 1,0; 1,1                        |
| D          | Ovalizace příčného průřezu                         | 1,3                              |                                | 1,1                             |
|            | PUR: tlakové napětí                                |                                  |                                |                                 |
|            | PUR: smykové napětí                                |                                  |                                | 3*); 2**)                       |
|            | PE (opláštění)                                     |                                  |                                |                                 |
|            | Ventily (uzavírací armatury)                       |                                  |                                |                                 |

tab. 4.10 Výčet mezních stavů

#### 4.4.6. Kompenzace tepelných dilatací

Výhodou při ukládání za studena (tj. za teploty okolí) je ten, že se může výkop ihned po montáži a provedení těsnostní a tlakové zkoušky a bez zahřátí zasypat. Jsou zde však omezení: buď bude teplota média tak nízká, že tepelná dilatace bude zanedbatelná (což potom není horkovod, ale např. zpětná voda) anebo se provede kompenzace délkové roztažnosti konvenčními prostředky, tj. U-kompenzátořem anebo axiálním vlnovcovým kompenzátořem.

Pro dimenzování dilatačních ramen u kompenzátořů U, Z a L se používá dilatačních polštářů anebo různých dilatačních profilů.

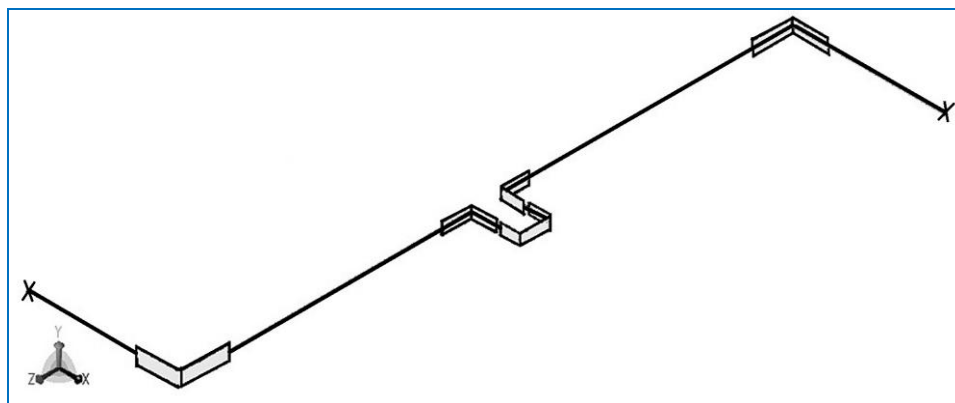
Pro určení dilatačních polštářů musí být známa velikost očekávané celkové dilatace. Tato dilatace je závislá na délce trasy na teplotě média a na výšce nadloží proto musí být proveden přesný výpočet a samozřejmě taky na vlastnostech dilatačních polštářů, tj. na maximální stlačitelnosti a na tuhosti, tj. na určení síly, kterou polštáře vyvozují zpět do potrubí.

Další možnost kompenzace je provozní samopředpětí. To znamená, že po zahřátí na určitou mez a následné vychladnutí potrubí nevrátí do původní polohy, ale zůstává prodloužené a v potrubí tak zůstává axiální napětí, však zde sahají za mez kluzu ocele. Nevrácení do původní polohy může způsobovat axiální napětí, které se dostane za mez kluzu materiálu. Tento přechod do plasticity je u sekundárního napětí možný, ale je zde nebezpečí vybočení potrubí a dodatečně navrtávané odbočky nejsou z tohoto důvodu možné bez dodatečné kontroly pevnostním výpočtem potrubí.

Při ukládání potrubí za tepla je nutno potrubí zahřát ještě před jeho zasypáním. Zahřátí se může provést teplou vodou, parou či elektřinou. Po zahřátí potrubí a tímto i uvolnění prostoru v zemině, musí být zabezpečeno, aby do tohoto prostoru nenapadala zemina a nedošlo ke vzniku přídavných neplánovaných napětí při vychládání potrubí. Po vychladnutí vzniká tímto v potrubí předpětí. Tohoto předpětí využíváme, jestliže není možné z důvodu nedostatku místa použít přirozená dilatační ramena.

Bližší a podrobnější informace o jednotlivých systémech sdružených potrubí sdělují jednotliví výrobci těchto systémů. Jde například o tyto veličiny: sdružený koeficient roztažnosti, tepelné odolnosti použitých prvků, koeficient tření mezi vnější trubkou a doporučenou zeminou pro uložení, pískem atd.

Pro dimenzování dilatačních ramen u kompenzátořů U, Z a L se používá dilatačních polštářů anebo různých dilatačních profilů. Viz obrázky:



obr. 4.7 umístění polštářů na trase potrubí

#### 4.4.7. Možnosti použití předizolovaných potrubí

V této kapitole jsou rozebrány možnosti použití předizolovaných potrubí. I když se naše kapitola zabývá potrubími v zemi, možnosti použití předizolovaných potrubí jsou větší, proto zde uvádíme, jaké jsou možnosti předizolovaných potrubí spolu s jejich hlavními charakteristikami.

Do svých plánů pro vybrání typu potrubí je nutné započítat i životnost a tepelné ztráty, kde předizolovaná potrubí vynikají. Za další klad je nutné považovat i malý počet spojů.

Základní dělení tepelných sítí podle teploty látky v rozvedech, kde se dají využít předizolovaná potrubí jsou takovéto:

- parní sítě: teplota páry dosahuje až 220 °C, provozní tlak 25 barů,
- horkovodní sítě: teplota vody dosahuje až 130 °C, provozní tlak 25 barů,
- teplovodní sítě: teplota vody dosahuje až 110 °C, provozní tlak 25 barů,
- sekundární topný okruh: teplota vody dosahuje až 90 °C, provozní tlak 6–10 barů,
- rozvodní sítě pro teplou vodu: teplota vody dosahuje až 70 °C, provozní tlak 10 barů.

A materiály potrubí, které se těmito médii přiřazují, jsou v tabulce na konci kapitoly.

