

Plastová potrubí s korzetem



© Václav Pekař, 2024

iPotrubí.cz, Vysoké Mýto, 2024

Obsah:

1. VELIČINY, JEDNOTKY A JEJICH OZNAČENÍ	3
2. PLASTOVÉ POTRUBÍ S KORZETEM – POPIS, VÝHODY A NEVÝHODY.....	5
2.1. Výhody a nevýhody.....	5
2.2. Popis korzetu plastového potrubí.....	5
2.3. Spojování potrubí v korzetu	6
2.4. Kompenzování délkové roztažnosti	6
2.5. Uložení plastových potrubí s korzetem	6
3. TEORIE PRO VÝPOČET PLASTOVÝCH POTRUBÍ S KORZETEM.....	8
3.1. Vlastnosti plastových potrubí.....	8
3.2. Vztahy v případě „Pevné montáže“.....	10
3.3. Odvození vztahů pro potrubí s korzetem.....	11
4. ZÁVĚR.....	13

1. Veličiny, jednotky a jejich označení

Značka	Zkratka jednotky	Název	Značka	Zkratka jednotky	Název
F	N	síla (všeobecně)	Δt	$^{\circ}C$	rozdíl dvou teplot (současné a srovnávací)
F_{ztr}	N	síla od zabráněné tepelné roztažnosti	h, s	mm	tloušťka stěny potrubí
M	Nm	moment síly (všeobecně)	DN, d_n	mm	jmenovitý vnější průměr trubky
M_{o1}	Nm	ohybový moment od spojitého zatížení prázdného potrubí	D_o, D	mm	vnější průměr trubky
M_{o2}	Nm	ohybový moment od spojitého zatížení potrubí naplněného vodou nebo jinou kapalinou	D_s	mm	střední průměr trubky
σ	MPa	napětí (všeobecně), počáteční napětí, které je vyvozeno konstantní počáteční silou při křipové zkoušce	d	mm	vnitřní průměr potrubí
σ_1, σ_o	MPa	hlavní napětí (osové napětí v trubce)	A	mm^2	plocha řezu samotného plastového potrubí
σ_2, σ_t	MPa	hlavní napětí (obvodové či tečné napětí v trubce)	A_1, A_2, A_3, A_i	mm^2	plochy řezů jednotlivých výztuží korzetu
σ_{LCL}	MPa	dolní mez pevnosti (v normách je také udáván nepřesně přeložený výraz spolehlivost) – platí pouze pro plasty	A_n	mm^2	součet všech ploch řezů jednotlivých výztuží korzetu
$\sigma_{dov 1 max}$	MPa	dovolené napětí pro primární napětí potrubí odvozené od srovnávacího napětí při maximální teplotě	T_1, T_2, T_3, T_i	mm	vzdálenosti těžišť jednotlivých výztuží korzetu od vodorovné osy x
$\sigma_{dov 1 min}$	MPa	dovolené napětí pro primární napětí potrubí odvozené od srovnávacího napětí při minimální teplotě	J	mm^4	moment setrvačnosti průřezu (všeobecně)
$\sigma_{dov 2 max}$	MPa	dovolené napětí pro sekundární napětí potrubí odvozené od krátkodobé meze kluzu při maximální teplotě	J_x	mm^4	moment setrvačnosti průřezu výztuže k ose x
$\sigma_{dov 2 min}$	MPa	dovolené napětí pro sekundární napětí potrubí odvozené od krátkodobé meze kluzu při minimální teplotě	i	mm	kvadratický poloměr setrvačnosti průřezu
$\sigma_{dov max}$	MPa	dovolené napětí výztuže od meze kluzu výztuže při maximální teplotě	$W_{x1,2}$	mm^3	průřezové moduly průřezu výztuže korzetek ose x

