

Tvorba potrubní třídy



© Václav Pekař, 2023

iPotrubí.cz, Vysoké Mýto, 2023

Obsah:

1. POUŽITÉ VELIČINY A JEDNOTKY	5
2. CO UMOŽŇUJE TVORBU POTRUBNÍ TŘÍDY?	6
3. SYSTÉMY ZNAČENÍ POTRUBNÍ TŘÍDY	7
4. KONSTRUKCE POTRUBNÍ TŘÍDY	8
4.1. Základní údaje a složení potrubní třídy	8
4.2. Tlakoteplotní tabulka.....	9
4.3. Výpočet teoretické tloušťky stěny s	10
4.3.1. Výpočet tloušťky stěny trubky.....	10
4.3.2. Výpočet tloušťky stěny tvarovek.....	10
4.3.3. Výpočet v případě zatížení podtlakem.....	10
4.3.4. Výpočet v případě podzemního potrubí.....	11
4.4. Přídavky tloušťky stěny trubky.....	11
4.4.1. Znázornění a označení přídavků.....	11
4.4.2. Korozně-erozní přídavek.....	12
4.4.3. Záporná výrobní tolerance tloušťky stěny trubky	13
4.5. Potrubní třídy pro speciální tekutiny a ze speciálních materiálů.....	15
4.5.1. Potrubní třídy pro kryogenní kapaliny a chladiwa	15
4.5.2. Potrubní třídy pro plynny vodík.....	15
4.5.3. Potrubní třídy pro potrubí z plastů	16
4.5.3.1. Výpočet tloušťky stěny.....	16
4.5.3.2. Přídavky tloušťky stěny trubky	17
4.5.3. Potrubní třídy pro potrubí z laminátů.....	17
5. KOMPONENTY POTRUBNÍ TŘÍDY	19
5.1. Trubky.....	19
5.2. Tvarovky	20
5.2.1. Tvarovky všeobecně	20
5.2.2. Hladké ohyby - použití.....	21
5.2.3. Segmentové ohyby.....	21
5.3. Příruby.....	22

5.4. Spojovací materiál	23
5.5. Těsnění	25
5.6. Kompenzátory	26
5.7. Tlakové hadice	27
5.8. Armatury	29
5.9. Označení konců dílů potrubní třídy	32
5.10. Komponenty PT pro potrubí z plastů	33
5.11. Komponenty PT pro potrubí z laminátů	33
6. MATERIÁLY PRO POTRUBÍ	35
6.1. Oceli	35
6.1.1. Základní vlastnosti ocelí.....	35
6.1.2. Nelegované a nízkolegované oceli.....	36
6.1.3. Oceli pro nízké teploty.....	36
6.1.4. Jemnozrnné oceli.....	36
6.1.5. Korozi vzdorné oceli.....	36
6.1.5.1. Feritické oceli.....	36
6.1.5.2. Martenzitické oceli.....	37
6.1.5.3. Austenitické oceli.....	37
6.1.5.4. Austeniticko-feritické oceli.....	37
6.2. Litiny	38
6.2.1. Základní vlastnosti litin.....	38
6.2.2. Šedá litina.....	38
6.2.3. Tvárná litina.....	39
6.3. Neželezné kovy	40
6.3.1. Hliník a jeho slitiny.....	40
6.3.2. Měď a její slitiny.....	40
6.3.2.1. Měď.....	40
6.3.2.2. Bronz.....	41
6.3.2.3. Mosaz.....	42
6.3.3. Titan a jeho slitiny.....	42
6.3.4. Slitiny žáruvzdorné a žárupevné.....	45
6.4. Plasty a lamináty	46
6.5. Ostatní materiály pro potrubí	47
6.5.1. Sklo.....	47
6.5.2. Keramika.....	48
6.5.3. Beton.....	48

7. SOUVISEJÍCÍ TECHNICKÉ NORMY A LEGISLATIVA	50
7.1. <i>Související legislativa</i>.....	50
7.2. <i>Související technické normy</i>.....	50
7.2.1. Platné původem české technické normy	50
7.2.2. Evropské normy (harmonizované k PED) - Kovová potrubí.....	50
7.2.3. Německé normy (harmonizované k PED)	52
8. POUŽITÁ LITERATURA A LITERATURA PRO DALŠÍ STUDIUM	53
8.1. <i>Odborná literatura</i>.....	53
8.2. <i>Firemní literatura</i>.....	53
8.3. <i>Zajímavé internetové adresy</i>.....	54

1. Použité veličiny a jednotky

Značka	Zkratka jednotky	Název	Značka	Zkratka jednotky	Název
R_e	<i>MPa</i>	mez kluzu materiálu při pokojové teplotě	s	<i>mm</i>	teoretická tloušťka stěny trubky
R_m	<i>MPa</i>	pevnost materiálu při pokojové teplotě	s_r	<i>mm</i>	je s s přídávky a úchytkami
f	<i>MPa</i>	dovolené namáhání	s_{ord}	<i>mm</i>	objednávaná tloušťka stěny trubky
E	<i>MPa</i>	modul tahové/tlakové pružnosti	s_n	<i>mm</i>	jmenovitá tloušťka stěny trubky
p	<i>bar g</i>	výpočtový tlak tekutiny	e_{ϵ}	<i>mm</i>	přídavek nutný k zaokrouhlení na vyráběný rozměr
p_{cr}	<i>bar g</i>	kritický podtlak, tj. podtlak, při němž nastane ztráta stability stěny potrubí	c_0	<i>mm</i>	korozní nebo erozní přídavek tloušťky stěny trubky
h	<i>mm</i>	tloušťka stěny potrubí	c_1	<i>mm</i>	záporná tolerance tloušťky stěny trubky
D_o, D	<i>mm</i>	vnější průměr trubky	c_2	<i>mm</i>	přídavek technologického zeslabení tloušťky stěny trubky při výrobě či montáži
D_s	<i>mm</i>	střední průměr trubky	S	<i>m</i>	vzdálenost mezi zkoseními v ose potrubí segmentového ohybu
Z	<i>mm³</i>	průřezový modul potrubí pro ohyb	r	<i>m</i>	střední poloměr trubky segmentového ohybu
z	-	součinitel pevnosti svaru	Θ	<i>úhl.stupeň</i>	poloviční úhel mezi zkoseními segmentového ohybu
X	-	součinitel tlaku tvarovky	R	<i>m</i>	radius segmentového ohybu
v (ný)	-	štíhlost stěny potrubí	V_{mez}	-	mezní štíhlost stěny potrubí

tab. 1.1 Jednotky této kapitoly

2. Co umožňuje tvorbu potrubní třídy?

Požadavek, aby byl nejprve dán dohromady soupis dílů, ze kterých se bude potrubí sestavovat, je hlavní moment, pro snahy o tvorbu potrubních tříd. Jejich tvorbu umožňuje definování tenkostěnné trubky, membránového stavu rovinné napjatosti a hlavně existence dvou hlavních napětí a to v obvodovém anebo axiálním směru. Můžeme tedy vypočítat díly pro potrubní třídu, použitím vztahů pro obvodové napětí. Osová napětí se zkontroluje až po sestavení trasy potrubí, tím jsou tyto dva výpočty odděleny.

Z předchozího vyplývá, že již do potrubní třídy se musí zapracovat jakýkoli požadavek ze zatížení potrubí, který má vliv na obvodové napětí. Nejčastěji to bývá zatížení podtlakem, kdy je nutno navíc kontrolovat stabilitu skořepiny a zatížení zeminou umístěnou v nadloží potrubí.

3. Systémy značení potrubní třídy

Je spousta systémů, jak značit potrubní třídy. Označení potrubních tříd mívají v sobě uložena například tyto informace:

- *Jmenovitý tlak (PN)* je označení velikostní řady jednotlivých tlakových prvků, nemá nic společného s maximálním dovoleným tlakem, konstrukčním tlakem nebo provozním tlakem definovaným v PED. Rozsah použití tlaků a teplot je určen až při definování každé potrubní třídy.
- *Materiál anebo Materiálovou skupinu* (tj. je druh materiálů, který je použit na potrubí v rámci potrubní třídy).
- *Druh tekutiny anebo skupinu tekutin*, pro které je potrubní třída určena.
- *Korozní anebo erozní přídavek*.
- *Druh spojování potrubních dílů anebo typ příruby*.

V systému značení potrubních tříd je možno zabudovat i jiné informace. Jako příklad můžeme uvést značení v již neplatné ON 130137 "Potrubí-projektování. Potrubní třídy".

4. Konstrukce potrubní třídy

4.1. Základní údaje a složení potrubní třídy

Potrubní třída je stavebnice všech prvků, které svými vlastnostmi odpovídají teplotám a tlakům podle tlakoteplotní tabulky. Mezi základní údaje potrubní třídy počítáme:

- použití potrubní třídy obsahující tlakoteplotní tabulku, která vyjadřuje velikost nejvyšší použitelné hodnoty *Maximálního dovoleného tlaku PS* v závislosti na nejvyšší použitelné hodnotě *Maximální dovolené teploty TS*. Viz následující kapitola.
- základní specifikace medií použitelných v potrubní třídě
- maximální korozní nebo erozní přídavek. Je v závislosti na korozní agresivitě tekutiny a životnosti potrubí
- použitý materiál obsahuje minimálně číslo materiálu a skupinu materiálu podle CR ISO 15608. Dále může obsahovat označení podle jiných norem.
- typ těsnící plochy příruby
- tabulku tloušťek stěn potrubí udávající DN, Vnější průměr a tloušťku stěny pro různé hodnoty DN. Výběr tloušťky stěny byl proveden z řady dle ČSN (viz kapitola seznam norem) tak, aby zároveň vyhovoval výpočtu, který byl proveden dle ČSN EN 13480-3.

DN	Vnější průměr	Tloušťka stěny trubky	Tloušťka stěny tvarovek
(15)	21,3		
(20)	26,9		
25	33,7		
(32)	42,4		
40	48,3		
50	60,3		
(65)	76,1		
80	88,9		
100	114,3		
(125)	139,7		
150	168,3		
200	219,1		
250	273		
300	323,9		
(350)	355,6		
400	406,4		

tab. 4.1 Tabulka tloušťek stěn (budou vyplněny na základě výpočtu)

- Seznam prvků potrubní třídy. Je vyjmenování potrubních dílců, patřících do uvedené potrubní třídy mající formu tabulky. Úprava konců jednotlivých dílů potrubní třídy na sebe musí navazovat. Dále obsahuje tabulku redukcí a tabulku odboček.
- typ ochrany proti vnější korozi, jestliže je potrubí umístěno pod zem.

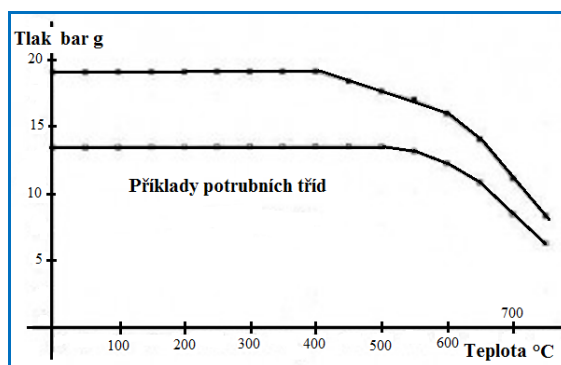
4.2. Tlakoteplotní tabulka

Tlakoteplotní tabulka vyjadřuje velikost nejvyšší použitelné hodnoty *Maximálního dovoleného tlaku PS* v závislosti na nejvyšší použitelné hodnotě *Maximální dovolené teploty TS*.

Tlakoteplotní tabulka reflektuje:

- Minimální teplotu tekutiny potrubní třídy, která je daná dosažitelností předepsané vrubové houževnatosti u záporných teplot kovových materiálů anebo minimální teplotou použitelnosti plastových materiálů a materiálů těsnění.
- Maximální teplotu tekutiny potrubní třídy, která je daná maximální teplotou použitelnosti potrubního materiálu a materiálu těsnění.
- Závislostí velikosti nejvyšší použitelné hodnoty *Maximálního dovoleného tlaku PS* v závislosti na nejvyšší použitelné hodnotě *Maximální dovolené teploty TS*, která je daná závislostí použitého materiálu potrubí na poklesu pevnosti s teplotou a u teplot nad cca 400°C na creepu.

Konkrétní potrubní větev má své parametry (PS a TS) vždy menší než údaje dané tlakoteplotní tabulkou. Tlak v tlakoteplotní tabulce klesá s teplotou úměrně tak, jak klesá s teplotou dovolené namáhání použitého materiálu.



obr. 4.1 Příklady závislosti tlaku u potrubních tříd na teplotě

Teplota (°C)	-20	-10	120	200	350
Tlak (bar g)					
Podtlak (bar g)					

tab. 4.2 Realizace tlakoteplotní tabulky v potrubní třídě (konkrétní údaje budou vyplněny na základě výpočtu)

4.3. Výpočet teoretické tloušťky stěny s

4.3.1. Výpočet tloušťky stěny trubky

Výpočet dovoleného napětí materiálu potrubí f viz předchozí díl č.1 anebo ČSN EN 13480-3. Dovolené napětí je závislé na teplotě potrubí.