Důležitým parametrem je také samotné porovnání tepelných ztrát, nejen mechanická kontrola tepelné vodivosti  $\lambda$  [ $\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ ], důležitá je tloušťka a celková skladba izolace a vnějšího pláště. Nejnižší ztráty v rámci plastových flexibilních systémů s trubkou pro médium z PE-Xa má potrubí izolované kombinací PUR izolace a XPE, které díky silnému vnějšímu plášti vykazuje také vynikající pružnost a ohebnost.

Z hlediska možného použití pro rozvody teplé vody se rozsahem dimenzí až do dimenze DN160 s o 10 až 18 % vyšší vnitřní světlostí jako vhodné jeví potrubí s trubkou zesílenou aramidovým vláknem. Maximální zatížení do 95 °C a PN10 v celém rozsahu dimenzí je dnes již při navrhování, v rámci úsilí projektanta a provozovatele o zabezpečení dlouhodobé provozní spolehlivosti, standardem.



Pro použití v teplovodních sítích krátkodobě až do 115 °C se jako vhodná alternativa, proti běžně rozšířeným ocelovým potrubím, jeví potrubí s trubicí na medium zesílenou aramidovým vláknem, maximální zatížení do 115 °C a PN10, případně v provedení do PN16. Předizolovaná plastová potrubí v rozsahu do dimenze DN100, a při zatížení sítě do 100 °C, ocelové potrubí nahrazují. Díky kvalitnímu materiálu, z něhož je izolace vyráběna, svými vlastnostmi splňují všechny podmínky pro bezproblémový provoz s nízkými úniky tepla. Jako materiál izolace se používá PUR, XPE nebo jejich kombinace a používá se opláštění z LLD-PE nebo z HDPE.

U rozvodů na vytápění, které se v minulosti realizovaly celé v oceli, se otevírají nové možnosti s použitím plastových flexibilních potrubí. Menší dimenze do DN100 lze nahradit efektivním řešením. Nejedná se přitom pouze o sekundární a nízkoteplotní sítě, kde jsou trvalé teploty kolem 80°C, na které je vhodné standardní plastové předizolované potrubí s trubicí pro médium ze zesíleného polyetylenu PE-Xa. Mluvíme o sítích s provozní teplotou okolo 100 °C, s krátkodobým zatížením s provozní teplotou až do 115 °C a tlakem 10 až 16 bar g.

#### **4.5. Pravidla pro konstrukci skidů**

##### **4.5.1. Co to je skid**

V angličtině je jako první význam tohoto slova používáno jako slovo „smyk“. Jako některý z dalších významů ho však můžeme použít jako „paleta“. To už je velmi blízko našeho použití tohoto slova.

Jako rám skidu je nejčastěji používána ocelová konstrukce. Na ní je podle určitých technologických a pevnostních pravidel umístěno a pospojováno zařízení, které tvoří určitý výrobní celek v chemickém, petrochemickém, potravinářském, farmaceutickém, energetickém a i jiném průmyslu. Příklad viz na obrázku dole:



Obr.4.8. Výrobní linka na výrobu skidů

Na dalším obrázku jsou už skidy spojeny mezi sebou do výrobní linky:



Obr.4.9. Spojení skidů do výrobní linky

#### 4.5.2. Ukládání potrubí, armatur a aparátů do skidu

Uložení potrubí na skidech má stejné zákonitosti jako normálně vedené potrubí, které jsme už probrali v tomto díle a v díle o uložení této série. U skidů je nutné instalovat alespoň jeden pevný bod na potrubí pro spojení s rámem. Ostatní zařízení mohou být jen kluzně podepřena na rám tak, aby se potrubí mohlo pohybovat při tepelné roztažnosti, která nesmí být zablokována. Vzdálenost podpěr se řídí stejnými obecnými pravidly jako pro potrubí.

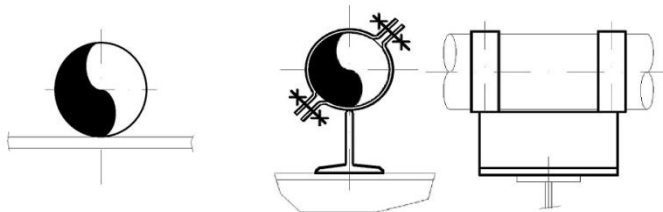
Na skidu je potřeba věnovat zvláštní pozornost tepelné roztažnosti, neboť je málo místa na její kompenzaci. V souvislosti s tím je nebezpečí překročení zatížení hrdel, na skidu instalovaných zařízeních.

#### 4.5.4. Zakončení potrubí a možnosti napojení okolních skidů a ostatních okolních zařízení

Základní požadavek je, že musí výrobce či montážník, který má na starosti zařízení pokračující na všech přípojných bodech skidu, znát maximální zatížení napojovacího bodu a jeho pohyby. Proto musí být uvedeny v průvodní dokumentaci skidu. Maximální zatížení napojení určují tři síly a tři momenty sil. Od tepelné roztažnosti vznikají pohyby, které by měly být v průvodní dokumentaci skidu též uvedeny. Jsou to tři posuvy a tři rotace ve směrech os karteziánské souřadné soustavy.

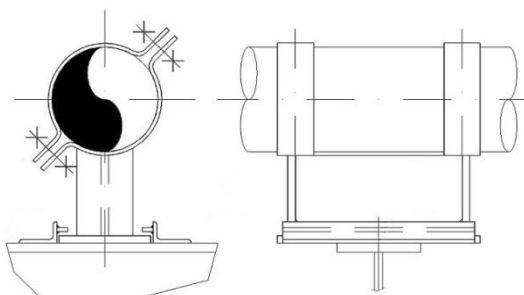
Množství těchto dat (sil a posuvů) si můžeme zmenšit vhodným uložením konce skidu. Jsou tyto možnosti:

- Zakončení posuvným uložením bez vedení, tj. všechny směry jsou volné, zamezený je tak jen posuv dolů



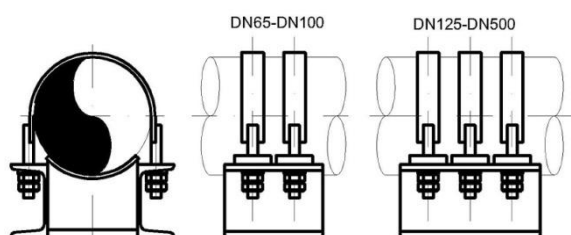
Obr. 4.10. Posuvné uložení bez vedení

- Zakončením posuvným uložením s vedením v ose potrubí, volný pohyb je jen směr v ose potrubí, zamezeny jsou dva posuvy a všechny rotace



Obr.4.11. Posuvné uložení s vedením v ose potrubí

- Zakončením pevným bodem (kotvením), jsou zamezeny všechny posuvy a všechny rotace. Zde však záleží, co bude napojeno na toto potrubí. Nesmí tam být jiný skid také s pevným bodem.