$\sigma_{dov\ min}$	MPa	dovolené napětí výztuže od meze kluzu výztuže při minimální teplotě	α	1/K	koeficient tepelné roztažnosti výztuže korzetu
MRS	MPa	Minimální požadovaná pevnost je zaokrouhlená dolní mez pevnosti při teplotě 19 °C a době 50 let – platí pouze pro plasty	α_t	1/K	koeficient tepelné roztažnosti plastového potrubí
ε	%	poměrné prodloužení	g	m/s^2	gravitační zrychlení 9,81 m/s^2
ε_{max}	%	maximální dovolené poměrné prodloužení	L	m	délka (tj. původní) potrubí
ε_1	%	poměrné osově prodloužení	l	m	délka trubky před nárůstem, délka trubky, pro kterou se navrhuje kompenzace tepelné roztažnosti
ε_2	%	poměrné obvodové prodloužení	$\frac{\Delta L}{\Delta l}$	m	prodloužení potrubí
ε_t	%	poměrné prodloužení při krípu v tahu	l_o	m	vzdálenost objímek korzetu
μ	-	Poissonova konstanta	l_s	m	vzdáleností ocelových stahovacích pásků korzetu
σ_{dov}	MPa	dovolené namáhání	m	kg	hmotnost (všeobecně)
E	MPa	modul tahové/tlakové pružnosti	C	-	celkový koeficient, má hodnotu větší než 1, platí pouze pro plasty a zohledňuje ostatní provozní i konstrukční podmínky.
E_1	MPa	reálná část komplexního čísla dynamického modulu, totožná s krátkodobým modulem pružnosti	S	-	součinitel bezpečnosti
E_2	MPa	imaginární část komplexního čísla dynamického modulu	ρ	kg/m^3	hustota tekutiny či jiná hustota
E_t	MPa	viskoelastický (tj. kríповý či relaxační) modul pružnosti	S	-	řada trubek – platí pouze pro plasty
E_d	MPa	dynamický modul	SDR	-	standardní rozměrový poměr – platí pouze pro plasty
p	bar g	výpočtový tlak tekutiny	PN	-	označení používané k referenčním účelům se závislostí na mechanických vlastnostech, v případě plastů jsou jednotlivá PN určena pro teplotu 19°C a životnost 50 let.
p_{kr}, p_{cr}	bar g	kritický podtlak, tj. podtlak, při němž nastane ztráta stability stěny potrubí			

tab. 1.1 Jednotky této kapitoly

2. Plastové potrubí s korzetem – popis, výhody a nevýhody

2.1. Výhody a nevýhody

Abychom mohli vyhodnotit význam následujících úvah, musíme v tomto úvodu porovnat klady a zápory plastových průmyslových potrubí a říci si, zda je možné se některých ze záporů zbavit.

Plasty jsou chemicky velmi odolné materiály, které zároveň zachovávají potřebnou čistotu media. Potrubí z plastů má též malé tlakové ztráty při průtoku tekutiny. Dále mezi klady používání plastů patří velká rázová a vrubová houževnatost, snadná spojovatelnost (tj. především svařitelnost) a velký výběr tvarovek a armatur při jejich nízké ceně.

Mezi záporné vlastnosti samotných plastových potrubí patří:

- Velký koeficient tepelné roztažnosti, proto musí být instalováno časté kompenzační zařízení
- Malý modul pružnosti, což se projevuje velkými průhyby a tím i nutnost častých podpěr
- Částečně i viskoelastická (tj. creep a relaxace), tj. creep je omezen tím, že zvětšování průhybu od vlastní hmotnosti neexistuje, neboť tomuto zabraňuje výztuž.

Uložení plastových potrubí v korzetu umožňuje se zbavit těchto záporných vlastností plastových potrubí.

Je to prakticky spojení uložení do korýtek a pevné montáže. Korýtky jsou zde přepracovány do takového stavu, že umožňují stlačit tj. předepnout plastové potrubí, sama by pak byla namáhána na tah a zároveň by tvořila „korzet“ proti ztrátě stability potrubí vzpěrem.

2.2. Popis korzetu plastového potrubí

Základní sestava korzetu se skládá z plastového potrubí, z krajních objímek, spojovacích tyčí a stahovacích pásků.

Krajní objímky slouží též jako podpěry, a proto mohou být uchyceny závěsnou tyčí na konstrukci budovy anebo mohou být podepřeny a mohou tvořit kluznou podpěru či pevný bod. Objímka se skládá ze dvou polovin, které mají na krajích části s otvorem pro šroub. Těmito otvory jsou staženy k sobě. Aby objímky udržely axiální sílu v potrubí, která je při použití sestavy vytvářena, mají vroubkování na části, která je v dotyku s trubkou. Vroubkování je kolmé na osu trubky. Vroubkování umožňuje pevně se přimknout k trubce tak, aby přeneslo axiální sílu v potrubí. Zajišťovací kroužky mají tvar mezikruží a jsou na jednom místě rozděleny s takovou mezerou, která zabezpečí nasazení kroužku do sešroubované objímky. Na objímce je i část pro upevnění spojovacích tyčí.

Spojovací tyče spojují obě objímky navzájem podélně s trubkou a přenášejí tlakovou a tahovou sílu vznikající různým koeficientem tepelné roztažnosti obou použitých materiálů. Spojovací tyče mají na koncích patky, které se zavléknu do objímky ještě před jejím dotažením k sobě.