Pro výpočet tloušťky stěny používáme takovýto postup popsany dále, jde o návrh DBF (Design by formulae) – návrh podle vzorce:

Pro výpočet tloušťky stěny h pro trubku s membránovým stavem napjatosti, který velmi dobře známe z norem (tj. Lamého vzorec), a který byl odvozen v 1. díle tj.

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

4.3.2. Výpočet tloušťky stěny tvarovek

Součinitel tlaku pro tvarovky je koeficient v procentové formě, které udává, kolik procent zatížení tlakem unese tvarovka se stejnou jmenovitou tloušťkou stěny jako trubka přímá, jestliže 100% je trubka přímá. Tento faktor je udáván v normách pro tvarovky. Jako Součinitel tlaku tvarovky (Pressure factor) X .

$$X = (\text{tlaková odolnost tvarovky} / \text{tlaková odolnost trubky}) \times 100\%$$

Tento součinitel je udáván v normách definujících tvarovky a bývá tabulkově uspořádán v souvislosti s každou definovanou tvarovkou.

Takto se získá vnitřní tlak, který unese tvarovka o stejné tloušťce stěny jako jsme vypočítali pro rovnou trubku. Jde o tvarovku typu A.

Tvarovka typu B. Má stejnou únosnost od vnitřního tlaku jako rovná trubka. Má tedy vyšší tloušťku stěny než rovná trubka.

4.3.3. Výpočet v případě zatížení podtlakem

Jak již bylo vysvětleno, napjatost ve stěně potrubí a uspořádání hlavních membránových napětí, umožňuje provádět zvlášť výpočet obvodových napětí a zvlášť výpočet osových napětí. Výpočet obvodových napětí se využívá při výpočtu jednotlivých položek potrubní třídy. V případě zatížení podtlakem je nutno navíc kromě pevnosti kontrolovat stabilitu skořepiny při podtlaku. Je počítán kritický podtlak, tj. podtlak, kdy nastane porušení stability, a je porovnán s pod tlakem zadaným.

Z porubních dílů je proti vnějšímu tlaku nejméně odolné právě rovné válcové potrubí, ostatní komponenty představují víceméně různý typ výtzuže zabraňující deformaci. Budeme se proto v následujícím zabývat pro potrubí nejhorší variantou, tj. rovným válcovým potrubím. V případě zatížení podtlakem se tedy při kontrole stability zapracovává předpoklad, že se jedná o nekonečně dlouhou (tj. delší než 10D) tenkostěnnou trubku, která se zdeformuje na dvě vlny, tedy podle obrázku dole. Využijeme proto již uvedený von Misesův vzorec – viz

kapitola o stabilitě potrubí v předchozím díle – zavedeme uvedené zjednodušující předpoklady a dostaneme vzorec:

$$p_{cr} = 2E \left(\frac{h}{D_s} \right)^3$$

V případě ztráty stability trubky při vnějším tlaku, tj. únosnosti skořepiny, dosáhne trubka plastické oblasti, potom odolnost je dána pouze plastickou únosností, kdy se trubka začne „smačkávat“ a vytváří se plastické klouby. V takovémto případě vyjde:

$$h = D \sqrt{\frac{p}{2R_e}}$$

V případě, že je počítáme s porušením stability potrubí, je nutno provést kontrolu přes plastickou únosnost.

4.3.4. Výpočet v případě podzemního potrubí

V případě, že je v zadání potrubní třídy uvedeno, že je určena pod zem, zapojuje se do výpočtu též zatížení zásypem zeminy a kontrola únosnosti trubky při tomto zatížení. Bližší informace v dílu o potrubí pod zemí.

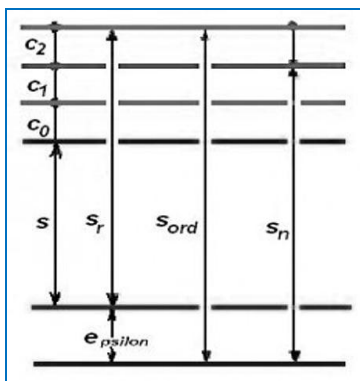
4.4. Přídavky tloušťky stěny trubky

4.4.1. Znázornění a označení přídavků

K teoretické tloušťce stěny jsou připočítány přídavky:

- je připočítán korozní přídavek – blíže viz dále
- je připočítána záporná výrobní tolerance tloušťky stěny trubky – blíže viz dále
- je připočítáno možné zeslabení potrubí výrobní nebo montážní technologií
- zaokrouhlení na nejbližší vyšší vyráběnou tloušťku trubky anebo tvarovky. Výběr skutečné tloušťky stěny potrubí se vybere z katalogu výrobce trubek a tvarovek. Tloušťky stěn odpovídají řadě normalizovaných tlouštěk. Vybíráme tloušťku nejbližší vyšší.
- opětovná kontrola záporné výrobní tolerance podle skutečné tloušťky trubky

Přídavky tloušťky stěny trubky znázorňuje následující obrázek:



obr. 4.2 Zobrazení přídaveků tloušťky stěny trubky

- Korozní/ Erozní přídavek c_0 .
- Záporná tolerance tloušťky stěny c_1 .
- Přídavek technologického zeslabení při výrobě či montáži c_2 . Znamená zeslabení nějakou technologickou operací např. řezání závitů, broušení apod. přídavek se určuje jednotlivě.

4.4.2. Korozně-erozní přídavek

Korozí se rozumí samovolné vzájemné působení mezi prostředím a materiálem, které má za následek znehodnocování materiálu. Korozí je samovolné, postupné rozrušení kovů vlivem chemické nebo elektrochemické reakce s okolním prostředím. Toto rozrušování se může projevovat rozdílně; od změny vzhledu až po úplný rozpad celistvosti. Hlavním činitelem korozí je kyslík, resp. hydroxydová skupina (OH), dále anionty vzniklé z kyselin (CO_3 , Cl, NO_2 , SO_4 apod.) Vodíkové ionty kyselin se nahrazují ionty kovů, čímž vznikají soli.

Číslo skupiny	Korozní agresivita	Obvyklá životnost	Korozní přídavek pro uhlíkaté oceli v mm	
			Mírná řada	Těžká řada
1	Bez korozní agresivity	20 let	0	0
2	Mírná korozní agresivita	20 let	1	1,5
3	Střední korozní agresivita	20 let	2	3
4	Vysoká korozní agresivita	20 let	4	6

tab. 4.3 Korozní přídavek pro uhlíkaté oceli

Erozní opotřebení je ztráta materiálu z důvodu mechanické interakce s dalšími drobnými pevnými objekty, které bývají unášeny kapalinou nebo plynem. Mění se tak rozměry a i funkčnost výrobku. Typickým příkladem je opotřebení potrubí vzduchotechniky,

kdy vzduch dopravuje nějaký sypký materiál. Dalším příkladem je parovod, který bývá opotřebován spoustou drobných kapiček vody.

4.4.3. Záporná výrobní tolerance tloušťky stěny trubky

Bezešvé ocelové trubky

ČSN EN 10215-1 Bezešvé ocelové trubky pro tlakové nádoby a zařízení. Technické dodací podmínky. Část 1: Trubky z nelegovaných ocelí se zaručenými vlastnostmi při okolní teplotě

ČSN EN 10215-2 Bezešvé ocelové trubky pro tlakové nádoby a zařízení. Technické dodací podmínky. Část 2: Trubky z nelegovaných a legovaných ocelí se zaručenými vlastnostmi při zvýšených teplotách

ČSN EN 10215-3 Bezešvé ocelové trubky pro tlakové nádoby a zařízení. Technické dodací podmínky. Část 3: Trubky z legovaných jemnozrnných ocelí

ČSN EN 10215-4 Bezešvé ocelové trubky pro tlakové nádoby a zařízení. Technické dodací podmínky. Část 4: Trubky z nelegovaných a legovaných ocelí se zaručenými vlastnostmi při nízkých teplotách

Bezešvé ocelové trubky korozivzdorné

ČSN EN 10215-5: Bezešvé ocelové trubky pro tlakové nádoby a zařízení. Technické dodací podmínky. Část 5: Trubky z korozivzdorných ocelí

Svařované ocelové trubky

ČSN EN 10217-1 Svařované ocelové trubky pro tlakové nádoby a zařízení. Technické dodací podmínky. Část 1: Trubky z nelegovaných ocelí se zaručenými vlastnostmi při okolní teplotě

ČSN EN 10217-3 Svařované ocelové trubky pro tlakové nádoby a zařízení. Technické dodací podmínky. Část 3: Trubky z legovaných jemnozrnných ocelí

Elektricky svařované ocelové trubky

ČSN EN 10217-2 Svařované ocelové trubky pro tlakové nádoby a zařízení. Technické dodací podmínky. Část 2: Trubky z nelegovaných a legovaných ocelí se zaručenými vlastnostmi při zvýšených teplotách svařované elektricky

ČSN EN 10217-4 Svařované ocelové trubky pro tlakové nádoby a zařízení. Technické dodací podmínky. Část 4: Trubky z nelegovaných a legovaných ocelí se zaručenými vlastnostmi při nízkých teplotách svařované elektricky.

Pod tavidlem svařované ocelové trubky

ČSN EN 10217-5 Svařované ocelové trubky pro tlakové nádoby a zařízení. Technické dodací podmínky. Část 5: Trubky z nelegovaných a legovaných ocelí se zaručenými vlastnostmi při zvýšených teplotách svařované pod tavidlem

ČSN EN 10217-6 Svařované ocelové trubky pro tlakové nádoby a zařízení. Technické dodací podmínky. Část 6: Pod tavidlem ohybově svařované trubky z nelegovaných ocelí se zaručenými vlastnostmi při nízkých teplotách

Svařované ocelové trubky korozivzdorné

ČSN EN 10217-7 Svařované ocelové trubky pro tlakové nádoby a zařízení. Technické dodací podmínky. Část 7: Trubky z korozivzdorných ocelí

Mezní úchytky tloušťky stěny trubky: $\pm 10\%$ nebo $\pm 0,2\text{mm}$ platí větší hodnota

Trubky pro naftovody a plynovody

ČSN EN ISO 3183 (421807) Naftový a plynárenský průmysl. Ocelové potrubí pro potrubní přepravní systémy

Norma/Průměr DN	Druh trubky/Vnější průměr D	Tolerance 1	Tolerance 2	Tolerance 3	Tolerance 4
ČSN EN 10216-1 ČSN EN 10216-2 ČSN EN 10216-3 ČSN EN 10216-4	Bezešvé pro okolní teplotu Bezešvé pro zvýšenou teplotu Bezešvé z jemnozrnných ocelí Bezešvé pro nízké teploty	T/D je do 0,025	T/D je do 0,050	T/D je do 0,1	T/D je nad 0,1
do DN 200	do 219,1 mm	+ -12,5% nebo + -0,4mm			
do DN 350	do 355,6 mm	+ -20%	+ -15%	+ -12,5%	+ -10%
nad DN 350	nad 355,6 mm	místně je dovoleno překročit o dalších 5% tloušťky stěny			
ČSN EN 10216-5	Bezešvé z korozivzdorných ocelí	Bez toler. tř.	Toleranční třída T1	Toleranční třída T2	Toleranční třída T3
do DN 200	do 219,1 mm	neexistují	+15% nebo +0,6mm -platí větší hodnota	+12,5% nebo +0,4mm -platí větší hodnota	+10% nebo +0,2mm -platí větší hodnota
nad DN 200	nad 219,1 mm	+22,5% až -15%	+15% nebo +0,6mm -platí větší hodnota	+12,5% nebo +0,4mm -platí větší hodnota	+10% nebo +0,2mm -platí větší hodnota
ČSN EN 10217-1 ČSN EN 10217-3 ČSN EN 10217-5 ČSN EN 10217-6	Svařované pro okolní teplotu Svařované z jemnozrnných ocelí Svařované pod tavidlem pro zvýšenou teplotu Svařované pod tavidlem pro nízké teploty	T menší nebo rovno 5 mm	T od 5 do 40 mm		
pro všechny DN	pro všechny průměry	+10% nebo +0,3 mm - platí větší hodnota	+8% nebo +4 mm - platí menší hodnota		
ČSN EN 10217-2 ČSN EN 10217-4	Elektricky svařované pro zvýšenou teplotu Elektricky svařované pro nízké teploty	T menší nebo rovno 5 mm	T od 5 do 16 mm		
pro všechny DN	pro všechny průměry	+10% nebo +0,3 mm - platí větší hodnota	+8%		
ČSN EN ISO 3183	Naftový a plynárenský průmysl. Ocelové potrubí pro potrubní přepravní systémy	T do 4mm včetně	T od 4mm do 25mm včetně:	T od 25mm:	
Bezešvá trubka		od +0,6 do -0,5mm	od +15% do -12,5%	od +10% nebo +3,7mm platí větší hodnota do -10% nebo -3,0mm platí větší abs. hodnota	
pro všechny DN	pro všechny průměry	T do 5mm včetně	T od 5mm do 15mm včetně	T od 15mm:	
Svařovaná trubka.		$\pm 0,5\text{mm}$	$\pm 10\%$	$\pm 1,5\text{mm}$	

Tabulka 1 Tolerance tloušťky stěny ocelových trubek

4.5. Potrubní třídy pro speciální tekutiny a ze speciálních materiálů

4.5.1. Potrubní třídy pro kryogenní kapaliny a chladiva

Pro uvedené kapaliny je nutné, aby potrubí, ve kterých proudí, bylo odolné proti křehkému lomu.