Obr. 4.12. Pevný bod

- Spojení se sousedním zařízením hadicí s kovovým opletem.

## **5. Návrh potrubí pro nebezpečné a zvláštní tekutiny**

### **5.1. Potrubí pro vodík v plynném stavu**

#### **5.1.1. Vlastnosti vodíku a působení vodíku na potrubí**

##### **5.1.1.1. Důležité vlastnosti vodíku**

Vodík (chemická značka H, latinsky Hydrogenium) je nejlehčí a nejjednodušší plynný chemický prvek. Vodík ( $H_2$ ) má široké praktické využití: zdroj energie, redukční činidlo v chemické syntéze nebo metalurgii a také jako náplň meteorologických a pouťových balonů a do 30. let 20. století i vzducholodí.

Vodík je bezbarvý, lehký plyn, bez chuti a zápachu. Je hořlavý, hoří namodralým plamenem. Je 14,38× lehčí než vzduch a vede teplo sedmkrát lépe než vzduch. Vodík je za normální teploty stabilní. Je značně reaktivnější při zahřátí, především s kyslíkem a halogeny se slučuje velmi bouřlivě, i když pro spuštění této reakce je nutná inicializace (např. jiskra). Vodík je velmi málo rozpustný ve vodě, ale některé kovy ho pohlcují.

Vodík je schopen tvořit zvláštní typ chemické vazby nazývaný vodíková vazba nebo také vodíkový můstek, kde vázaný atom vodíku vykazuje afinitu i k dalším atomům, s nimiž není poután klasickou chemickou vazbou. Mimořádně silná je vodíková vazba s atomy kyslíku. Zajímavou vlastností vodíku je jeho schopnost „rozpouštět“ se v některých kovech. Je to způsobeno tím, že má vodík velmi malé molekuly, které jsou schopny procházet krystalovou mříží různých materiálů. Vodík se tak rozpouští v mnoha kovech a kromě úniku na ně může mít nepříznivé účinky, jako je vodíková křehkost, což vede k trhlinám a puchýřům. Vodíkový plyn unikající do vnějšího vzduchu se může spontánně vznítit. Vodíkový oheň, i když je extrémně horký, je navíc téměř neviditelný, a tak může vést k náhodným popáleninám.

Směsi vodíku a vzduchu se mohou vznítit s velmi nízkým energetickým vstupem například neviditelnou jiskrou způsobenou statickým nábojem. Je to až 1/10 energie než je energie potřebná na zapálení směsi benzínu a vzduchu. Meze hořlavosti pro objem vodíku ve vzduchu jsou 4,0% až 75,0%. Meze hořlavosti pro objem vodíku v kyslíku jsou 4,0% až 94,0%. Meze výbušnosti vodíku ve vzduchu jsou 18,3% až 59%.

##### **5.1.1.2. Působení vodíku na ocelové potrubí.**

Zajímavou vlastností vodíku je jeho schopnost „rozpouštět“ se v některých kovech. Je to způsobeno tím, že má vodík velmi malé molekuly, které jsou schopny procházet krystalovou mřížkou různých materiálů.

To způsobuje například *vodíkovou křehkost*. Tuto křehkost způsobuje atomární vodík. Aby mohlo dojít k vodíkové křehkosti, je nutná kombinace tří podmínek:

- přítomnost a difúze atomů vodíku nebo iontů (tedy difundovatelného vodíku, tj. teplota nad cca 150°C) do ocele
- citlivý materiál
- mechanické napětí

Atomy vodíku jsou velmi malé a rozptýlené intersticiálně v ocelích. Jsou při pokojové teplotě mobilní a během několika minut se rozptýlí z místa jejich zavedení. Z toho tedy vyplývá, že škodlivý vliv atomárního vodíku lze zmírnit tím, že se zabrání jeho vstupu do oceli nebo jej znehybní, jakmile pronikne do materiálu. Vzhledem k tomu, že vodík je difundovaný a pohyblivý, křehkost může nastat pouze tehdy, když je zachycen v mikroskopických pastích a tyto pasti způsobují křehkost. Atomární vodík rekombinuje, vytváří molekuly vodíku a ty vytvářejí tlak na kov. Kov působením vodíku v okolí pastí snižuje svoji tažnost, houževnatost a pevnost v tahu. Tento tlak se může zvýšit na úroveň, kdy se dutina otevře (tj. *praskání vyvolané vodíkem*).

Vodík zvyšuje lokalizovanou plasticitu, kde se zvyšuje tvorba a pohyb dislokací a vede k lokalizované deformaci, například na špičce trhliny, která zvyšuje šíření trhliny s menší deformací okolního materiálu, což dává lomu křehký vzhled. Dále zde působí lokálně snížená mez kluzu v kovu na špičce trhliny, jestliže je vodík difundován v tahovém napěťovém poli.

Jak se zvyšuje pevnost ocelí, snižuje se lomová houževnatost, takže se zvyšuje pravděpodobnost, že vodíková křehkost povede k lomu.

Vodíková křehkost bývá také zaměňována za korozní praskání.

*Puchýře (blistry)*. Atomární difundovaný vodík se může shromažďovat při vnitřních vadách, jako jsou inkluze a laminace a tvoří molekulární vodík. V takových místech mohou být budovány vysoké tlaky v důsledku pokračující absorpce vodíku vedoucí k tvorbě blistrů, růstu a případnému prasknutí puchýře. Takové praskání puchýřů vyvolané vodíkem bylo pozorováno u ocelí, hliníkových slitin, slitin titanu a jaderných konstrukčních materiálů.