Aby namáhání tyčí tlakovou silou nepřerostlo ve vzpěr, je sestava ve vypočtených vzdálenostech doplněna o stahovací pásky, které vedou venkem přes tyče a stahují je k trubce. Stahovací pásek je z ocele a je tak tenký, aby se choval při stahování plasticky. Stahován může být otáčivým čepem (závlačkou) nebo šroubovým mechanismem.

Při zahřátí tekutiny v trubce se plastová trubka roztahuje řádově více než ocelová táhla a dochází tak k předpětí v potrubí i v táhlech. Toto předpětí tyto výhody:

1. Vzdálenost podpěr je velmi podobná jako pro celoocelová potrubí, tj. výrazně se zvětší oproti volnému plastovému potrubí
2. Průhyb plastového potrubí s korzetem je přístejném rozponu daleko menší oproti volnému plastovému potrubí a není závislý na čase

2.3. Spojování potrubí v korzetu

Spojování jednotlivých dílů takto upraveného a předizolovaného potrubí je možné provádět stejně jako u potrubí bez korzetu, tj. svařováním (natupo, spojkami nebo elektrospojkami) a také přírubami. Pro tento účel je ponechán na krajích volný neizolovaný kousek bez uložení. Tento spoj se může dodatečně doizolovat. Oba krajní závěsy nebo podpěry se mohou spojit a zavěsit nebo podepřít společně.

2.4. Kompenzování délkové roztažnosti

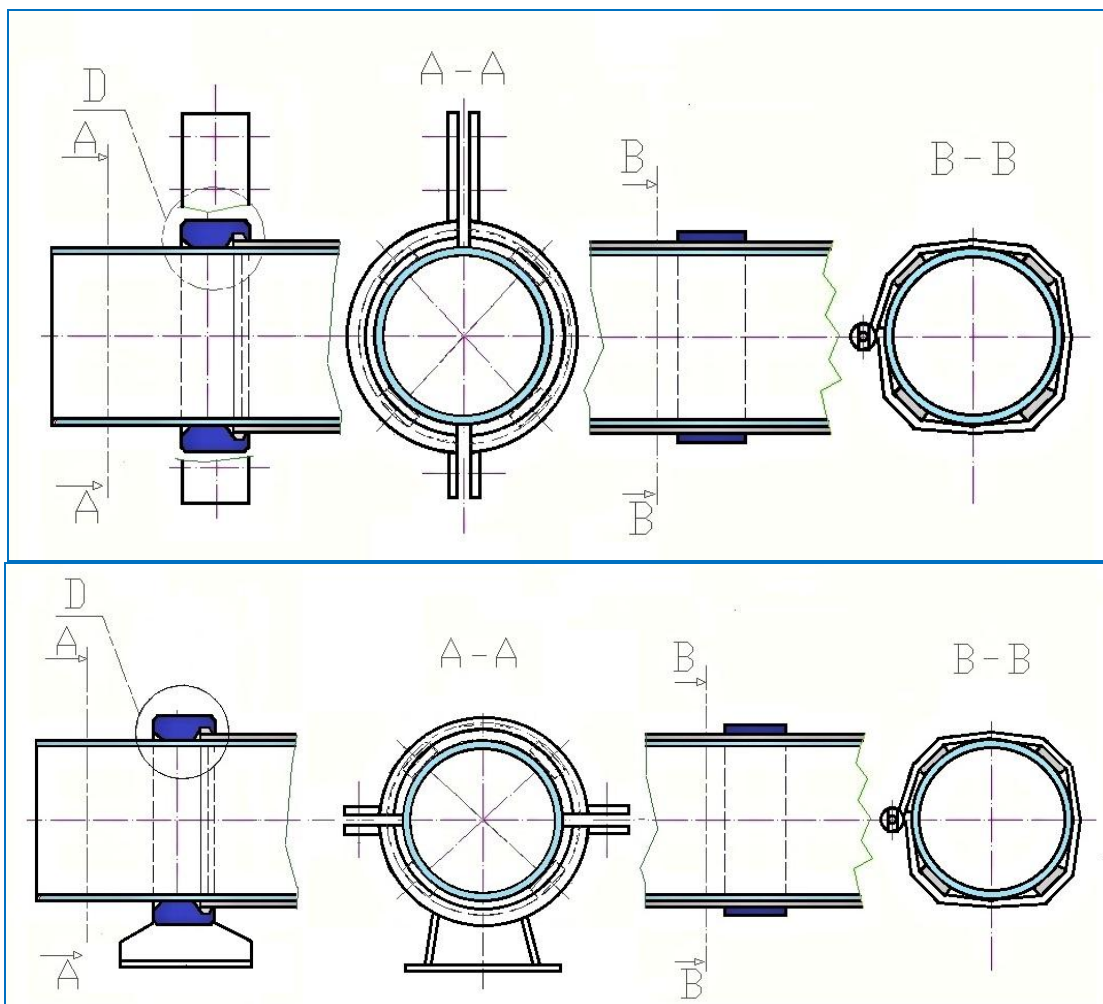
Tepelná roztažnost potrubí s korzetem jako celku je zhruba 2x tak větší než u ocelových potrubí a cca 8 až 9x menší než u plastových potrubí. Přes tuto výraznou výhodu nastanou situace, kdy je nutno tuto malou tepelnou roztažnost kompenzovat.