Hlavní eliminace křehkého lomu spočívá ve výběru materiálu. 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/cm²), při stanovených teplotách. Blíže je uvedeno v kapitole o křehkém lomu.

Pro požadované teploty se používají zejména oceli jemnozrnné podle ČSN EN10216-3 a ČSN EN10217-3, oceli pro nízké teploty podle ČSN EN10216-4, ČSN EN10217-4 a ČSN EN10217-6, korozivzdorné oceli podle ČSN EN10216-5 a ČSN EN10217-7 a nakonec měď a její slitiny, zejména Cu Fe2P podle ČSN EN 12735-1.

4.5.2. Potrubní třídy pro plynný vodík

Výběr materiálu. Má se dávat přednost bezešvým 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.

Mají se používat tyto materiály:

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

Pro výpočet tloušťky stěny potrubí pro vytvoření potrubní třídy je třeba započítat ztrátu tažnosti materiálu. Proto využijeme korekci Lamého vzorce:

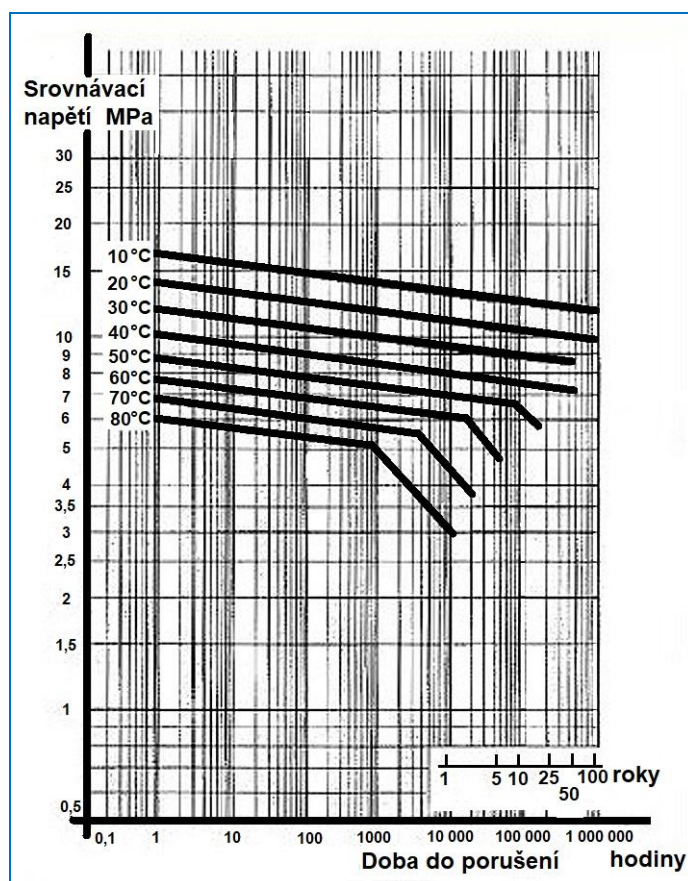
$$h = \frac{p \cdot D_o}{2 \cdot f \cdot z + p}$$

Např. v ASME B31.12 je za redukční faktor pevnosti svarového spoje z dosazen 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 zákonnosti a postupy výpočtu jsou stejné.

4.5.3. Potrubní třídy pro potrubí z plastů

4.5.3.1. Výpočet tloušťky stěny

Výpočet dovoleného napětí pro plasty vychází ze srovnávacího napětí, které je závislé též na teplotě a plánované životnosti potrubí. Srovnávací napětí pro ostatní plasty je uvedeno v normách ze seznamu v kapitole Plastová a laminátová potrubí. Příklad pro získání srovnávacího napětí pro PE-100 je uveden v obrázku v dalším:



obr. 4.3 Příklad grafu srovnávacích napětí pro PE-100

Pro výpočet tloušťky stěny používáme takovýto postup popsany dále, jde o návrh DBF (Design by formulae) – návrh podle vzorců:

- výpočet tloušťky pro tenkostěnný válec jako skořepiny s membránovým stavem napjatosti. Provede se podle vzorců z kapitoly pojednávající o membránové napjatosti pro

obvodové napětí, ověření stability v případě podtlaku a vyjádření napětí od zásypu v případě potrubí uloženého v zemi:

- je připočítána záporná výrobní tolerance tloušťky stěny trubky. viz další
- je připočítáno možné zeslabení potrubí výrobní nebo montážní technologií
- zaokrouhlení na nejbližší vyšší vyráběnou tloušťku trubky anebo tvarovky. Výběr skutečné tloušťky stěny potrubí se vybere z katalogu výrobce trubek a tvarovek. Tloušťky stěn odpovídají řadě normalizovaných tlouštěk. Vybíráme tloušťku nejbližší vyšší.
- opětovná kontrola záporné výrobní tolerance podle skutečné tloušťky trubky

V případě, že je v zadání pro konstrukci potrubní třídy zadán podtlak, zapojuje se do výpočtu též část nazvaná „kontrola stability při podtlaku, kde je vypočítán. Kritický podtlak, tj. podtlak, kdy nastane porušení stability, a je porovnán s absolutní hodnotou max. dovoleným pod tlakem. Modul pružnosti plastů použitý ve výpočtu stability stěny je též závislý na tlaku a teplotě.

4.5.3.2. Přídavky tloušťky stěny trubky

Přídavky označujeme stejně jako u oceli:

- Korozní/ Erozní přídavek c_0 . Tento přídavek je u většiny plastových potrubí nulový.
- Záporná tolerance tloušťky stěny c_1 .
- Přídavek technologického zeslabení při výrobě či montáži c_2 . Znamená zeslabení nějakou technologickou operací např. řezání závitů, broušení apod. přídavek se určuje jednotlivě.

Záporná výrobní tolerance tloušťky stěny plastových trubek je uvedena v normách v kapitole Plastová a laminátová potrubí.

4.5.3. Potrubní třídy pro potrubí z laminátů

Tlakoteplotní tabulka vyjadřuje velikost nejvyšší použitelné hodnoty *Maximálního dovoleného tlaku PS* v závislosti na nejvyšší použitelné hodnotě *Maximální dovolené teploty TS*.

Tlakoteplotní tabulka reflektuje:

a) Minimální teplotu tekutiny teplotní třídy, která je daná dosažitelností předepsané vrubové houževnatosti u záporných teplot kovových materiálů anebo minimální teplotou použitelnosti plastových materiálů a materiálů těsnění.

b) Maximální teplotu tekutiny teplotní třídy, která je daná maximální teplotou použitelnosti potrubního materiálu a materiálu těsnění.

c) Závislostí velikosti nejvyšší použitelné hodnoty *Maximálního dovoleného tlaku PS* v závislosti na nejvyšší použitelné hodnotě *Maximální dovolené teploty TS*, která je daná závislostí použitého materiálu potrubí na poklesu pevnosti s teplotou a u teplot nad cca 400°C na creepu.

Konkrétní potrubní větev má své parametry (PS a TS) vždy menší než údaje dané tlakoteplotní tabulkou. Tlak v tlakoteplotní tabulce klesá s teplotou úměrně tak, jak klesá s teplotou dovolené namáhání použitého materiálu.

Výpočet tloušťky stěny se při sestavování potrubní třídy neprovádí, neboť je již proveden výrobcem potrubních komponent a je deklarováno pro jaký tlak a za jaké teploty jsou laminátové potrubní komponenty schopné provozu.

5. Komponenty potrubní třídy

5.1. Trubky

Bezešvé trubky jsou vyrobeny z kruhového ocelového sochoru (pevný válcový kus oceli, který je odlit ze surové oceli). Tento sochor se pak zahřívá, natahuje a tlačí nebo táhne přes formu. Poté je propíchnut středem raznicí a trnem, což zvětšuje vnitřní průměr a snižuje vnější průměr. I když se bezešvé trubky vyrábějí v různých velikostech, se zvyšováním průměru trubky se zvyšují výrobní náklady.

Svařované trubky se vyrábí za studena tvářením plochých pásů, plechů nebo desek do kulatého nebo kruhového tvaru ohýbacím strojem. Trubka je potom svařena. Svařované trubky lze vyrábět ve velkých velikostech bez omezení velikosti.

I když vylepšené způsoby výroby v poslední době dokážou produkovat svařované trubky srovnatelné s bezešvými trubkami, stále jsou bezešvé trubky preferovány ve velkém počtu případů. Avšak pro velké potrubní aplikace (> 24 palců NPS) jsou svařované trubky většinou preferovány kvůli nižším nákladům.

Poř.č.	Druh rozdílu	Bezešvé trubky	Svařované trubky
1	Výrobní délka	Relativně kratší délka kvůli výrobním potížím.	Lze vyrobit v dlouhých souvislých délkách.
2	Průměr	Vhodné pro menší DN	Žádné omezení DN.
3	Odolnost proti korozi	Méně náchylné ke korozi, znamená více odolné vůči korozi.	Svařované oblasti jsou náchylnější ke korozi, což znamená menší odolnost proti korozi.
4	Kvalita povrchu	Drsný kvůli procesu vytlačování	Hladký vysoce kvalitní povrch ve srovnání s bezešvými trubkami.
5	NDT	Bezešvé trubky nevyžadují testování integrity svaru.	Před použitím musí být svar testován.
6	Aplikace	Vhodný pro vysoké teploty a korozivní prostředí	Běžně se používá pro méně korozivní a nízkotlaké prostředí.
7	Tloušťka stěny	U větších DN možno vyrobit tenčí stěnu	U větších DN není možné vyrobit tenčí stěnu
8	Vnitřní kontrola povrchu	Kontrola není možná	Před výrobou lze vnitřní povrch zkontrolovat

tab. 5.1 Rozdíly mezi bezešvými a svařovanými trubkami

V případě použití svařovaných trubek (tj. trubek se švem) ovlivňuje svar mechanické vlastnosti materiálu, z čehož vyplývá:

- omezené použití v případě nebezpečí vzniku křížového svaru (tj. šev na trubce s obvodovým svarem při svařování dvou trubek se švy), tj. zvýšené nebezpečí při použití

plynného média (i např. páry) při vysokém tlaku. Na riziko vzniku křížového svaru nutno upozornit montážní firmu.

- ovlivněný kov podléhá jinak korozi (výrobce trubky však může dát záruku korozivních vlastností takového potrubí)

- ovlivněný kov může mít jiný modul pružnosti a pevnost (výrobce trubky však může dát záruku minimálních vlastností takového potrubí)

- v ovlivněném kovu zůstávají zbytková napětí (je možno tato napětí snížit tepelnou úpravou svaru u výrobce nebo tlakovou a lépe napěťovou zkouškou, která může být i po montáži)

ve svaru nebo v ovlivněném kovu může být vada různého druhu (je možno vyloučit aplikací NDT u výrobce trubky), tj. je nutné použití příslušného koeficientu při výpočtu tloušťky stěny trubky při tvorbě potrubní třídy velikost koeficientů viz dále.

Při použití svařovaných trubek (tj. trubek se švem) hrozí nebezpečí vzniku křížového sváru se svárem obvodovým. Toho je nutné se vyvarovat vhodným postupem svařování a následnou kontrolou anebo v případě velkých rizik - použitím bezešvých trubek.

Za provedení zkoušek v tomto případě odpovídá výrobce trubek, který zařídí trubky podle uvedeného součinitele hodnoty spoje. U svarových spojů trubek nesmí součinitel hodnoty spoje ψ překročit následující hodnoty:

- u svarů trubek podrobených destruktivním a nedestruktivním zkouškám, které potvrzují, že celá skupina svarů nevykazuje žádné významné vady: 1,00
- u svarů trubek podrobovaných namátkovým nedestruktivním zkouškám: 0,85,
- u svarů trubek, které nejsou podrobovány nedestruktivním zkouškám jiným než vizuální kontrole: 0,7.

U svařované trubky se šroubovým spojením se součinitel hodnoty spoje může korigovat koeficientem ψ , kterým se vydělí. Koeficient ψ je závislý na úhlu sklonu, který svírá svar s povrchovou přímkou.

5.2. Tvarovky

5.2.1. Tvarovky všeobecně

Kované tvarovky (též ohýbané hladké nezáhybové ohyby)

Tvarovka typu A. Má stejnou tloušťku stěny jako rovná trubka. Součinitel tlaku (Pressure factor) tvarovky udává kolik procent únosnosti má tvarovka oproti únosnosti rovné trubky se stejnou tloušťkou stěny trubky. Součinitel tlaku bývá udán v normách tvarovek.

Tvarovka typu B. Má stejnou únosnost od vnitřního tlaku jako rovná trubka. Má tedy vyšší tloušťku stěny než rovná trubka.