*Vysokoteplotní vodíkové napadení*, je problém, který se týká ocelí pracujících při zvýšených teplotách (obvykle nad 400 °C) v atmosféře bohaté na vodík: v rafinérských, petrochemických a jiných chemických zařízeních a případně vysokotlakých parních kotlích. Nesmí být zaměňován s vodíkovou křehkostí. Pokud je ocel vystavena velmi horkému vodíku, vysoká teplota umožňuje molekulám vodíku disociovat a rozptýlit se do slitiny jako jednotlivé difundované atomy.

Poškození má dvě fáze:

1. Rozpuštěný uhlík v oceli reaguje s povrchovým vodíkem a uniká do plynu jako metan. To vede k povrchové ztrátě uhlíku a pevnosti povrchu. Zpočátku není poškození viditelné.

2. Snížení koncentrace rozpuštěného uhlíku vytváří hnací sílu, která rozpouští karbidy v oceli. To vede ke ztrátě pevnosti hlouběji v oceli a je vážnější. Současně se některé atomy vodíku rozptýlí do oceli a kombinují s uhlíkem a vytvářejí malé kapsy metanu na vnitřních površích, jako jsou hranice zrna a vady. Tento metanový plyn se nemůže rozptýlit z kovu a shromažďuje se v dutinách při vysokém tlaku a iniciuje praskliny v oceli. Toto selektivní vyluhování uhlíku je vážnější ztrátou pevnosti a tažnosti.

Pro *vysokoteplotní vodíkové napadení* lze používat jiné slitiny oceli, kde jsou karbidy s jinými legujícími prvky, jako je chrom a molybden, stabilnější než karbidy železa. U uhlíkové oceli vystavené vodíku při vysokých teplotách vede vysokoteplotní vodíkové napadení k vnitřní oduhlíčení a ztrátě pevnosti.

*Ztráta tažnosti.* Vodík snižuje tažnost v mnoha materiálech. U tvárných materiálů, jako jsou austenitické nerezové oceli a hliníkové slitiny, se nemusí vyskytnout žádné výrazné křehnutí, ale může vykazovat významné snížení tažnosti.

*Únava.* Zatímco většina selhání v praxi prošla rychlým selháním, existují experimentální důkazy, že vodík také ovlivňuje únavové vlastnosti ocelí. Obecně má vodíková křehkost velký vliv na nízkocyklovou únavu tj. únavu s vysokým napětím a velmi malý vliv na vysokocyklovou únavu s malým napětím.

### **5.1.1.3. Působení vodíku na ostatní kovy**

*Vodíková křehkost* se může projevit i u některých ostatních kovů, např. u hliníku (pouze při vysokých teplotách), a titanu a u některých jejich slitin.

Velké množství vanadu, niklu a titanu absorbuje značné množství vodíku. To může vést k velké expanzi objemu a poškození krystalové struktury, což vede k tomu, že slitiny se stávají velmi křehkými. Také tvorba křehkých hydridů s mateřským materiálem umožňuje šíření trhlin křehkým způsobem. To je zejména problém se slitinami s vanadem.

*Puchýře.* Takové praskání puchýřů vyvolaných vodíkem bylo pozorováno u hliníkových slitin a slitin titanu. Kovy s nízkou rozpustností vodíku (jako je wolfram) jsou náchylnější k tvorbě puchýřů. Zatímco u kovů s vysokou rozpustností vodíku, jako je vanad, vodík dává přednost vyvolání stabilních hydridů kovů namísto bublin nebo puchýřů.

*Křehnutí tlakem páry.* Slitiny mědi, které obsahují kyslík, mohou při vystavení horkému vodíku křehnout. Vodík se rozptýluje mědí a reaguje s inkluzemi  $\text{Cu}_2\text{O}$  a tvoří  $\text{H}_2\text{O}$  (vodní pára), která pak vytváří tlakové bubliny na hranicích zrna.

#### **5.1.1.4. Působení vodíku na nekovová potrubí**

Jsou zkoumány kompozitní potrubí z polymerní pryskyřice vyztužené uhlíkovými anebo skleněnými vlákny (tj. potrubí FRP) a vyztužené trubky z plastů. Jako liner je nutné použít látku odolnou vodíku. Jako liner se osvědčují fluoroplasty, mezi které se počítá:

PTFE (Polytetrafluorethylen), teflon. Velmi dobře známý a hodně používaný polymer s velmi vysokou teplotní odolností, vynikající chemickou odolností, téměř nulovou nasákavostí, vysokou odolností proti stárnutí a nízkým součinitelem tření.

FEP (Fluorovaný ethylen propylen). Prodává se pod značkou Teflon FEP a je to kopolymer hexafluorpropylenu a tetrafluorethylenu. FEP je velmi podobný svým složením PTFE. Je na rozdíl od PTFE tavitelný a může být aplikovaný pomocí konvenčních vstřikovacích lisovacích a šroubových vytlačovacích technik. FEP je měkčí než PTFE a taje při 260 °C; je odolný vůči slunečnímu záření.

PFA (Perfluoralkoxy alkan) jsou fluoropolymery s vlastnostmi podobnými PTFE. PFA sdílí užitečné vlastnosti PTFE, tj. nízké tření a nereaktivita, ale jsou snadněji tvarovatelné.

MFA (Methylfluoralkoxy alkan) je polytetrafluorethylen perfluormethylvinylether připravený s odlišným poměrem monomerů než pro PFA. Materiál má i zde vlastnosti jako je nízké tření, nereaktivita a snadnější tvarovatelnost než u PTFE.

#### **5.1.2. Zásady pro konstrukci a výpočet vodíkového potrubí**

##### **5.1.2.1. Výběr materiálu.**

Mělo by se dávat přednost bežešvým ocelovým trubkám, a to nerezové, austenitické, dále z nízkolegované a uhlíkové oceli. V některých případech lze ke snížení rizika křehnutí použít oceli a slitiny s nižší pevností, které jsou proti vodíkovému křehnutí odolnější.