Kompenzace se může provádět oběma způsoby, tj. použitím vlnovcového kompenzátoru i kompenzací tvarem. Při kompenzací tvarem, a to při použití kompenzátoru U i při použití rohu jako kompenzátoru, se již nemůže použít potrubí s výztuží, neboť korzet zabraňuje i pohybu do stran, který kompenzaci umožňuje. V těchto případech se použije nevyztužené plastové potrubí. Kompenzace se tak provádí stejným způsobem jako u uložení do korýtek, tj. kompenzátozem vlnovcovým anebo kompenzací tvarem např. tvarem U. Rozdíl je v tom, že se kompenzace u potrubí s korzetem provádí výrazně méně často.

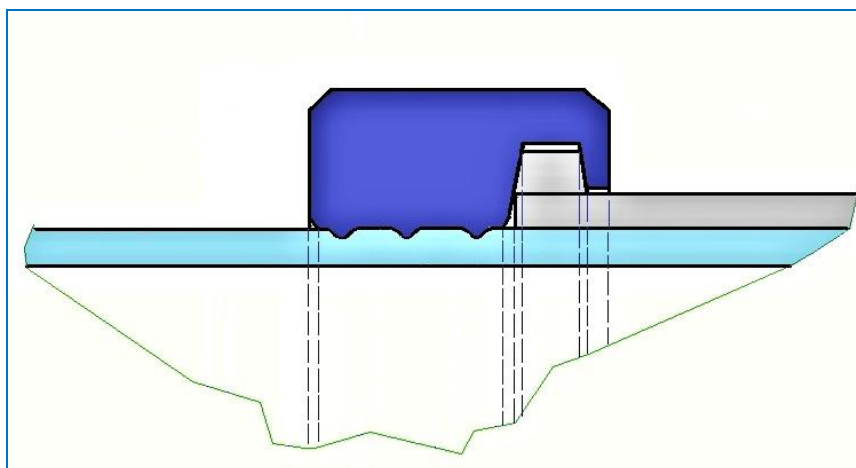
2.5. Uložení plastových potrubí s korzetem

Podstata tohoto řešení spočívá v tom, že vždy dvě krajní objímky jsou spolu spojeny tyčemi tak, že spojovací tyče jsou vždy okolo plastového potrubí. Objímky jsou pevně

spojeny s plastovým potrubím. „Pevně“ znamená to, že dokáže přenést sílu vznikající rozdílnou tepelnou dilatací plastu a materiálu spojovacích tyčí. Aby se při tlaku nedostaly spojovací tyče do vzpěru je nutno přitáhnout spojovací tyče k potrubí stahovacím páskem. Interval mezi páskami se musí být menší než mezní vzpěrná délka spojovací tyče. Na objímky je možno připevnit oko pro závěs potrubí nebo podpěru potrubí.



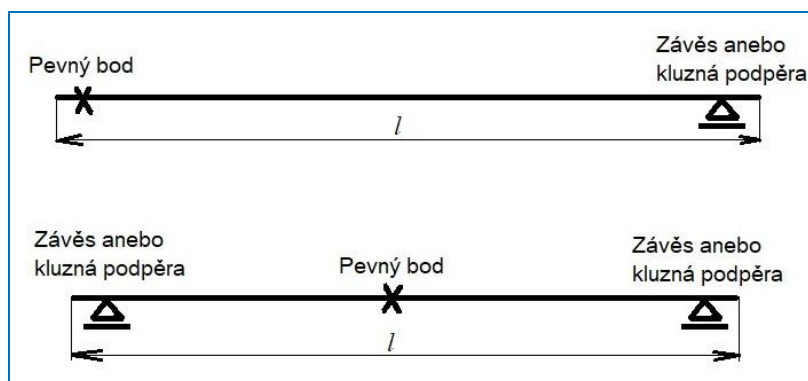
obr. 2.1 Uložení potrubí s korzetem závěs a podpěra (tyče jsou pootočený o 45°)