Svařované tvarovky. Svařované tvarovky se skládají ze svařovaných T.kusů (zesílených i nezesílených) a segmentových ohybů.

5.2.2. Hladké ohyby - použití

Použití rádiusů v případě hladkých ohybů

Typ 3D (D zde neznamená průměr potrubí, je to jen značka) znamená fyzickou velikost ohybu cca 1,5D (D=průměr potrubí),

Typ 5D (D zde neznamená průměr potrubí, je to jen značka) znamená fyzickou velikost ohybu cca 2,5D (D=průměr potrubí) atd.

ČSN EN 10253.1	DIN 2605, part1	Skutečná velikost (D je vnější průměr potrubí)
typ 2D	typ 2	R~ 1 D
typ 3D	typ 3	R~ 1,5 D
typ 5D	typ 5	R~ 2,5 D
...	typ 10	R~ 5 D
...	typ 19	R~10 D

tab. 5.2 Porovnání ohybů

Použití rádiusů pro parovod. Jedná se o správnou inženýrskou praxi.není to podloženo normou ani technických předpisem.

a) Předpis ohybů podle tlaku páry:

Nízkotlaká pára (do 4 bar g) typ 2D

Středotlaká pára (4 bar g až 30 bar g) typ 3D

Vysokotlaká pára (nad 30 bar g) typ 5D

b) Předpis ohybů podle rychlosti páry:

<19 m/s typ 2D

19 až 40 m/s typ 3D

40 až 80 m/s typ 5D

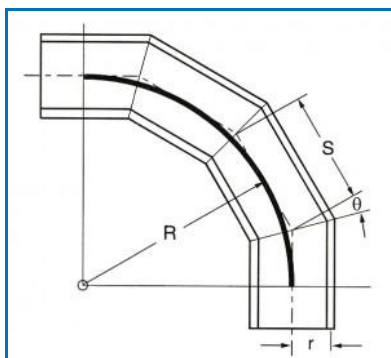
5.2.3. Segmentové ohyby

Porušení membránového stavu napjatosti se děje porušením geometrických parametrů skořepiny, tj. poloměry křivosti a polohy středů křivosti se mění náhle.

Segmentový ohyb se používá tam, kde je prostorové omezení pro použití normálního kolena nebo ohybu nebo když je lacinější než ohyb či koleno eventuelně při velkých průměrech a menších tlacích. Nepočítá se mezi tvarovky. Segmentové ohyby se vyrábějí z trubek na základě požadavku.

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

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



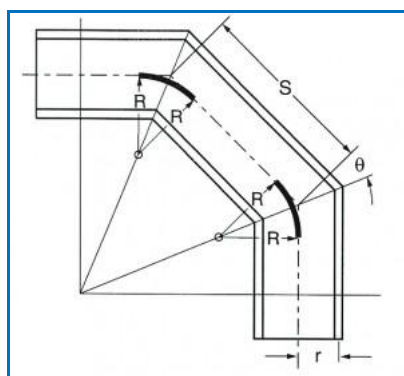
obr. 5.1 Uzavřený segmentový ohyb

Radius segmentového ohybu se vypočítá takto:

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

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

$$S \geq r(1 + \tan \Theta)$$



obr. 5.2 Otevřený segmentový ohyb

5.3. Příruby

Dělení podle využití plasticity ve výpočtu:

- s využitím plasticity je dimenzování dle ČSN EN 1591, ČSN 69 0010, příp. DIN 2505 z elastoplastického stavu – (zahmuto též v ČSN EN 13445); mezní moment je dán součtem plastického momentu v krku (plastický kloub) a plastického momentu v listu
- elastický výpočet je dimenzování dle ASME jako staticky neurčitá konstrukce (komplikovaný výpočtový postup, řešení pomocí grafů) – elastický model výpočtu.

Dělení podle zapojení jednotlivých částí příruby do výpočtu:

- Integrální metoda. Je brána v úvahu podpora pláště a napětí v plášti jsou počítána, dále bere v úvahu list příruby a kuželový krk (kterým může být i svar)
- Volná metoda. Je předpokládáno, že příruba není podepřena pláštěm a napětí v plášti jsou zanedbána. Nesmí být použita pro točivé příruby.
- Metoda točivých přírub. Tato metoda se používá pouze pro násuvné a točivé příruby

Dělení výpočtu silového působení příruby:

- a) Příruby jsou v hlavním silovém poli
- b) Přířubový spoj je ve vedlejším silovém poli

Dělení příruby podle typu těsnící plochy

- a) Těsnící lišta.hrubá anebo jemná
- b) Pero/Drážka
- c) Nákrůžek/Výkrůžek
- d) Rovná plocha

5.4. Spojovací materiál

Šrouby, svorníky a matice. Označení šroubů a matic:

Nové označení šroubů se skládá ze dvou číslic ve tvaru X.Y	
Číslice	Význam
X	Označuje setinu minimální pevnosti v tahu vyjádřenou v MPa
Y	Znamená poměr meze kluzu k pevnosti v tahu vynásobený deseti a zaokrouhlený na celé číslo

tab. 5.3 Vysvětlení systému nového označování šroubů

Materiál šroubů	Třída pevnosti dle ČSN EN ISO 898.1										
	3.6	4.6	4.8	5.6	5.8	6.6	6.8	6.9	8.8	10.9	12.9
Nové značení	3D	4D	4S	5D	5S	6D	6S	6K	8G	10K	12K
Staré značení	300	400	400	500	500	600	600	600	800(do15) 830(od15)	1040	1219
Jmenovitá pevnost v tahu MPa	180	240	319	300	400	380	480	540	640(do15) 680(od15)	900	1080
Mez kluzu dolní anebo smluvní 0,2% v Mpa při 19°C		210		250					590	875	1019
Dtto při 100°C		180		210					540	790	925
Dtto při 190°C		170		180					510	745	875
Dtto při 250°C		140		150					480	705	825
Dtto při 300°C											
Min. pracovní teplota	-19 °C										
Max. pracovní teplota	300 °C										

tab. 5.4 Oceli pro šrouby přířubového spoje a jejich charakteristiky

Doporučení pro volbu šroubů nebo svorníků:

- a) Volit spojovací komponenty s dostatečnou mezí kluzu, aby bylo zajištěno, že jejich zatížení bude ležet v pružné oblasti
- b) Volit spojovací komponenty se stejným modulem pružnosti
- c) Zajistit, aby šrouby nekorodovaly
- d) Pro dodržení výše uvedených údajů pro zatížení se doporučuje nepoužívat spojovací komponenty (šrouby a matice) opakovaně, ale použít vždy nové spojovací komponenty
- e) Jako vodítko pro specifikaci maximálního zatížení materiálů spojovacích prvků vzít v úvahu reference výrobce
- f) Napětí ve šroubech (pro následné stlačení těsnění) se docílí utažením matic. Závit hraje důležitou roli při vytvoření předpětí ve spoji.
- g) Aby nedošlo k porušení závitů, je nutno volit matice tak, aby se dodržela určitá smykové pevnost; ta závisí na: velikosti spojovacího prvku, délce záběru závitu, pevnosti materiálu, z něhož jsou vyrobeny šrouby a matice
- h) Při vysokém povrchovém zatížení ve spoji závitů dochází k částečnému nebo úplnému studenému svaření stykových ploch (zadření). Vzniká při takovém přiblížení povrchů, že vzniknou molekulární vazby mezi stýkajícími se částmi, tj. mezi šroubem a maticí.
- i) Příčiny spočívají ve vysokém povrchovém zatížení, nedostatečném mazání a špatném stavu závitů. To se zhoršuje při vyšších provozních teplotách nebo při korozi.
- j) Výběr materiálů šroubů se provádí podle předepsaných norem

Pokyny pro zabránění „zadření“:

- a) volit přednostně hrubší závity
- b) volit správné mazivo
- c) volit materiály šroubů a matic, které jsou v kombinaci odolnější vůči „zadření“, viz normy.

Podložky. Jsou doporučeny ploché podložky, neboť umožňují:

- a) výrazně omezit tření mezi maticí a ostatními součástmi; utahování se stává tím rovnoměrnější a lépe reprodukovatelné, přičemž současně je zapotřebí menší utahovací moment
- b) redukují se únavové problémy materiálu díky rovnoměrnějšímu rozdělení zatížení, které vyvolají spojovací komponenty ve spoji
- c) přispívají k rovnoměrnému rozložení sil ve šroubech, čímž se zvýší účinnost utěsnění
- d) umožňují překlenout rýhy a příliš velké díry v přírubě a tím usnadní montáž špatně přiléhavých částí
- e) zamezují poškození styčných ploch (matice-příruba)
- f) snižují usazení styčných částí a tím snižují relaxaci po dotažení
- g) doporučuje se používat vždy podložky

5.5. Těsnění

Těsnění je stlačitelný materiál nebo kombinace materiálů, které jsou umístěny mezi dvěma přírubami nebo jinými částmi potrubí, které zamezují úniku tekutiny z potrubí a v případě podtlaku i okolní atmosféry do potrubí. Materiál těsnění musí být vybrán takový, aby byl schopný přilnutí k protilehlým povrchům, odolný proti chemickému působení tekutiny a schopný odolávat působení teploty a tlaku.

Těsnění musí překonat nedokonalosti příruby, a to makro i mikro nedokonalosti. Makro nedokonalosti jsou: nerovnoběžnost přírub, zkroucení příruby. Mikro nedokonalosti jsou menší škrábance na přírubě.

Výběr těsnění je založený na těchto vlastnostech:

- Teplota tekutiny
- Tlak tekutiny
- Chemická agresivita tekutiny
- Mechanické vlastnosti
- Nedokonalost příruby

Těsnění mohou být rozdělena do tří kategorií: měkká těsnění, polokovová a celokovová.

Měkká těsnění

Měkká oříznutá těsnění by měla vždy mít minimální tloušťku v souladu se stavem přírub a být chemicky odolná médiu. Tabulové měkké materiály jsou použité v nízkých a středních tlacích tekutiny. Tato těsnění nejsou vhodná pro náročné aplikace. Dříve se používalo stlačené vlákno azbestů, jsou to těsnění typu „IT“. S objevem karcinogenosti tohoto vlákna se začínají vyrábět těsnění bezazbestová. Je těžké nahradit tato těsnění v plné šíři, proto se objevila spousta těsnění azbest nahrazující, avšak vždy pro úzkou aplikaci. Měkké oříznuté archy těsnění jsou typicky používány v Class 150 nebo Class 300 přírubách (tj. do PN15); některý z kovem vyztužených produktů mohou také užívat ve vyšších třídách.

Druhy: Bezazbestové vláknové těsnění, PTFE, vyztužený PTFE, grafit,

Hřebenová těsnění jsou používána pro vysokotlaké a tepelně namáhané spoje. Jsou tvořena kovovým jádrem s hřebenovým profilem pokrytým z obou stran měkkou těsnicí vrstvou. Jádro je nejčastěji vyrobeno z ušlechtilých ocelí, např. slitin niklu. Pevné jádro je schopné přenést značné těsnicí tlaky, o vyrovnání nerovností se stará těsnicí vrstva. Ta je většinou vyrobena z expandovaného grafitu, PTFE či pryskyřic. Volbou materiálu těsnicí vrstvy lze ovlivňovat těsnicí vlastnosti.

Spirálně vinutá těsnění (druh polokovového těsnění) jsou vyrobena z profilovaného ocelového pásku a plniva (grafit, keramika, PTFE). Kov poskytuje sílu a pružnosti těsnění a nekovová výplň komponenty poskytuje těsnicí efekt. Tato těsnění se hodí pro nízké a vysoké tlaky a teplotní aplikace. K dispozici je široký výběr materiálů.

Druhy: Spirálově vinutá těsnění, plochá těsnění vyztužená kovem.

Těsnění s vlnitým kroužkem (též druh polokovového těsnění) vykazují dobré těsnící vlastnosti díky vysokému stykovému tlaku i při menším utahovacím momentu šroubů. Kvůli styku kov na kov vyžadují tato těsnění vysokou jakost povrchu a rovinnost přírub.

Celokovová těsnění

Tato těsnění mohou být vytvořeny v různorodosti tvarů a velikostí. Doporučuje se pro použití ve vysokém tlaku a teplotě.

Těsnostně-pevnostní výpočet přírubového spoje

Aby přírubový spoj vyhovoval jako těsnostně - pevnostní, musí splňovat tyto požadavky:

1. Musí být použito těsnění s certifikátem, mělo by být vytypováno společně s firmou, která těsnění dodá anebo alespoň touto firmou odsouhlaseno
2. Výpočet musí být zpracován podle ČSN EN 1591-1. Princip výpočtu je popsán v díle II. této knihy
3. Spoj musí být proveden proškolenými pracovníky. Školení provádí odborná firma.