Pokud jsou vysoce pevnostní oceli a slitiny tou nejlepší volbou materiálu, lze provést určitá tepelná ošetření ke snížení tvrdosti a zbytkových napětí, která mohou vést k problémům se zkřehnutím. Vodíkovým puchýřům lze zabránit používáním uklidněných uhlíkových ocelí, povlaků, inhibitorů koroze a ocelí legovaných niklem nebo molybdenem.

Vhodnost použití uhlíkové nebo nízkolegované oceli pro vysokoteplotní aplikace, musí být vyhodnocena např. pomocí Nelsonových grafů uvedených v API RP 941.

V budoucnu tak bude vhodné vypracovat normy, kde budou definovány materiály vhodné pro vodíkovod tak, jak je to v dnešní době provedeno pro zemní plyn. Jako vzor je možné použít i normy pro kyselé prostředí ČSN EN ISO 15156.

Na závěr je nutné sdělit, že by se dávat přednost bežešvým ocelovým trubkám. A to z těchto materiálů:

1. nízkolegovaná uhlíková ocel s nízkou pevností
  - Tvrdost mateřského materiálu menší než 22HRC

- Ocel musí být zcela uklidněna
  - Materiál by měl být tepelně zpracován normalizačním žiháním Q a T
  - Obsah uhlíku musí být nižší než 0,23 % a uhlíkový ekvivalent (CE) menší než 0,43.
  - Síra a fosfor nižší než 0,002 %
2. nerezové, austenitické trubky nejlépe legované niklem či molybdenem
    - Tvrdost na mateřských materiálech menší než 22HRC.
    - Tepelné zpracování žiháním.
  3. plastová, laminátová (kompozitová) i ocelová potrubí s fluoroplastovým linerem, zde se však musí vnitřní povrch ošetřit proti vzniku statického náboje

### 5.1.2.2. Výpočet tloušťky stěny potrubí pro vytvoření potrubní třídy

Je třeba započítat ztrátu tažnosti materiálu. Proto využijeme korekci Lamého vzorce:

$$h = \frac{p \cdot D_o}{2 \cdot f \cdot z + p}$$

Např. v ASME B31.12 je za redukční faktor pevnosti svarového spoje z dosazen výkonnostním faktorem  $M_f$ , který právě ztrátu tažnosti řeší. Vypočtená tloušťka vodíkového potrubí pro určitou konstrukční teplotu a tlak tedy bude větší než požadavky na procesní potrubí. Ostatní zákonnitosti a postupy výpočtu jsou stejné.

V budoucnu tak bude vhodné vypracovat normy, kde budou definovány průměry tloušťky stěn potrubí vhodných pro vodíkovod tak, jak je to v dnešní době provedeno pro zemní plyn.

### 5.1.2.3. Výpočet potrubní větve – vyhodnocování napětí

Potenciální ztrátu tažnosti a pevnosti nahradíme zmenšením dovolené pevnosti, kterou vynásobíme již zmíněným faktorem  $M_f$ . Výsledné primární napětí při vyhodnocení trvalých zatížení se tak bude porovnávat se sníženým dovoleným napětím

$$\sigma_1 = \frac{p_c d_0}{4e_n} + \frac{0,75iM_A}{Z} \leq f_f$$

Výsledné primární napětí při vyhodnocení trvalých a příležitostných zatížení se tak bude porovnávat se sníženým dovoleným napětím.

$$\sigma_2 = \frac{p_c d_0}{4e_n} + \frac{0,75iM_A}{Z} + \frac{0,75iM_B}{Z} \leq k \cdot f_f$$

Pro přípustný rozsah napětí způsobený tepelnou roztažností při použití uhlíkových a nízkolegovaných ocelí je nutno uměle zvýšit počet skutečných cyklů tepelné deformace. Jde o vzorec č. 12.3.4-1 z ČSN EN 13480-3, kterým se vypočítává sekundární napětí od tepelné roztažnosti. Dovolené napětí pro tento vzorec se vypočítává:



$$f_a = U(1,25f_c + 0,25f_h) \frac{E_h}{E_c},$$

kde  $f_c$  je dovolené primární napětí za studena

$f_h$  je dovolené primární napětí za tepla

$E_c$  je modul pružnosti za studena

$E_h$  je modul pružnosti za tepla

závislost na počtu cyklů ( $N$ ) je zde:

$$U = 6,0N^{-0,2} \leq 1,0;$$

Např. v ASME B31.12 je počet cyklů  $N$  zvětšen o faktor 10, pokud je potrubí navrženo pod 150°C. Výsledné sekundární napětí při vyhodnocení zatížení tepelnou roztažností se tak bude porovnávat se sníženým dovoleným napětím,

$$\sigma_3 = \frac{iM_c}{Z} \leq f_a$$

když nevyhoví, může též platit vztah:

$$\sigma_4 = \frac{p_c d_0}{4e_n} + \frac{0,75iM_A}{Z} + \frac{iM_c}{Z} \leq f_f + f_a$$

Vyhodnocení napětí je tedy podobné jako v díle I této série, kde je možné najít i více informací.

Nízkocyklová únava. Palmgren-Minerovo pravidlo je založeno na představě, že každá jednotlivá změna napětí, jejíž  $N_i$  násobné opakování by způsobilo lom. Při počtu  $k$  vstupních změn napětí o četnosti  $n_i$  se poškození kumulují (sečítají) a lom lze očekávat, jestliže jejich součet překročí hodnotu 1,0. Platí tedy

$$\frac{n_1}{N_1} + \frac{n_2}{N_2} + \frac{n_3}{N_3} + \dots + \frac{n_k}{N_k} \leq 1,0$$

Podobně bude nutné zvýšit bezpečnostní koeficient  $\gamma_{fat}$  pro výpočet nízkocyklové únavy, který vychází ze Palmgren-Minerova zákona.

$$\sum_i \frac{n_i}{N_i} \leq \frac{1}{\gamma_{fat}}$$

Vyhodnocení únavy je tedy podobné jako v díle I této série, kde je možné najít i více informací.