obr. 2.2 Detail D

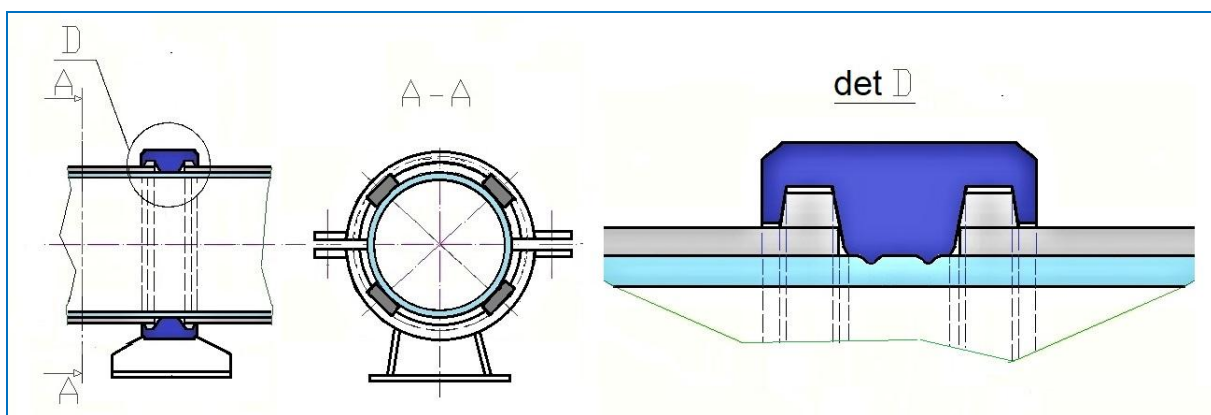
Jestliže je však teplota potrubí vyšší než montážní potrubí je namáháno tlakem a spojovací tyče tahem. V takovýchto případech se celý systém předepne. Celý systém pak má tepelnou dilataci o dost příznivější než samotné plastové potrubí.

Máme tedy dvě možnosti uložení závěs a podpěra. Podpěru můžeme nechat kluznou anebo ji připevnit ke stavební konstrukci jako pevný bod. Konstrukce může být ještě taková, že pevný bod může být i uprostřed, potom mohou být uspořádání, která jsou znázorněna na dalším obrázku.



obr. 2.3 Celkové uspořádání

Délky l mohou mít tyto rozměry: 6m, 3m, 2m, 1,5m, 1m. Pevný bod uprostřed může mít například takovouto konstrukci:



obr. 2.3 Pevný bod uprostřed (tyče jsou pootočený o 45°)

3. Teorie pro výpočet plastových potrubí s korzetem

3.1. Vlastnosti plastových potrubí

Koeficient tepelné roztažnosti je u plastů řádově větší než u kovů. Z toho vyplývá nepříjemná nutnost, tj. při projektování potrubní trasy řešit kompenzace tepelné roztažnosti.

Tepelná roztažnost vytváří sekundární napětí. Je zřejmé, že vypočtené sekundární napětí nesmí přesáhnout mez kluzu při krátkodobém zatížení materiálu pro nejvyšší dovolenou teplotu v potrubí. Toto platí pro kladnou i zápornou hodnotu (tj. tah i tlak)

Deformační změny plastu nejsou dány jen napětím, ale i velikostí a dobou působení mechanického namáhání. Tato viskoelastická deformace se projevuje, zejména u plastů v kaučukovitém stavu a nepatrně i ve sklovitém stavu. Tyto deformace jsou příčinou tečení (creepu) a relaxace napětí v plastu. Krátkodobá pružnost (tj. platnost Hookova zákona však zůstává zachována). Pro primární napětí platí, že i při konstantním napětí (způsobeným např. vnitřním tlakem) roste deformace. Toto se nazývá creep nebo též tečení. Pro sekundární napětí platí, že i při konstantní deformaci (způsobenou např. tepelnou roztažností) klesá napětí. Toto se nazývá relaxace nebo též zotavení. Zatížení způsobující sekundární napětí a to znamená relaxaci při návrhu potrubní třídy nezohledňujeme.

Viskoelastická používá fázový posun mezi deformací a napětím. Tím je možné používat čísla z komplexního definičního oboru takto:

- Čistě pružná hmota má stres a napětí ve fázi, tak, že žádná odezva jednoho způsobená další je okamžitá.
- V čistě viskózní materiálech, napětí se zpožďuje 90 stupňovým fázovým zpožděním.
- Viskózně elastický materiál projeví chování kdesi uprostřed těchto dvou druhů materiálu, vystavování nějaký interval v napětí.