5.6. Kompenzátory

Druhy kompenzátorů:

- a) Ocelové, vlnovcové,
- b) Pryžové a plastové, vlnovcové
- c) Textilní

Druhy vlnovcových kompenzátorů. Rozeznáváme tyto druhy kompenzátorů:

- a) axiální - umožňuje stlačení/roztážení v ose potrubí
- b) laterální - umožňuje pohyb do boku (bez natočení)
- c) angulární - umožňuje natočení o nějaký úhel
- d) univerzální – spojuje v sobě minimálně dva předešlé

Vlnovce se vyrábějí ve velké většině pouze z nerezavějících ocelí. V současné době jsou k dispozici speciální programy pro výpočet kompenzátorů, které používají výrobci kompenzátorů.

Určení kompenzátoru do potrubní větve. Postup určení kompenzátoru do potrubní větve se vypočítává postupným přibližováním tj. aproximací:

1. Nejdříve je třeba provést přibližný výpočet, při kterém jsou odhadnuty tuhosti kompenzátoru a zástavbový rozměr a s nimi je proveden výpočet.
3. Dále se vypočítají pohyby obou konců kompenzátorů. Jde o axiální, laterální a angulární posun. Tyto posuny se zadají společně s tlakem, teplotou, DN a druhem tekutiny výrobcovi kompenzátoru.
4. Výrobce kompenzátoru provede návrh kompenzátoru a sdělí definitivní zástavbovou délku a tuhosti (axiální, laterální, angulární).
5. Zástavbový rozměr se zapracuje do projektu a do definitivního výpočtu.

Pryžové a plastové kompenzátory. Z hlediska způsobu kompenzace a funkce se mohou rozdělovat stejně jako v předchozí kapitole, avšak vyrábí se pouze v provedení přírubovém. Za příruby z obou stran se zavléká měch, který je tvořený z pryže anebo plastu PTFE. Měchy mohou mít až tři vlny a vždy mezi vlnami je instalován ocelový kroužek, který vytváří při vnitřním tlaku správný vlnovcovitý tvar.

5.7. Tlakové hadice

Druhy hadic a rozdělení podle média:

- pro zemní a jiný plyn
- pro vodu
- pro chladicí a otopné systémy
- pro tlakový vzduch
- pro páru
- pro vakuum

a jiné

Rozdělení podle konstrukce

- hadicovina s koncovkami (také hadicovina s prodlouženou vlnou anebo zesílenou stěnou)
- bez dalších konstručních prvků
- s opletem
- se dvěma oplety
- s kovovou ochrannou hadicí
- s opletem a kovovou ochrannou hadicí

Používání hadic. Hadice je potrubní komponenta s nízkou ohybovou tuhostí, která nepřenáší anebo ve velké míře omezuje přenos mechanického namáhání mezi dvěma částmi potrubí a tím je jí možno používat ke kompenzaci pohybů obou konců potrubí navzájem, včetně pohybů způsobené tepelnou roztažností potrubí. Vzájemný pohyb obou konců potrubí bývá pravidelný. Také je možno hadicí kompenzovat vibrace. Hadice se používají pro malá DN, a to maximálně do velikosti DN50.

Maximální dovolený tlak PS je nutno snížit příslušnými koeficienty, které udává výrobce. První redukční koeficient je závislý na teplotě média, tedy čím vyšší teplota média, tím je maximální dovolený tlak nutné snížit. Druhý redukční koeficient je závislý na tom, zda hadice za provozu vibruje a na druhu proudění v hadici (proudění ustálené, pulzní, nárazové apod.).

Hadice lze opatřit tepelnou izolací. Použít lze jen takovou izolaci, která negativním způsobem neovlivňuje funkčnost hadice.

Funkci základní mechanické ochrany a funkci zabránění prodloužení hadice vlivem vnitřního přetlaku nebo i vnějším tahem plní opleť, který je tvořen drátěným spletením okolo

hadicoviny. Hadice s opletem (na rozdíl od kompenzátorů) tedy nevnáší do potrubí osová zatížení způsobená vnitřním tlakem.

Pravidla pro instalaci hadic a jejich používání (např. v projektu) jsou uvedena zde:

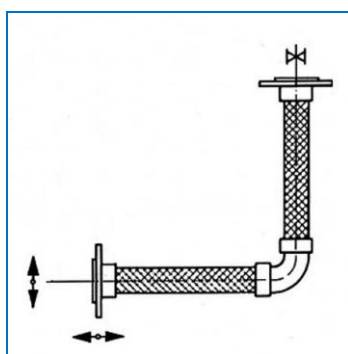
- hadice nesmí být namáhány krutem
- u hadic musí být dodržen minimální poloměr ohybu (poloměr ohybu udává výrobce)
- hadice nesmí přijít do kontaktu s hranou anebo plochou s možností tření o tuto hranu anebo plochu
- hadice nesmí být namáhána axiálním ani laterálním pohybem konců trubek

Ideální instalace hadice je klasická instalace do tvaru písmena "U". Viz obrázek dále.



obr. 5.3 Kompenzace pohybů hadic

Kompenzace tepelné dilatace potrubí se provádí stejně jako u předchozí kapitoly kompenzace pohybu, avšak dále je povolena kompenzace laterálním pohybem a kompenzace devadesátistupňovým ohybem. Devadesátistupňový ohyb provedený hadicí může být nahrazen kolenem a dvěma hadicemi. Každá z těchto hadic vzájemně kolmých pak kompenzuje laterálně.



obr. 5.4 Kompenzace kolenem a dvěma hadicemi

Kompenzace vibrací. Je nutné dodržovat tyto základní podmínky:

- pohyb nesmí ovlivňovat hadici bezprostředně u koncovky
- musí být zachován minimálně 2 x dovolený poloměr ohybu (tento poloměr udává výrobce)
- nesmí být hadice instalována tak, aby docházelo k torznímu zatížení hadice

- laterální kompenzace nesmí být aplikována, jestliže jsou vibrace takového druhu, že natahují hadici axiálně

5.8. Armatury

Všeobecné požadavky na průmyslové armatury jsou:

- splnění jejich aplikací
- vyhovující odolnost proti
- statickému a dynamickému tlaku
- silám potrubí
- snadnost ovládání
- použití s plným jmenovitým tlakem PN jako max. diferenčním tlakem
- dostatečná pevnost ovládacích částí
- bez prasknutí v případě chybné obsluhy
- žádné netěsnosti
- vnitřní na uzávěru
- vnější v ucpávce nebo v připojeních
- vhodná ochrana proti korozi, která vydrží desetiletí
- ochrana před usazováním kamene
- příznivé hydraulické chování
- hygienicky akceptovatelné
- jednoduchá montáž a demontáž.

Tyto požadavky, podle jejich důležitosti, mohou být splněny pouze při řadě jednotlivých předpokladů, z nichž jsou nejdůležitější vhodný materiál a povrchová ochrana.

Typy průmyslových armatur

Šoupátka

Šoupátka mohou být ponechána otevřená nebo zavřená u různých funkcí pro vodu, plyn a chemikálie po dlouhou dobu s jistotou spolehlivé funkce v případě potřeby. Provoz se suspendovanými těžkými látkami může působit problémy týkající se opotřebení sedla a potíže při zavírání.

Ventily

Ideální armatury pro páru a v jiných modifikacích jsou používány jako uzavírací a regulační. K dispozici jak s přímým tělem, tak zahnutým z řady materiálů. Obecně nejsou vhodné pro manipulaci s jedovatými, kašovými kapalinami, nejedovatými/ jedovatými plyny kvůli proudění a obtížnému efektivnímu utěsnění ucpávky.

Kulové kohouty

Pro službu za vysokého tlaku a teploty samostatně nebo v kombinaci s jinými ventily. Nízká krouticí síla, malý pokles tlaku a jednoduchá funkce kulového kohoutu. Pro abrazivní

kapaliny, sterilní, koagulující kapaliny a škrťací aplikace by měly být použity jiné typy průmyslových armatur. Při použití na páru musíme být velmi opatrní při výběru kulového kohoutu vzhledem k abrazivním vlastnostem páry.

Kuželové kohouty

Tyto rychle pracující konstrukce v rozsahu 90° až 270° jsou k dispozici, buď s kuželovou nebo válcovou zátkou. Nabízejí velmi vysokou kapacitu a přímé proudění v otevřené poloze. Pro efektivní funkci je mezi kužel a tělo kuželového kohoutu vstřikováno pod tlakem mazivo. Je-li použit teflonový povlak, není mazání nutné.

Uzavírací klapky

Velký výběr materiálů tělesa i talíře je k dispozici s povlaky od přírodního kaučuku po teflon. Vynikající pro systémy, vyžadující lehkou a kompaktní jednotku, která je stejně dobrá pro zavírání či otevírání i regulaci. Je vhodné se vyhnout těžkým a tuhým látkám, stejně jako příliš rychlé operaci talíře, existuje nebezpečí prudkého nárůstu tlaku a klepání.

Membránové ventily

Vhodné pro zavírání/otevírání a škrčení, tlak i vysoké vakuum, vzduch nebo nebezpečné chemikálie. Není pro vysoké teploty (175° je obvyklý strop), má různé charakteristiky proudění, ale velká šíře záběru je taková, že téměř každé průmyslové odvětví ho zahrnuje do svých procesů. Nevhodné pro vysoké tlaky, kde je požadováno rychlé zavření nebo otevření.

Hadicové ventily

Hadicové ventily v podstatě obsahují pryžovou hadici nebo rukáv, která je upevněna v potrubí a svírána nebo mačkána k zastavení nebo regulaci proudění. V úplně otevřené nebo zavřené poloze nedochází téměř k žádnému opotřebení. Ventily jsou používány hlavně tam, kde se jedná o oděr, odpadní vody, zpracování tuhých látek nebo korozi. Jsou ideálním kalovým ventilem.

- tab. teplotních stupňů armatur:

Pracovní stupeň			Armatura		
Označení	Max. teplota	Rozsah tlaků	Rozdělení podle ČSN EN ISO 15848	Materiál tělesa	Materiál těsnění
N/A	150	25	t RT, t190	Plastické hmoty	PTFE
					pryž
I.	190	150	t190	Litina s lupínkovým grafitem	PTFE
				Litina s kuličkovým grafitem	pryž
				Temperovaná litina	mosaz
				Ocel na odlitky	litina
				Ocel na výkovky	bronz

Pracovní stupeň			Armatura		
Označení	Max. teplota	Rozsah tlaků	Rozdělení podle ČSN EN ISO 15848	Materiál tělesa	Materiál těsnění
				Barevné kovy	
II.	300	125	t400	Litina s lupínkovým grafitem	korozivzdorná oc.
				Litina s kuličkovým grafitem	mosaz
				Temperovaná litina	litina
				Ocel na odlitky	bronz
				Ocel na výkovky	
				Barevné kovy	
III.	400	100	t400	Ocel na odlitky: žárovevné a nerezavějící oceli	návar tvrdokovu
				Ocel na výkovky: žárovevné a nerezavějící oceli	korozivzdorná oc.
IV.	425	100		Ocel na odlitky: žárovevné a nerezavějící oceli	návar tvrdokovu
				Ocel na výkovky: žárovevné a nerezavějící oceli	korozivzdorná oc.
V.	450	100		Ocel na odlitky: žárovevné a nerezavějící oceli	návar tvrdokovu
				Ocel na výkovky: žárovevné a nerezavějící oceli	korozivzdorná oc.
VI	475	100		Ocel na odlitky: žárovevné a nerezavějící oceli	návar tvrdokovu
				Ocel na výkovky: žárovevné a nerezavějící oceli	
VII	500	100		Ocel na odlitky: žárovevné a nerezavějící oceli	návar tvrdokovu
				Ocel na výkovky: žárovevné a nerezavějící oceli	
VIII	525	100		Ocel na odlitky: žárovevné a nerezavějící oceli	návar tvrdokovu
				Ocel na výkovky: žárovevné a nerezavějící oceli	
IX	550	100		Ocel na odlitky: žárovevné a nerezavějící oceli	návar tvrdokovu
				Ocel na výkovky: žárovevné a nerezavějící oceli	
X	575	80		Ocel na odlitky: žárovevné a nerezavějící oceli	návar tvrdokovu
				Ocel na výkovky: žárovevné a nerezavějící oceli	
XI	600	60		Ocel na odlitky: žárovevné a nerezavějící oceli	návar tvrdokovu
				Ocel na výkovky: žárovevné a nerezavějící oceli	
A.	-50	150	t-46	Ocel na odlitky: oceli pro nízké teploty a nerezavějící oceli	návar tvrdokovu