V případě, že budou definovány materiály a tloušťky stěn potrubí podle uvedených zásad, potrubí bude provozováno při stále stejné teplotě média a bude tvořit dálkovod, nemusí podléhat výpočtu stejně jako plynovody. Jiná situace je, když potrubí není dálkovod, tj. ve výrobním závodě, v různých redukčních a předávacích stanicích, v plnicí stanici apod.

#### **5.1.2.4. Konstrukce**

Konstrukce musí minimalizovat potenciál netěsností a umožňovat snadnou detekci. Pro spoje je třeba dávat přednost spojování svařováním. Výjimečně je možné použít přírubu. V takovémto případě je nutné provést vyhodnocení možných úniků a provést opatření. Potenciál pro netěsnosti, mechanickou pevnost, materiál a přijatelnost požární bezpečnosti bude diktovat výběr potrubních spojů. Potrubí musí být elektricky pospojováno a uzemněno.

S vlastním potrubím má souvislost především zóna prostředí s nebezpečím výbuchu okolo rozmontovatelných spojů, především okolo přírubového spoje, určená podle směrnice ATEX, která má v EU číslo 2014/34/EU a je identická s nařízením vlády č. 116/2016 Sb.

Ochrana proti výbuchu je takováto: V zóně musí být použité zařízení takové skupiny a kategorie, aby zabraňovalo iniciaci výbuchu. Dále musí být provedeno pospojení a zemnění potrubí.

Potrubí v zemi musí být izolováno proti působení zeminy a ochráněno proti působení bludných proudů. Pro kontrolu netěsnosti musí být zajištěn přístup ke spárám a tvarovkám.

Musí být k dispozici správně dimenzovaná zařízení pro odlehčení tlaku, zde se musí ohlídat ta vlastnost vodíku, že se ohřívá při zvětšování objemu a ohlídat samovznícení. Správně označené uzavírací ventily musí být k dispozici na bezpečných místech.

Potrubní systém musí být označen tak, aby označoval obsah a směr proudění.

#### **5.1.2.5. Požadavky na výrobu a NDT**

*Požadavky na svařování.* Pro uhlíkovou ocel pro jakoukoli tloušťku je povinné předehřívání cca 80°C. Tepelné úprava po svařování se provádí krátce po svařování, aby se snížilo zbytkové napětí a regulovalo kolísání teploty mezi svařováním a provozními podmínkami.

*Požadavek NDT.* Provádí se častější NDT pomocí radiografie (RT) nebo ultrazvukové testování (UT) svarů.

#### **5.1.3. Zásady pro provozování vodíkovodu.**

Koncentrace vodíku ve vzduchu rozhoduje, zda uvnitř potrubí je výbušná atmosféra. Pokud je to možné, probíhá doprava takového média v nevýbušné tj. vysoké koncentraci. Při najetí a sjetí potrubního provozu, kdy vznikají různé koncentrace médií, vzniká i možnost výskytu výbušné atmosféry. V takovémto případě se jedná o prostředí s nebezpečím výbuchu. Ochrana proti výbuchu je takováto: zadusíkování a odtlakování pro údržbu. Před uvedením do vodíkového provozu by měly být vodíkové potrubní systémy důkladně vyčištěny. Zvolený postup čištění musí být vhodný pro typ kontaminující látky a musí poskytovat úroveň čistoty požadovanou aplikací.

Pozdější poškození ocelové součásti lze pozorovat pomocí ultrazvukového vyšetření, které detekuje velké vady způsobené tlakem metanu. Tyto velké vady jsou obvykle příčinou selhání provozu: což je obvykle katastrofální, protože hořlavý vodíkový plyn rychle uniká.

Inspekce. Nejužitečnější a nejehospodárnější kontrolní metody používané k identifikaci praskání vodíkovým křehnutím jsou testování práškovou metodou a ultrazvukové testování. Prášková metoda je zvláště užitečná pro identifikaci povrchových trhlin. Ultrazvukové techniky mohou také přesně lokalizovat trhliny na povrchu nebo pod povrchem součásti.

## **5.2. Potrubí pro kapalným a plynným chlorem**

### **5.2.1. Vlastnosti chlorem a působení chlorem na potrubí**

#### **5.2.1.1. Důležité vlastnosti chlorem**

Chlor je jedenáctým nejhojnějším prvkem v zemské kůře a chlorované sloučeniny se přirozeně vyskytují u lidí (např. v krvi, kůži, slzách a zubech). Při pokojové teplotě se molekulární chlor ( $\text{Cl}_2$ ) je plyn zelené barvy. Molekulární chlor se však v přírodě neobjevuje, protože je vysoce reaktivní. Veškerý chlor nalezený na planetě je ve sloučeninách, jako jsou přirozeně se vyskytující organochlory a soli. Běžným kuchyňským příkladem je běžná kuchyňská sůl (nebo chlorid sodný,  $\text{NaCl}$ ). Tuto sůl, rozpustěnou ve vodě, nazýváme solanka. Ze solanky se elektrolýzou vyrábí plynný chlor ( $\text{Cl}_2$ ).

Díky své velké reaktivitě je veškerý chlor v zemské kůře ve formě sloučenin iontového chloridu, které zahrnují i kuchyňskou sůl. Vysoký oxidační potenciál elementárního chlorem vedl v chemickém průmyslu k vývoji komerčních bělidel, dezinfekčních prostředků a činidel. Dále se chlor používá při výrobě široké škály spotřebních výrobků, z nichž asi dvě třetiny jsou organické chemikálie, jako je polyvinylchlorid (PVC). Jako běžný dezinfekční prostředek se chlor používá v bazénech. Při použití na stanovených úrovních pro dezinfekci vody však pro lidské zdraví není reakce chlorem s vodou hlavním problémem.

Chlor je toxický plyn, který napadá dýchací systém, oči a kůži. Elementární chlor je extrémně nebezpečný a jedovatý pro většinu živých organismů. Protože je hustší než vzduch, má tendenci se hromadit na dně špatně větraných prostor.