Modul pružnosti je u plastů je řádově menší než u kovů. Dále se zde uplatňuje i viskoelastická: Komplexní číslo *Dynamický modul* E_d představuje potom tyto vztahy:

$$E_d = E_1 + iE_2$$

Kde E_1 je reálná část komplexního čísla

E_2 je imaginární část komplexního čísla

Modulem viskoelastické E_t můžeme nazvat creepový modul v tahu E_t za určitý čas, dle jiné normy je též nazýván modul tečení, ale protože v sobě může zahrnout i relaxaci je vhodnější název uvedený. Viskoelastický modul je dle ČSN EN ISO 899-1 roven:

$$E_t = \frac{\sigma}{\varepsilon_t}$$

kde σ je počáteční napětí, které je vyvozeno konstantní počáteční silou

ε_t je poměrné prodloužení při creepu v tahu

Vztah viskoelastického modulu E_t a dynamického modulu E_d je ten samý jako vztah komplexního čísla k jeho absolutní hodnotě, tj.

$$E_t = |E_d| = \sqrt{E_1^2 + E_2^2}$$

Z norem je možno získat a používat přímo viskoelastický modul, který je tak závislý na teplotě media, počátečním napětí a na předpokládané životnosti potrubí. V případě

výpočtu nějakého druhu stability (tj. odolnost proti podtlaku, boulení či při vzpěru) potrubí použijeme právě tento modul. Právě na tomto modulu závisí průhyb potrubí zapříčiněný různými zatíženími (tj. vlastní hmotností, hmotností média, klimatickými zatíženími) a stabilita potrubí, tj. odolnost vůči vzpěru, podtlaku a proti boulení stěny potrubí. Z toho vyplývá nepříjemná nutnost, tj. při projektování potrubní trasy řešit tyto problémy. Jednoduché řešení stability je přidání tloušťky stěny trubky, průhyby se řeší nízkou vzdáleností podpěr anebo uložením potrubí do korýtek.

3.2. *Vztahy v případě „Pevné montáže“*

„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 tlakem, musí mezi pevnými body instalovány podpěry typu vedení, které neumožňují potrubí vybočit. Působí zde i viskoelastická plastových potrubí se všemi jejími důsledky. „Pevná montáž“ je typická kompenzace tepelné roztažnosti, kterou je možné použít pouze u plastů. Umožňuje to vzájemný poměr hodnot materiálových veličin plastů.

Tepelná roztažnost vytváří sekundární napětí. Z předchozího je zřejmé, že vypočtené sekundární napětí nepřesáhne mez kluzu při krátkodobém zatížení materiálu pro nejvyšší dovolenou teplotu v potrubí. Toto platí pro kladnou i zápornou hodnotu (tj. tah i tlak). Dovolené napětí dostaneme tak, že uvedenou mez kluzu vydělíme již zmíněným koeficientem C.

Výpočet napětí pro jednotlivé kombinace zatížení při pevné montáži.

1. Napětí od tepelné dilatace při nízkých teplotách:

Minimální návrhová teplota t_{min} (příklad): -20 °C

Teplota srovnávací t_s , tj. teplota montáže (příklad): +20 °C

Základní vzorec pro tepelnou roztažnost v případě, že převažuje jeden rozměr – délka -, tj. tak jako je tomu u potrubí, je:

$$\Delta l = \alpha \cdot \Delta t \cdot l, \quad \varepsilon = \frac{\Delta l}{l} = \alpha \cdot \Delta t$$

Výpočet osového napětí v potrubí způsobené tepelnou roztažností, jde o sekundární napětí:

Hookův zákon:

$$\sigma_t = E \cdot \varepsilon = E \alpha \cdot \Delta t_1$$

2. Napětí od tepelné dilatace při vyšších teplotách:

Pracovní teplota tekutiny t_{max} (příklad): 60 °C

Teplota srovnávací, tj. teplota montáže (příklad): 20 °C

$$\sigma_d = E \cdot \varepsilon = -E \alpha \cdot \Delta t_2$$

Obě výše uvedená napětí jsou osová. Do tohoto (tj. osového) směru hlavního napětí se však promítá i 1/2 napětí obvodového způsobeného vnitřním tlakem (viz membránové napětí). Tady jde však o primární napětí, proto obvodové napětí způsobené vnitřním tlakem nesmí překročit dovolené primární napětí. Tedy z toho osové napětí

$$\sigma_1 = \sigma_0 = \frac{pR}{2h}$$

3.3. Odvození vztahů pro potrubí s korzetem

Úkol je vypočítat napětí v tlaku a v tahu pro potrubí a v tlaku a v tahu pro výztuž a stanovit vzdálenost objímek a stahovacích pásků tak, aby uvedené vyhovělo všem kombinacím zatížení v pevnosti a aby nenastal vzpěr. Objímky i spojky se montují při teplotě montáže $t_s=20^\circ\text{C}$.