Pracovní stupeň			Armatura		
Označení	Max. teplota	Rozsah tlaků	Rozdělení podle ČSN EN ISO 15848	Materiál tělesa	Materiál těsnění
				Ocel na výkovky: oceli pro nízké teploty a nerezavějící oceli Barevné kovy	Barevné kovy
B.	-100	150		Ocel na odlitky: oceli pro nízké teploty a nerezavějící oceli	návar tvrdokovu
				Ocel na výkovky: oceli pro nízké teploty a nerezavějící oceli	barevné kovy
				Barevné kovy	
C.	-190	150	t-186	Ocel na odlitky: nerezavějící oceli	návar tvrdokovu
				Ocel na výkovky: nerezavějící oceli	barevné kovy
				Barevné kovy	

tab. 5.5 Teplotní stupně armatur

5.9. Označení konců dílů potrubní třídy

Konec/End	Popis	Description
BE	Přivařovací konec	Beveled end
DFLBEptfe	Hrubá těsnící lišta průchozí šrouby (mezipřírubový díl) (vločka PTFE)	Raised-face thru-bolted end with PTFE
DFLptfe	Hrubá těsnící lišta - krková příruba (vločka PTFE)	Raised-face flanged with PTFE
FFLFE	Hladká těsnící lišta - točivá příruba	Flat-face lap-flanged end
FTE	Vnitřní závitový konec	Female threaded end
FTE BSP	Vnitřní závitový konec BSP	Female threaded end BSP
FTE G 1"	Vnitřní závit G 1"	Female threaded end G 1"
FTE G 1/2"	Vnitřní závit G 1/2"	Female threaded end G 1/2"
LFLptfe	Hrubá těsnící lišta - točivá příruba (vločka PTFE)	Raised-face lap-flanged end with PTFE
MHE	Vnější konec pro napojení hadice	Male hose end
MTE	Vnější závitový konec	Male threaded end
MTE BSP	Vnější závit BSP	Male threaded end type BSP
MTE BSPT	Vnější závit BSPT	Male threaded end type BSPT
MTE G	Vnější závit G	Male threaded end type G
MTE NPT	Vnější závit NPT	Male threaded end type NPT
RFFE	Hrubá těsnící lišta - krková příruba	Raised-face flanged end
RFTBE	Hrubá těsnící lišta průchozí šrouby (mezipřírubový díl)	Raised-face thru-bolted end
RP	Redukční příruba	Reduced flange
RPZ	Redukční příruba+šroub	Reduced flange+bolt
SE	Pro elektrosvar	Socket end
SWE	Nátrubek	Socketwelded end
MTE Rp	Vnější závit Rp	Male threaded end

tab. 5.6 Označení konců dílů potrubní třídy

5.10. Komponenty PT pro potrubí z plastů

Plastové trubky a tvarovky jsou definovány v normách a v katalogích výrobců. Technické normy pro získání materiálových vlastností plastů anebo jsou uvedeny na stránkách jednotlivých výrobců plastových potrubí.

Spojování, příruby. Potrubí z plastů se může spojovat svařováním, lepením a přírubovým spojem.

a) Svařování se týká plastů, které se používají v kaučukovitém stavu, tedy všech kromě PVC. Tyto plasty je možné svářet svářet natupo, polyfúzně a elektrotvarovkami. Polyfúzní svařování znamená využití speciálních tvarovek, které se po zahřátí nasazují na trubku s menším vnějším průměrem.

b) Lepení se týká plastů, které se používají ve skelném stavu, týká se to jen PVC

c) Přírubový spoj. Jako přírubový spoj u plastových potrubí je využívána ocelová točivá plochá příruba, navlečená na plastovou trubku zakončenou plastovým lemovým nákrůžkem. Nákrůžek je na trubku přivařen. Mezi nákrůžky je umístěno těsnění. Příruby stahuje k sobě sestava šroubového spoje.

Příruba. Jako přírubu je možno použít točivou plochou přírubu "typ 02" podle ČSN EN 1092-1. Je nutno však individuálně zkontrolovat, zda je možno k sobě použít vnitřní otvor příruby a vnější rozměr nákrůžku či trubky.

Renomovaní výrobci dodávají ocelovou točivou plochou přírubu přesně pasující do jimi dodávaných lemových nákrůžků. Uvedená příruba bývá i opatřena plastovou povrchovou vrstvou, aby odolávala korozi či jiné chemické agresivitě.

Postup vytypování šroubového spoje a těsnění se nijak neliší od potrubí ocelového.

Pryžové a plastové kompenzátory. Z hlediska způsobu kompenzace a funkce se mohou rozdělovat stejně jako v předchozí kapitole, avšak vyrábí se pouze v provedení přírubovém. Za příruby z obou stran se zavléká měch, který je tvořený z pryže anebo plastu PTFE. Měchy mohou mít až tři vlny a vždy mezi vlnami je instalován ocelový kroužek, který vytváří při vnitřním tlaku správný vlnovcovitý tvar.

U renomovaných výrobců se vyrábějí též celoplastové ventily.

5.11. Komponenty PT pro potrubí z laminátů

Mezi komponenty potrubní třídy počítáme například:

- a) Trubky, tvarovky. Trubky tvarovky lze najít v katalogu každého výrobce laminátových komponent. Lze využít i citované normy.
- b) Typy spojení, příruby. Potrubí z GRP/FRP se může spojovat přírubovým spojem, přelaminováním a zámkovým spojem:

- Přírubový spoj. Jako přírubový spoj u plastových potrubí je integrovaná krkovaná příruba vyrobená z laminátu. Mezi přírubami je vloženo těsnění. Také může být využívána ocelová točivá plochá příruba, navlečená na laminátovou trubku zakončenou laminátovým lemovým nákrůžkem. Mezi nákrůžky je umístěno těsnění. Jako přírubu je možno použít točivou plochou přírubu "typ 02" podle ČSN EN 1092-1. Je nutno však individuálně zkontrolovat, zda je možno k sobě použít vnitřní otvor příruby a vnější rozměr nákrůžku či trubky. Příruby stahuje k sobě sestava šroubového spoje.

- Prelaminování. Jde o čistě laminátový spoj

- Zámkový spoj.

Spojovací materiál, těsnění, kompenzátory, armatury. Postup vytypování šroubového spoje, těsnění, kompenzátorů a armatur se nijak neliší od potrubí ocelového.

6. Materiály pro potrubí

6.1. Oceli

6.1.1. Základní vlastnosti ocelí

Základní vlastnosti ocelí vhodných pro potrubí:

a) musí mít vhodné vlastnosti za všech provozních podmínek, které lze rozumně předvídat, a za všech zkušebních podmínek a zejména mají být dostatečně tažné a houževnaté. Tam, kde to je nutné, je třeba zvláště věnovat náležitou péči volbě materiálu, aby se předešlo vzniku křehkého lomu; pokud je ze zvláštních důvodů třeba použít křehký materiál, musí být přijata příslušná opatření;

b) musí být dostatečně chemicky odolné v prostředí tekutiny obsažené v tlakovém zařízení; chemické a fyzikální vlastnosti nezbytné pro bezpečnost provozu nesmí být během předpokládané životnosti zařízení významně ovlivněny;

c) nesmí být významně ovlivněny stárnutím;

d) musí být vhodné pro předpokládané technologické postupy;

e) musí být voleny tak, aby se při vzájemném spojování různých materiálů zabránilo významným nežádoucím účinkům.

Ocel je slitina železa s uhlíkem, popř. s dalšími prvky. Vyznačuje se dobrou tvárností a houževnatostí.

Podle způsobu výroby se dělí např. na konvertorovou, Siemensovu –Martinovu, elektroocel; podle chemického složení na uhlíkovou a slitinovou (legovanou). Ocel uhlíková obsahuje max. 1,8% uhlíku, několik desetin % manganu, popř. křemíku a pod 0,06 % fosforu a síry. Vlastnosti uhlíkové oceli jsou určovány obsahem uhlíku. Oceli slitinové se legují nejčastěji Cr, Mn, Ni, Mo, V, W, Ti, Al.

Podle použití jsou oceli konstrukční, nástrojové a speciální. Oceli konstrukční mají dobré mechanické vlastnosti, dobrou houževnatost, popř. i vyhovující vlastnosti, zejména svařitelnost. Oceli nástrojové mají vysokou tvrdost, dobré řezné vlastnosti (i při vyšších teplotách). Oceli speciální jsou obvykle vysoko legované, nejčastěji prvky Cr, Ni, Mo, Mn. Podle druhu a množství přísadových prvků nabývají vlastnosti: dobrou korozní odolnost, žárovzdornost, žárovevnost, popř. zvláštní fyzikální vlastnosti, nemagnetičnost, malý součinitel teplotní roztažnosti. V současné době je vyráběno asi 2500 druhů ocelí. V normách jsou oceli rozděleny do skupin jednak podle chemického složení, jednak podle struktury a mechanických a fyzikálních vlastností.

Podle chemického složení a vlastností, které jsou důležité pro použití v potrubních systémech, jsou oceli rozdělovány do následujících skupin:

6.1.2. Nelegované a nízkolegované oceli.

Zvané také uhlíkové oceli obsahují max. 1,8% uhlíku, několik desetin % manganu, popř. křemíku a pod 0,06 % fosforu a síry. Vlastnosti uhlíkové oceli jsou určovány obsahem uhlíku. Obsah legujících prvků je nižší, než je maximální tabelovaná hodnota pro daný prvek. Pro většinu prvků je tento maximální hmotnostní podíl kolem 2 %.

Se stoupajícím obsahem uhlíku stoupá i tvrdost po kalení. A to až do obsahu 0,85 % C. S vyšším obsahem C se kalením už tvrdost dále nezvyšuje. Samotný obsah uhlíku má však také vliv na pevnost oceli, čím vyšší obsah, tím je ocel pevnější. Upneme-li do svěráku tyč z oceli 11373 (0,22 C) a tyč z oceli 11700 (0,65 C) a zkusíme je ohnout, sami poznáme, že tyč z oceli 11700 je pevnější, půjde také obtížněji řezat ruční pilkou. Například kdysi se vyráběly radlice pluhu z oceli 11700. Sám výrobce uváděl, že tyto radlice po překování (naostření) už není nutno kalit, ocel s takovým obsahem uhlíku byla sama o sobě dostatečně tvrdá. Mechanické vlastnosti uhlíkových ocelí lze modifikovat tepelným (žhánání, kalení, popouštění), tepelně-mechanickým a tepelně-chemickým (cementace a nitridace) zpracováním.

6.1.3. Oceli pro nízké teploty

Pro nízké teploty 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.

6.1.4. Jemnozrnné oceli

Jsou použitelné do nižších teplot a mají větší pevnost než nízkouhličkové oceli. Jemnozrnná struktura se dá získat ukladáním.

6.1.5. Korozivzdorné oceli

6.1.5.1. Feritické oceli.

V hrubém rozdělení se feritické korozivzdorné oceli člení do dvou podskupin:

- s obsahem asi 11 až 13 % Cr
- s obsahem asi 17 % Cr.

Mechanické vlastnosti feritických ocelí předpokládají jemnozrnnou strukturu, které se dosahuje příslušným tepelným zpracováním těchto ocelí. V důsledku relativně nízkého obsahu chrómu je korozní odolnost 11-12 % ních chromových ocelí (1.4003, 1.4512) omezena např. jen na atmosférické podmínky, nebo na vodnatá média, takže tyto oceli jsou zařazovány také jako "korozně málo aktivní". U 17 % chromových ocelí se díky vyššímu

obsahu chrómu dosahuje vyšší odolnosti proti korozi. Výfukové potrubí a potrubí pro spaliny je jedna z oblastí použití feritické korozivzdorné oceli.

6.1.5.2. Martenzitické oceli.

V případě ocelí s 12-18% Cr a s obsahy C od 0,1% se jedná o oceli, které jsou při vysokých teplotách plně austenitické. Když se z austenitické oblasti rychle ochladí, to znamená, zakalí, získají martenzitickou strukturu. Austenitizační teploty leží v závislosti na druhu oceli mezi 950 a 1050 °C; vytvrzování může probíhat mnohem pomaleji, než u srovnatelných nelegovaných ocelí (např. ochlazováním vzduchem). Tvrdost ocelí je o to větší, čím vyšší je obsah C. V zušlechťeném stavu dosahuje vysokých hodnot pevnosti. U niklových martenzitických ocelí se role uhlíku ujímá nikl (např. 1.4313). Schopnost zakalení při tom zůstává zachována, aniž by se projevovaly nepříznivé účinky zvýšeného obsahu uhlíku.

6.1.5.3. Austenitické oceli

Austenitické CrNi oceli s 8% Ni skýtají obzvláště příznivou kombinaci zpracovatelnosti, mechanických vlastností a odolnosti proti korozi. Jsou proto vhodné pro mnoho účelů použití a jsou nejvýznamnější skupinou korozivzdorných ocelí. Nejdůležitější vlastností této skupiny ocelí je vysoká korozní odolnost, která se s narůstajícím obsahem legur zvyšuje. Jejím zvyšování napomáhají zejména chróm a molybden. Jak u feritických, tak i u austenitických ocelí je pro dosažení dobrých technologických vlastností nezbytná jemnozrnná struktura. Jako konečné tepelné zpracování se provádí rozpouštěcí žíhání při teplotách mezi 1000 a 1150°C s následným ochlazením ve vodě nebo na vzduchu. Austenitické oceli nejsou na rozdíl od martenzitických ocelí kalitelné. Pro určité oblasti použití se požadují austenitické oceli s vyšší pevností. Zvýšení meze průtažnosti je možné dosahovat na příklad tvářením za studena.