Teplota varu chlorem je  $-34,4^\circ\text{C}$ , není to tedy přímo kryogenní kapalina.

#### **5.2.1.2. Působení chlorem na ocelové potrubí.**

V minulosti došlo k několika katastrofám vyvolaných chlorem, kde zkorodovaly závěsy potrubí z nerezové oceli. Na potrubí mohou vznikat také praskliny způsobené korozi na částech namáhaných určitým napětím.

Plynný chlor je silné oxidační činidlo, které může reagovat s hořlavými materiály i s železem. Železo tak může hořet s chlorem za vysokých teplot při silné exotermické

reakci. Požáry chloru a železa jsou rizikem v chemických závodech, kde je velká část potrubí, kterým proudí plynný chlor, vyrobena z oceli.

Pro potrubí pro kapalný chlor musí být dodržovány zásady pro konstrukci potrubí za nízkých teplot, i když kapalný chlor přímo kryogenní kapalina není, protože se vaří až při  $-34,4^{\circ}\text{C}$ .

U potrubí pro plynný chlor je rozdíl mezi působením plynného chloru suchého anebo vlhkého. Vlhký plynný chlor je na ocel velmi agresivní, protože chlor s vlhkostí tvoří kyselinu chlorovodíkovou.

### **5.2.1.3. Působení chloru na neželezná a nekovová potrubí**

Také některé plasty jsou také citlivé na chlor, včetně acetální pryskyřice a polybutenu.

### **5.2.2. Zásady pro konstrukci a výpočet potrubí pro chlor**

Konstrukci potrubí udávají normy, které vydává sdružení evropských výrobců chloru tj. organizace Eurochlor na stránkách <http://www.eurochlor.org/>. Normy pro konstrukci potrubí pro chlor jsou na těchto stránkách označeny GEST. Tyto normy jsou též uvedeny v kapitole o normách tohoto dílu této série.

## **5.3. Potrubí pro sypké materiály**

### **5.3.1. Všeobecné informace**

Potrubí pro dopravu sypkých materiálů tvoří dva systémy podle použitého média. Je to doprava sypkých hmot ve vzduchu a doprava sypkých hmot v kapalině. Doprava sypkých hmot v kapalině je méně používaná, neboť je energeticky i materiálově náročnější (musí zde být i zpětné potrubí) a proto se jí dále nebudeme zabývat.

Rozvod potrubí pro dopravu sypkých materiálů ve vzduchu má svůj zdroj tlakového vzduchu - kompresor či dmychadlo. Dále zde může být tlaková nádoba na vzduch a úpravna vzduchu. Úpravnu vzduchu tvoří systém pro čištění vzduchu, úpravou jeho vlhkosti a je-li třeba i pro jeho lubrikování. Systém rozvodu potrubí pro dopravu sypkých materiálů tvoří spojovací článek mezi zdrojem a místem určení.

### **5.3.2. Materiál potrubí**

Rozvody potrubí pro dopravu sypkých materiálů musí být provedeny z materiálu, který je odolný proti erozi, neboť pevné částičky sypkých materiálů svým kontaktem s vnitřní stěnou potrubí tuto erozi způsobují. Nejvyšší eroze bývá vždy v ohybech potrubí.

Erozi se dá čelit buď přidáním erozního přídatku k tloušťce stěny pro určitou stanovenou životnost, anebo se může použít speciální vložka instalovaná do potrubí - liner.

Tento liner je tvrdý a odolný proti erozi. Jako příklad můžeme dát například čedič, který se používá většinou o tloušťce 2 cm. Čedičové vložky potrubí jsou velmi vhodné pro hydraulickou dopravu silně abrazivních materiálů a kalů. Pro pneumatickou dopravu v teplárnách, elektrárnách, dolech, přepravu různých abrazivních nebo chemických materiálů apod. Čedičové vložky potrubí lze použít do max. rychlosti 22 m/s (dle přepravovaného média) a teploty max. 400°C. Potrubní díly z vysoce legovaných ocelí byly nahrazeny speciálními čedičovými odlitky - oblouky, odbočkami, T-kusy, Y-kusy, tryskami, cyklony apod. - a tím došlo k prodloužení životnosti zařízení na pěti až dvacetinásobek.

## **6. Související technické normy a legislativa**

### **6.1. Související legislativa**

1. Zákon 22/1997 Sb. o technických požadavcích na výrobky ve znění zákona č. 71/2000 Sb. zákona č. 205/2002 Sb., kterým se mění zákon č. 22/1997 Sb.
2. Zák. 102/2001 Sb. O obecné bezpečnosti výrobků tj. směrnice 2001/95/EC General Product Safety
3. Zák. č. 353/1999 Sb. O prevenci závažných havárií způsobených vybranými nebezpečnými chemickými látkami a chemickými přípravky
4. NV č. 20/2003 Sb., kterým se stanoví požadavky na jednoduché tlakové nádoby (nařizuje pro nově vyráběné nádoby) – posouzení shody a vystavení prohlášení o shodě
5. NV č. 26/2003 Sb., Směrnice PED, kterým se stanoví technické požadavky na tlaková zařízení. 97/23/EC Pressure Equipment Directive (PED). původní
6. NV č. 219/2016 Sb., Směrnice PED, kterým se stanoví technické požadavky na tlaková zařízení. 2014/68/EU Pressure Equipment Directive (PED). nová

### **6.2. Související technické normy**

Situace týkající se technických norem se vyvíjí, proto to, co je uvedeno v následujících kapitolách nemusí být platné a beze změn v době, kdy tento text čtete.