Je zřejmé, že zde platí rovnováha sil, tj. osová síla trubce se rovná osová síla ve výztuži. A dále deformační podmínka tj. prodloužení trubky se rovná prodloužení výztuže. Mohou v potrubí nastat následující kombinace osového napětí, avšak součet napětí všech kombinací nesmí překročit uvedená dovolená napětí. Čili:

a) potrubím neproudí tekutina (tj. potrubí je bez tlaku, a má teplotu okolí), v okolí je minimální teplota (například -20°C):

pro potrubí pro sekundární napětí platí $E_t \alpha_t (t_s - t_{\min}) \leq \sigma_{\text{idov } 2 \text{ min}}$

primární napětí není

pro výztuž platí $E \alpha (t_s - t_{\min}) + \frac{M_{o1}}{W_x} \leq \sigma_{\text{dov min}}$

V tomto případě je v potrubí tah a výztuha je namáhána na tlak nebo vzpěr

b) potrubím proudí tekutina (potrubí je pod tlakem) s teplotou t_{max} a tlakem p

pro potrubí pro sekundární napětí platí $E_t \alpha_t (t_{\max} - t_s) + \frac{pD}{4h} \leq \sigma_{\text{idov } 2 \text{ max}}$

pro potrubí pro primární napětí platí $\frac{pD}{2h} \leq \sigma_{\text{idov } 1 \text{ max}}$

pro výztuž platí $E \alpha (t_{\max} - t_s) + \frac{M_{o2}}{W_x} \leq \sigma_{\text{dov max}}$

V tomto případě je v potrubí tlak a výztuha je namáhána na tah.

c) potrubí je zatíženo vnitřním tlakem, ale ještě není prohřáté potom

pro potrubí pro sekundární napětí platí
$$E_t \alpha_t (t_s - t_{\min}) + \frac{pD}{4h} \leq \sigma_{\text{idov } 2 \text{ min}}$$

pro potrubí pro primární napětí platí
$$\frac{pD}{2h} \leq \sigma_{\text{idov } 1 \text{ min}}$$

pro výztuž platí
$$E\alpha(t_s - t_{\min}) + \frac{M_{o2}}{W_x} \leq \sigma_{\text{dov min}}$$

V tomto případě je v potrubí tah a výztuha je namáhána na tlak nebo vzpěr

Primární napětí potrubí bývá ověřováno již při návrhu potrubní třídy, proto ho z dalších úvah vyřadíme a počítáme, že jsou uvedené nerovnosti splněny. Z první nerovnice v každém bodu vyjádříme rozdíl teplot a dosadíme do poslední nerovnice v každém bodu. Potom bude:

$$\begin{aligned} \text{a)} \quad & \frac{E\alpha}{E_t \alpha_t} \cdot \sigma_{\text{idov } 2 \text{ min}} + \frac{M_{o1}}{W_x} \leq \sigma_{\text{dov min}} \\ \text{b)} \quad & \frac{E\alpha}{E_t \alpha_t} \cdot \left(\sigma_{\text{idov } 2 \text{ max}} - \frac{pD}{4h} \right) + \frac{M_{o2}}{W_x} \leq \sigma_{\text{dov max}} \\ \text{c)} \quad & \frac{E\alpha}{E_t \alpha_t} \cdot \left(\sigma_{\text{idov } 2 \text{ min}} - \frac{pD}{4h} \right) + \frac{M_{o2}}{W_x} \leq \sigma_{\text{dov min}} \end{aligned}$$

Maximální vzdálenost podpěr z hlediska pevnosti se odvodí z ohybového momentu potrubí prázdného nebo naplněného kapalinou. Bude však výhodnější, když budou podpěry či závěsy ve vzdálenosti takové, aby průhyb umožňoval vypuštění potrubí se sklonem několika promile. Potom se vzdálenost objímek l_o , tj. podpěr nebo závěsů vypočítá ze vzorce:

$$f_{\text{dov}} = \frac{5}{384} \cdot \frac{q_2 l_o^4}{EJ_x}$$

Jestliže dovolený průhyb je 5mm, potom vychází:

$$l_o = 0,443 \cdot \sqrt[4]{\frac{EJ_x}{q_2}}$$

kde q_2 je spojitě zatížení, vypočítané z hmotnosti potrubí, výztuže, izolace a média
Následně se však musí zkontrolovat podle všech tří předešlých nerovností a), b), c)

Vzdálenost stahovacích pásků l_s odvodíme z Eulerova vztahu pro vzpěr kulatiny. Vypočítá se napětí ve výztuži a porovnává se s kritickým napětím z Eulerova vztahu a volí se taková vzdálenost stahovacích pásků, aby naznačená nerovnost byla pravdivá.