6.1.5.4. Austeniticko-feritické oceli

Austeniticko-feritické oceli, které se vzhledem k jejich dvěma složkám struktury také často označují jako duplexní oceli, získávají stále na významu. To platí především pro ocel X2CrNiMoN22-5-3 (materiálové číslo 1.4462). Ocel 1.4462 obsahuje asi 22 % Cr, ca. 5 % Ni, ca. 3 % Mo a dusík To vede k získání austeniticko-feritické struktury (zpravidla 50:50). Mez průtažnosti 0,2 je výrazně vyšší než u austenitických ocelí. Při tom se dosahuje dobrých hodnot houževnatosti. Dále je třeba zdůraznit dobrou únavovou pevnost oceli, a to i v korozivních médiích. Při pozorování korozní odolnosti austeniticko-feritických korozivzdorných ocelí je tu v porovnání s austenitickými oceli třeba zdůraznit lepší odolnost proti napěťové korozi vyvolávané chloridy.

6.2. Litiny

6.2.1. Základní vlastnosti litin

Základní vlastnosti litin vhodných pro potrubí:

- a) musí mít vhodné vlastnosti za všech provozních podmínek, které lze rozumně předvídat, a za všech zkušebních podmínek a zejména mají být dostatečně tažné a houževnaté. Tam, kde to je nutné, je třeba zvláště věnovat náležitou péči volbě materiálu, aby se předešlo vzniku křehkého lomu; pokud je ze zvláštních důvodů třeba použít křehký materiál, musí být přijata příslušná opatření;
- b) musí být dostatečně chemicky odolné v prostředí tekutiny obsažené v tlakovém zařízení; chemické a fyzikální vlastnosti nezbytné pro bezpečnost provozu nesmí být během předpokládané životnosti zařízení významně ovlivněny;
- c) nesmí být významně ovlivněny stárnutím;
- d) musí být vhodné pro předpokládané technologické postupy;
- e) musí být voleny tak, aby se při vzájemném spojování různých materiálů zabránilo významným nežádoucím účinkům.

Litina je slévárenská slitina železa, uhlíku a křemíku s dalšími doprovodnými prvky. Množství uhlíku a jeho strukturní forma v litině (tj. tvar, velikost a rozložení grafitových lupínků ve struktuře) určují její mechanické vlastnosti. Důležité typy litiny jsou: a) perlitická litina šedá s pevností v tahu do 300 MPa; b) očkovaná litina s pevností v tahu 300-380 MPa; c) tvárná litina s uhlíkem vyloučeným ve tvaru zrn a s pevností v tahu 400-700 MPa; d) tvrzená litina, vzniklá rychlým ochlazením tuhnoucí šedé litiny v kovové kokile; e) litina bílá; f) litina temperovaná; g) litina legovaná (niklem, chromem). Litiny se rozlišují a dělí podle způsobu vyloučení grafitu (uhlíkových zrn) z železa. Tvar a velikost grafitu je určující pro vlastnosti litin, určuje jejich křehkost a tvrdost. Rozlišit vyloučení grafitu lze pod mikroskopem. S litinami počítáme jako s křehkým materiálem.

6.2.2. Šedá litina

Šedá litina (také LLG - „litina s lupénkovým grafitem“) je slitinou železa s uhlíkem, přičemž obsah uhlíku (C) je vyšší než 2,14 %. Pod touto hranicí hovoříme o ocelích, viz binární diagram železo-uhlík. Uhlík je vyloučen v elementární formě jako lamelární grafit v železné kovové hmotě. Šedá litina (SL) je vícesložková slitina železa s uhlíkem, křemíkem, manganem, fosforem, sírou a s dalšími prvky. Obsah uhlíku je obvykle 2,8 až 4 %. SL krystalizuje přibližně podle stabilní soustavy rovnovážného diagramu Fe – C. Skutečný průběh krystalizace je však odlišný v závislosti na přítomných doprovodných nebo legujících prvcích a rychlosti ochlazování.

SL se vyznačuje relativně vysokou pevností v tlaku. Ostatní mechanické vlastnosti jsou nepříznivě ovlivněny lamelárním tvarem grafitu. Grafitové lamely působí jako vruby v

kovové hmotě a snižují pevnost v tahu na pouhých 100 až 350 MPa. Lamelová forma grafitu zvyšuje tepelnou vodivost SL. Předností SL je její dobrá zabíhavost (zatékavost) i do složitých forem, relativně nízká tavicí a lící teplota (1100-1300 °C) a dobrá odolnost vůči korozi. SL se používá na odlitky, kde nejsou kladeny vysoké nároky na pevnost a houževnatost, ve výrobě strojů, kanalizační trouby a armatury, odlitky pro stavební průmysl, radiátory ústředního topení ap. V současné době je SL v mnoha oblastech použití vytlačována lehkými kovy a tvárnou litinou.

V současné době však začíná převažovat výroba kanalizačního potrubí z tvárné litiny.

6.2.3. Tvárná litina.

Mechanické vlastnosti jsou definovány v příslušných materiálových normách. V evropských zemích se nejvíce rozšířilo používání DIN 1593 normy. V roce 1897 byla tato nahrazena evropskou normou EN 1563. Označení GGG, které pochází z DIN 1593 je v praxi ještě stále nejpoužívanější. GGG trubky se používají na vodní a plynová potrubí. Pro použití na podzemní vedení je nutno je chránit proti korozi. Kanalizační potrubí z tvárné litiny se využívají zejména pro:

- gravitační potrubí s volnou hladinou,
- tlaková kanalizační potrubí,
- potrubí pro dešťovou, splaškovou, znečištěnou a smíšenou vodu,
- tlaková kalová potrubí,
- potrubí pro průsakovou vodu ze skládek odpadu,
- potrubí průmyslových odpadních vod,
- odpadní vody z rafinérií,
- potrubí se solankou.

Označení litiny	Označení ČSN	Tepelná úprava			
Tvárná litina LKG	ČSN 4223xx	ne			
Hustota kg/m ³	Tepelná roztažnost mm/mm/K	Poissonův poměr			
7200	12,5.10 ⁻⁶	0,275			
EN 1563	ČSN	DIN 1693	Modul pružnosti MPa	Pevnost v tahu Rm [MPa]	Mez kluzu Rp02 [MPa]
EN-GJS-350-22	422303	GGG-35.3	169 000	330	210
EN-GJS-400-18	422314	GGG-40.3	169 000	400	240
EN-GJS-500-7	422305	GGG-50	169 000	500	320
EN-GJS-600-3	422306	GGG-60	174 000	600	370
EN-GJS-700-3	422307	GGG-70	176 000	700	420
EN-GJS-800-2	422308	GGG-80	176 000	800	480

Tabulka 2 Výpočtový materiálový list tvárné litiny

6.3. Neželezné kovy

6.3.1. Hliník a jeho slitiny.

Kovový hliník nalézá uplatnění především díky své poměrně značné chemické odolnosti a nízké hmotnosti. Proto se z něj vyrábějí např. některé drobné mince, ale i běžné kuchyňské nádobí a přístroje. Po vyválnování do tenké folie se s ním setkáme pod názvem alobal. Vzhledem k dobré elektrické vodivosti se kovového hliníku dříve často využívalo jako materiálu pro elektrické vodiče. Díky své elektropozitivitě má hliník značnou afinitu ke kyslíku. Této vlastnosti využívá aluminotermie – metoda výroby některých kovů z jejich oxidů za použití hliníku jako redukčního činidla. Při uvedené reakci se také uvolňuje značné množství tepla a teplota dosahuje dostatečných hodnot pro roztavení např. kovového železa. Hliníkové trubky a trubky z hliníkových slitin se vyrábějí dvěma způsoby: lisováním a tažením za studena.

Slitiny hliníku. Nejdůležitější je však uplatnění hliníku ve formě slitin, z nichž bezesporu nejznámější je slitina s hořčíkem, mědí a manganem, známá jako dural. Tento materiál má oproti samotnému hliníku mnohem větší pevnost a tvrdost při zachování velmi malé měrné hmotnosti. Zároveň jsou i značně odolné vůči korozi. Vůči uvedené vlastnosti předurčují dural jako ideální materiál pro letecký a automobilový průmysl, ale setkáme se s ním při výrobě výtahů, jízdních kol, lehkých žebříků a podobných aplikacích. Hliník a hliníkové slitiny se vytvrzují. Dále jsou uváděny hodnoty pevnosti a kluzu pro slitiny vytvrzené na maximum. Označení slitiny hliníku je takovéto: EN AW.NNNN, kde N znamená číslo

Zdroje dat pro výpočet jsou: ČSN EN 12392 Hliník a slitiny hliníku-Tvářené výrobky-Zvláštní požadavky na výrobky určené na výrobu tlakových zařízení. A také ČSN EN13480-3 Kovová průmyslová potrubí Část 8: Doplnující požadavky pro průmyslová potrubí z hliníku a hliníkových slitin

6.3.2. Měď a její slitiny

6.3.2.1. Měď

Měď je typický kovový prvek červenohnědé barvy, která ve velmi tenkých plátech prosvítá zelenomodře. Krystalizuje v krychlové plošně středěné soustavě. Čistá měď nalézá uplatnění pro svoji odolnost proti korozi, protože se na vzduchu působením atmosférické vlhkosti a oxidu uhličitého rychle pokryje tenkou vrstvičkou nazelenalého zásaditého uhličitanu měďnatého ($\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$), (*měděnka*), který ji účinně chrání proti další korozi. Používá se proto pro výrobu trubek. Vynikající tepelná vodivost mědi se uplatní při výrobě kotlů a zařízení pro rychlý a bezetrátový přenos tepla. *Měď* je při dodržení příslušných pravidel možno použít při teplotě v rozmezí -269°C až do $+250^\circ\text{C}$

Měděné trubky představují nejvšestrannější materiál rozvodů TZB. Mohou se použít na instalaci pitné a teplé vody, radiátorového, podlahového a stěnového vytápění, zemního plynu, PB-plynu, medicínského a technického plynu (s výjimkou acetylénu, který tvoří s mědí acetelyd a materiál pak rychle koroduje), topných olejů, stlačeného vzduchu, klimatizace, slunečních kolektorů atd.

Měděné trubky se vyrábějí ve třech pevnostních stupních (číselné označení znamená pevnost v MPa):

R220 Měkké měděné trubky

R250 Polotvrdé měděné trubky

R290 Tvrdé měděné trubky

Pro rozvody v TZB můžeme používat trubky, vyrobené podle normy ČSN EN 1057. V této evropské normě jsou stanoveny požadavky na kvalitu měděných trubek. Tato norma platí pro bezešvé trubky z mědi kruhového průřezu (i opláštěné) s vnějším průměrem od 6 do 267 mm pro:

- rozvodné sítě studené a teplé vody
- teplovodní topné systémy včetně systémů podlahového vytápění
- rozvody topných plynů a topných olejů
- likvidaci odpadní vody (např. malá čerpací zařízení na odpadní vodu)

Měď je možné výhodně používat pro rozvod chladiv, neboť na klesající teplotu reaguje měď vzrůstající pevností a s křehnutím kvůli nízké teplotě se u mědi nesetkáváme. Zde se používají měděné trubky podle ČSN EN 12735.1. Jsou zde použity dvě druhy mědi: Cu.DHP je dezoxidovaná měď s přesnou přísadou fosforu (0,015 až 0,040%) a Slitina CuFe2P je měď nízko legovaná železem, je vhodná pro vysokotlaké použití.

Měď 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.

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

Zdroje tad pro výpočet: ČSN EN 1653 Měď a slitiny mědi-Desky, plechy a kotouče pro bojler, tlakové nádoby a zásobníky teplé vody.

6.3.2.2. Bronz

Patrně nejvýznamnější slitinou mědi je bronz obsahující směs mědi a cínu. Přídavek cínu do kovové mědi odstraňuje její hlavní nedostatek pro výrobu prakticky použitelných nástrojů – malou tvrdost. Přitom zůstává zachována vysoká odolnost proti korozi a relativně snadná opracovatelnost. Existují stovky slitin tohoto typu, z nichž mnohé obsahují kromě mědi a cínu řadu dalších kovů jako nikl (dělovina), mangan, olovo, beryllium, nebo i fosfor a křemík. Praktické využití bronzů je spojeno především s jejich vysokou odolností proti korozi,

přestože jeho cena je výrazně vyšší než u železa nebo oceli. Z bronzu se vyrábějí kovové součástky čerpadel, která pracují s vysokými tlaky v agresivním prostředí. Bronz velmi dobře odolává působení mořské vody

6.3.2.3. Mosaz

Slitina mědi se zinkem se nazývá mosaz. Obvykle obsahuje přibližně 30 % zinku, ale existují stovky různých mosazí, jejichž přesné složení je dáno mezinárodními normami a liší se od sebe mechanickými vlastnostmi (tvrdost, pevnost, mechanická opracovatelnost...), bodem tání a zpracovatelnost litím (možnost odlévání). Běžná mosaz je poměrně měkký kov s jasně zlatavou barvou a s poměrně nízkou chemickou odolností vůči kyselinám a louhům. Proti působení atmosférických vlivů je však mosaz značně odolná. V současné době existují i způsoby elektrolytického vylučování mosazných vrstev na kovový podklad a tohoto elektrolytického mosazení se využívá k povrchové protikorozi ochraně především železných předmětů.