ČSN 73 0039 Navrhování objektů na poddolovaném území

ČSN EN 13480-1 Kovová průmyslová potrubí. Část 1: Všeobecně

ČSN EN 13480-2 Kovová průmyslová potrubí. Část 2: Materiály

ČSN EN 13480-3 Kovová průmyslová potrubí. Část 3: Konstrukce a výpočet

ČSN EN 13480-4 Kovová průmyslová potrubí. Část 4: Výroba a montáž

ČSN EN 13480-5 Kovová průmyslová potrubí. Část 5: Kontrola a zkoušení

ČSN EN 13480-6 Kovová průmyslová potrubí. Část 6: Doplňkové požadavky na podzemní potrubí

ČSN 13480-7 Kovová průmyslová potrubí. Část 7: Návod na používání postupů posouzení shody

ČSN EN 13480-8 Kovová průmyslová potrubí. Část 8: Doplňující požadavky pro průmyslová potrubí z hliníku a hliníkových slitin

### **6.3. Potrubí pro chlor**

Vydávané organizací Eurochlor:

GEST 06/318 - Valve Requirements and Design for Use on Liquid Chlorine

GEST 75/46 - Pneumatic Operated Valves for Use on Rail and Road Tankers and ISO-Containers for Liquid Chlorine

GEST 76/53 - Code of Good Practice for Installation, Removal and Maintenance of Pneumatic Valves on Road and Rail Tankers and ISO-Containers for Liquid Chlorine

GEST 80/85 - Code of Good Practice for Installation Removal and Maintenance of Manual Operated Chlorine Valves

GEST 86/128 - Procedure for Approval of Process Valves for Use on Liquid Chlorine

GEST 86/129 - Procedure for an Independent Assessment of Process Valves for Use on Liquid Chlorine, Prior to Consideration for Euro Chlor Approval

GEST 88/134 - Stud Bolts, Hexagon Head Bolts and Nuts for Liquid Chlorine

GEST 90/162 - Emergency Transfer of Liquid Chlorine

GEST 93/180 - Specification for Flanged Steel Ball Valves - Packed Gland- for Use on Liquid Chlorine

GEST 94/201 - Procedure for Verification of Pneumatic Operated Valves for Use on Rail and Road Tankers and ISO-Containers for Liquid Chlorine

GEST 96/220 - Specifications of Weld Repairs during Manufacturing of Cast Valves for Liquid and Dry Gaseous Chlorine

## 7. Použitá literatura a literatura pro další studium

### 7.1. Odborná literatura

1. Chalupa A.: Navrhování ocelových konstrukcí, Vydavatelství ÚNM, Praha 1982
2. Koçak M.: Final Technical Report, Fitnet, 2006
3. Kratochvíl B., Švorčík V., Vojtěch D.: Úvod do studia materiálů, 2005
4. Macek K., Zuna P.: Strojírenské materiály, ČVUT 2003
5. Mikula J. a kol.: Potrubí a armatury, SNTL Praha, 1969
6. Mohinder L. N.: Piping Handbook, 7th Edition, McGraw-Hill, New York, 2000
7. Pekař V.: Jak na potrubí? Kniha nejen o pevnostních výpočtech potrubí, I. Vydání, APTI Líbeznice, 2021
8. Podroužek L.: Navrhování, stavba a provoz tepelných sítí I. a II. Díl, SNTL Praha, 1956
9. Sachse J., Steinbock J., Grossmann A.: How to Assess Hydrogen Pipeline Integrity by Applying Fracture Mechanics, Inspectioneering Journal, listopad/prosinec 2021
10. Sherwood D.R., Whistance J.W.: The „Piping Guide“, VI.náklad, USA, 1973
11. Smith P. R., Van Laan T. J.: Piping and Pipe Support Systems, McGraw.Hill, New York, 1985
12. Timošenko Š.: Pružnost a pevnost I.díl, Technicko-vědecké vydavatelství, Praha, 1951
13. Timošenko Š.: Pružnost a pevnost II.díl, Technicko-vědecké vydavatelství, Praha, 1951

### 7.2. Zajímavé internetové adresy

| Adresa stránek  | Téma stránek  |
|---|---|
| <a href="https://ipotrubici.cz">https://ipotrubici.cz</a>                         | Plno informací o potrubí pro profesionály                         |
| <a href="https://www.technicka-zarizeni.cz">https://www.technicka-zarizeni.cz</a> | O vybraných technických zařízeních                                |
| <a href="https://www.apti.cz">https://www.apti.cz</a>                             | Asociace poskytovatelů technických informací                      |
| <a href="https://www.ticr.eu/">https://www.ticr.eu/</a>                           | Technická inspekce České republiky                                |
| <a href="https://www.unmz.cz/">https://www.unmz.cz/</a>                           | Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví |
| <a href="https://www.eperc-aisbl.eu/">https://www.eperc-aisbl.eu/</a>             | Evropská rada pro výzkum TZ                                       |
| <a href="https://voda.tzb.info.cz">https://voda.tzb.info.cz</a>                   | Technická zařízení budov, voda/kanalizace                         |
| <a href="https://vytapani.tzb.info.cz/">https://vytapani.tzb.info.cz/</a>         | Technická zařízení budov, vytápění                                |
| <a href="https://topin.cz">https://topin.cz</a>                                   | Topenářství, instalace  |
| <a href="https://tlakinfo.com">https://tlakinfo.com</a>                           | Informace o tlakových zařízeních                                  |
| <a href="https://whatispiping.com/">https://whatispiping.com/</a>                 | O výpočtech potrubí   |
| <a href="https://inspectioneering.com">https://inspectioneering.com</a>           | O inspekcích potrubí  |



|   |   |
|---|---|
| <a href="http://www.eurofitnet.org/">http://www.eurofitnet.org/</a>                                 | O inspecích a provozu                     |
| <a href="https://forengineers.org">https://forengineers.org</a>                                     | Welding Research Council                  |
| <a href="https://fatec.engineering.com">https://fatec.engineering.com</a>                           | O únavě materiálu                         |
| <a href="http://www.ffatigue.net">http://www.ffatigue.net</a>                                       | O únavě materiálu                         |
| <a href="https://titan-plastimex.cz">https://titan-plastimex.cz</a>                                 | Plastová potrubí                          |
| <a href="https://simona-cz.com">https://simona-cz.com</a>   | Plastová potrubí                          |
| <a href="http://seznam.normy.biz/trida.php?trida=13">http://seznam.normy.biz/trida.php?trida=13</a> | Seznam platných norem ve třídě13. potrubí |