Jedná se o vzpěr se součinitelem vzpěrné délky rovné 0,7

$$F_{cr} = \pi^2 \cdot E \cdot \frac{J_{x1}}{L^2}$$

kde:

L Redukovaná (efektivní) délka prutu. Je skutečná délka prutu vynásobená koeficientem 0,7, který platí pro náš případ .

Porovnáním s osovou silou dostaneme vzdálenost stahovacích pásků l_s :

$$l_s = \frac{\pi}{0,7} \sqrt{\frac{E \cdot J_{x1}}{\sigma_{dov \max} \cdot A_1}}$$

Nyní se vraťme k Eulerovu vzorci a vypočítejme kritické napětí, jestliže A_1 je plochou řezu trubky. Potom

$$\sigma_{cr} = \pi^2 E \frac{J_{x1}}{L^2 \cdot A_1}$$

Z uvedeného vzorce můžeme proto vypočítat i mezní štíhlost trubky:

$$\lambda_{mez} = \frac{L}{i} = \frac{\pi}{0,7} \sqrt{\frac{E}{\sigma_{dov}}} = cca 150$$

Tepelná roztažnost celého potrubí s výztuží se řídí tepelnou roztažností výztuže.

Dále je třeba ověřit, zda je síla zabraňující tepelné dilataci plastového potrubí a vnášejíci do potrubí napětí přenositelná třením mezi potrubím a objímkou výztuže.

a) potrubím neproudí tekutina (tj. potrubí je bez tlaku, a má teplotu okolí), v okolí je minimální teplota (například -20°C):

pro potrubí pro sekundární napětí platí $E_t \alpha_t (t_s - t_{\min}) = \sigma_{tr1}$

b) potrubím proudí tekutina (potrubí je pod tlakem) s teplotou t_{max} a tlakem p

pro potrubí pro sekundární napětí platí $E_t \alpha_t (t_{\max} - t_s) + \frac{pD}{4h} = \sigma_{tr2}$

c) potrubí je zatíženo vnitřním tlakem, ale ještě není prohřáté potom

pro potrubí pro sekundární napětí platí $E_t \alpha_t (t_s - t_{\min}) + \frac{pD}{4h} = \sigma_{tr3}$

Z uvedených možností vybereme maximální napětí (možnost a) vypadne automaticky, protože je vždy menší než možnost c)). Z tohoto napětí a z plochy průřezu plastové trubky vypočítáme sílu F_{tr} . Tuto sílu vydělíme koeficientem tření mezi plastem a mezi materiálem výztuže a vyjde nám, jakou celkovou silou musíme v jednom řezu přitiskávat každou z výztuží k trubce.

4. Závěr

Spočítáme-li si několik příkladů excelovskou aplikací, která je dispozici na těchto stránkách, a který využívá dole odvozené vzorce, zjistíme:

Vzdálenost podpěr je velmi podobná jako pro celooceľová potrubí, tj. výrazně se zvětší.

Plastová potrubí získají časem větší průhyb než ten, který umožňuje bezproblémové vypuštění potrubí. Je to způsobeno možností špatného nebo žádného započítání creepu. Ani tento jev se při použití výše popsaného uložení nevyskytuje, neboť creep výztuže se při našich teplotách tj. do 200°C nevyskytuje.

Tepelná roztažnost potrubí s výztuží jako celku je zhruba 2x tak větší než ocelová potrubí a cca 8 až 9x menší než plastová potrubí. Toto však znásobuje možnost použití kompenzace plastovým potrubím bez výstuže.

Pro plastová potrubí se tak nemusí vymýšlet speciální trasy, nemusí se používat závěsy a podpěry, které umožňují velké posuvy. Další úspora spočívá v odstranění velkého počtu kompenzací a častých podpěr. Potrubí též nemusí být vedena ve žlábcích.

Dodatečné benefity:

Jestliže je třeba, aby potrubí procházelo výbušným prostředím, je snazší svést z povrchu potrubí statický elektrický náboj.

Jestliže jde o topené potrubí elektrickým vodičem, zvyšuje výztuž přenos tepla do potrubí (zvyšuje kontaktní plochu mezi potrubním plastem a topícím vodičem.)