6.3.3. Titan a jeho slitiny

Titan je šedý až stříbřitě bílý, lehký a tvrdý kov. Je dobrým vodičem tepla i elektřiny. Vyznačuje se mimořádnou chemickou stálostí – je zcela netečný k působení vody a atmosférických plynů a odolává působení většiny běžných minerálních kyselin i roztoků alkalických hydroxidů. Zvolna se rozpouští v horké HCl, naopak kyselina dusičná jeho povrch pasivuje. Pro jeho rozpouštění je nejúčinnější kyselina fluorovodíková HF nebo její směsi s jinými minerálními kyselinami.

Praktické využití elementárního titanu vyplývá především z jeho mimořádné chemické odolnosti a malé hustoty. Výroba titanu je relativně značně finančně náročná (vyrábí se redukcí par v inertní atmosféře a odlévá se ve vakuu).

V chemickém průmyslu je titan stále používanějším materiálem pro výrobu nebo vystýlku chemických reaktorů, které pracují v extrémních podmínkách a vyžadují vysokou odolnost proti korozi. V chemickém průmyslu se používá také pro výrobu potrubí. Titan je stále častěji používán ve styku s mořskou vodou. Mohou to být i komponenty průmyslových celků, sloužících k odsolování (desalanci) mořské vody. Rozdělení titanu a titanových slitin a jejich vlastnosti, viz tabulková část.

Rozdělení titanových slitin:

1. Čistý titan
2. Alfa slitiny a slitiny blízké
3. Alfa-beta slitiny
4. Beta slitiny a slitiny blízké
5. Pokročilé materiály

Třídy titanové slitiny:

- Titanová slitina třídy 5, Ti 6Al-4V

Ti 6Al-4V, nebo grade 5 titan, je nejvíce využívaný ze všech slitin titanu a je známý jako "tahoun" titanových slitin. To představuje polovinu veškerého použití titanu na planetě. Tepelné zpracování lze použít ke zlepšení pevnosti Ti 6Al-4V. Titan třídy 5 se používá ve svařované konstrukci při teplotách do 315°C. Vynikající pevnost této slitiny při nízké hmotnosti, užitečná tvarovatelnost a vysoká odolnost proti korozi z ní činí dobrou volbu. I v chemickém průmyslu a pro potrubí je to nejšťastější volba. Díky své všestrannosti je Ti 6Al-4V optimální slitinou pro použití v různých průmyslových odvětvích, včetně leteckého, lékařského, námořního a chemického zpracování.

- Titanová slitina třídy 7

Stupeň 7 je mechanicky a fyzikálně identický se stupněm 2, s výjimkou toho, že obsahuje intersticiální prvek palladium, což z něj činí slitinu. Třída 7 je nejodolnější titanová slitina odolná proti korozi s vynikající svařitelností a vyrobitelností. Chemické procesy a komponenty průmyslových zařízení používají stupeň 7.

- Titanová slitina třídy 11

Stupeň 11 je v podstatě totožný se stupněm 1 (což je čistý titan), s tím rozdílem, že bylo přidáno malé množství palladia pro zlepšení odolnosti proti korozi, což z něj činí slitinu. Optimální tažnost, tvarovatelnost za studena, funkční pevnost, rázová houževnatost a vynikající svařitelnost jsou další prospěšné vlastnosti. Tato slitina může být použita ve stejných titanových aplikacích jako stupeň 1, ale je odolnější proti korozi.

- Titanová slitina třídy 12, Ti 3Al 2.5

Titan třídy 12 získává vynikající hodnocení za svou vysoce kvalitní svařitelnost. Je to odolná slitina s velkou pevností při vysokých teplotách. Titan třídy 12 má vlastnosti ekvivalentní nerezové oceli ze třídy 300. Tato slitina může být tvarována za tepla nebo za studena pomocí tváření ohraňovacího lisu, hydrolisování, roztahovacího tváření nebo metody drop hammer. Může být tvořen různými způsoby, užitečnými v široké škále aplikací. Díky silné odolnosti proti korozi je tato slitina ideální pro použití ve výrobních zařízeních, kde je problémem štěrbinová koroze.

- Titanová slitina třídy 23, Ti 6Al-4V ELI

Ti 6Al-4V ELI, také známý jako stupeň 23, je čistý Ti 6Al-4V. Cívky, prameny, dráty a ploché dráty mohou být vytvořeny. Je to nejlepší volba pro jakoukoli aplikaci, která vyžaduje kombinaci vysoké pevnosti, nízké hmotnosti, výjimečné odolnosti proti korozi a vysoké houževnatosti. Je odolnější vůči poškození než jiné slitiny. Stupeň 23 je díky těmto výhodám ideální zubní a lékařský titanový stupeň. Díky své biokompatibilitě, dobré únavové pevnosti a nízkému modulu lze použít v biomedicínských aplikacích, jako jsou implantované komponenty.

- Titanová slitina třídy 6, Ti 5Al-2.5Sn

Ti 5Al-2.5Sn je tepelně nezpracovatelná slitina s dobrými svařovacími vlastnostmi a stabilitou. Má také vysoký stupeň teplotní stability, pevnosti, odolnosti proti korozi a odolnosti proti tečení. Creep je termín používaný k popisu procesu namáhání plastů v průběhu času, ke kterému dochází při vysokých teplotách. Titanová slitina Ti 5Al-2.5Sn se používá v letadlech, draku letadla a kryogenních aplikacích.

Slitiny titanu lze také klasifikovat na základě jejich mechanické pevnosti takto:

- Nízkopevnostní titanová slitina (pevnost ≤ 500 MPa): Příklad, ASTM stupně 1,2,3,7 a 11
- Středně pevná titanová slitina (pevnost 500 až 900 MPa): Příklad ASTM stupně 4,5 a 9, Ti-2,5% Cu, Ti-8% Al-1% Mo-0,1% V.
- Středně pevná titanová slitina (pevnost 900 až 1000 MPa): Příklad, Ti-6%Al-2%Sn-4%Zr-2%Mo, Ti-5.5%Al-3.5%Sn-3%Zr-1%Nb-0.3%Mo-0.3%Si
- Vysokopevnostní titanová slitina (pevnost 1000 až 1200 MPa): Příklad, Ti-3%Al-8%V-6%Cr-4%Zr-4%Mo, Ti-4%Al-4%Mo-2%Sn-0.5%Si,
- Velmi pevná titanová slitina (pevnost >1200 MPa): Příklad, Ti-10%V-2%Fe-3%Al, Ti-4%Al-4%Mo-4%Sn-0,5%Si

Poř. č.	Označení (Grade)	Materialové číslo	Druh slitiny	Popis
1	Grade 1	3.7025	CP (komerčně čistý)	Vynikající tažnost a svařitelnost je kompenzována nižší pevností. Velmi dobrá svařitelnost.
2	Grade 2	3.7035	CP (komerčně čistý)	Nejpoužívanější, největší sortiment hutních výrobků. Vyvážená kombinace tažnosti a pevnosti. Velmi dobrá svařitelnost.
3	Grade 3	3.7055	CP (komerčně čistý)	Vyšší pevnost. Velmi dobrá svařitelnost.
4	Grade 4	3.7065	CP (komerčně čistý)	Vysoká pevnost. Velmi dobrá svařitelnost.
5	Grade 5	3.7165	Ti-6Al-4V	Nejpoužívanější slitina. Vysoká pevnost v tahu. Tepelně zpracovatelná. Do 400°C.
6	Grade 5 ELI	ASTM F136	Ti-6Al-4V ELI	Vysoká pevnost v tahu. Snížený obsah kyslíku a tím snížená pevnost a vyšší tažnost. . Tepelně zpracovatelná. Do 400°C.
7	Grade 7+Pd	3.7235	CP+Pd	Odvozen od Grade 2 přidáním Paládia. Zvýší se tím korozní odolnost. Ostatní vlastnosti stejné
8	Grade 11+Pd	3.7225	CP+Pd	Odvozen od Grade 1 přidáním Paládia. Zvýší se tím korozní odolnost. Ostatní vlastnosti stejné.

Tabulka 6.2. Přehled nejběžnějších titanových slitin

Technická norma	Popis materiálu	Označení materiálu	Materiálové číslo	Tepelná úprava	Minimální průměrná nárazová práce KV v J
ASTM B337/B338 Gr2	Titan (Komerčně čistý)	Grade 2	3.7035	žhánání na odstranění pnutí	40J
Tloušťka materiálu	Skupina materiálu	Pevnost v tahu MPa	Mez kluzu MPa	Hustota kg/m3	Poissonův poměr
Do 30mm	Slitina Alfa	485	350	4510	0,34 až 0,4
Teplota °C	Modul pružnosti MPa	Tepelná roztažnost mm/mm/K	Dovolené napětí MPa		
0		$8,6 \cdot 10^{-6}$	202,1		
20	$103 \cdot 10^3$	$8,6 \cdot 10^{-6}$	191,7		
50		$8,6 \cdot 10^{-6}$	197,2		
100		$8,6 \cdot 10^{-6}$	158,3		
150		$9,5 \cdot 10^{-6}$	133,3		
200		$9,5 \cdot 10^{-6}$	113,3		
250		$9,7 \cdot 10^{-6}$	100,0		
300		$9,7 \cdot 10^{-6}$	73,3		

Tabulka 6.3. Výpočtový materiálový list – Titan Grade 2

Technická norma	Popis materiálu	Označení materiálu	Materiálové číslo	Tepelná úprava	Minimální průměrná nárazová práce KV v J
ASTM B265Gr5	Titan - slitina	Ti6Al4V Grade 5	3.7165	žháno	20J
Tloušťka materiálu	Skupina materiálu	Pevnost v tahu MPa	Mez kluzu MPa	Hustota kg/m3	Poissonův poměr
	Slitina Alfa-Beta	895	825	4 430	0,30 až 0,33
Teplota °C	Modul pružnosti MPa	Tepelná roztažnost mm/mm/K	Dovolené napětí MPa		
0		$9,0 \cdot 10^{-6}$	379,2		
20	$114 \cdot 10^3$	$9,0 \cdot 10^{-6}$	375,0		
50		$9,0 \cdot 10^{-6}$	366,6		
100		$9,0 \cdot 10^{-6}$	362,5		
150		$9,5 \cdot 10^{-6}$	345,8		
200		$9,5 \cdot 10^{-6}$	333,3		
250		$9,5 \cdot 10^{-6}$	325,0		
300		$9,5 \cdot 10^{-6}$	304,2		
350		$9,7 \cdot 10^{-6}$	287,5		
400		$9,7 \cdot 10^{-6}$	279,2		

Tabulka 6.4. Výpočtový materiálový list – Slitina titanu

6.3.4. Slitiny žáruvzdorné a žárupevné

Jsou tím myšleny slitiny výrazně žárupevnější či žáruvzdornější než slitiny železné, a to slitiny na bázi Ni-Cr-Co s přísadami Al, Ti nebo i Mo, W, Nb. Vysoké meze creepu se dosahuje precipitačním vytvrzením fáze typu Ni_3Al , v níž bývá rozpuštěn i Titan. Dalšími vyztužujícími fázemi mohou být karbidy či karbonitridy. Ke zvýšení korozní odolnosti se používá molybden. Jednotlivé firmy mají různé obchodní názvy těchto slitin, např.: HASTELLOY, INCONEL, INCOLOY, INVAR, MU-METAL, NICORROS atd. Jejich pevnost při

pokožkové teplotě bývá až 1000MPa a při teplotě 500°C, stále ještě až 900MPa. Modul pružnosti při 19°C je cca 210GPa. Uvedeme dva příklady:

HASTELLOY se vyrábí kombinací prvků během horkého kapalného stavu. Obecně platí, že materiál Hastelloy má 1% až 25% chromu, 5% až 30% molybdenu, 0% až 30% železa a vyvážený niklový materiál. Někdy se přidávají i další prvky, jako je uhlík, wolfram, vanad a titan. Má vynikající odolnost proti korozi. Mezi jeho vlastnosti dále patří:

- Hustota: 8890 kg/m³
- Teplota tání: 1323-1371°C
- Pevnost v tahu při 20°C: 690 až 783 MPa
- Dobrá svařitelnost
- Vysoká odolnost proti oxidačním činidlům a kyselinám

V závislosti na chemickém složení existují různé typy Hastelloy. Běžné typy jsou: B,C,G, X a N. Nejpoužívanější je slitina typu C.

INCONEL jsou slitiny na bázi niklu a chromu. Chemické složení se liší podle stupňů. Další prvky přítomné v materiálu slitiny Inconel jsou chrom, železo, kobalt, molybden, titan a niob. Inconel se vyznačuje schopností odolávat velmi vysokým teplotám. Při zahřátí se vytvoří silná a stabilní ochranná oxidová vrstva, která poskytuje vynikající odolnost proti korozi i při vysokých teplotách. Pro aplikace s velmi vysokými teplotami, kdy ocelový materiál podléhá tečení, je materiál Inconel ideální volbou. Hlavním důvodem velmi vysoké teplotní odolnosti je tvorba intermetalické sloučeniny Ni₃Nb. Tato intermetalická fáze působící jako "lepidlo" na hranicích zrn zabraňuje zvětšení zrn při zahřátí na vysoké teploty. Mezi jeho vlastnosti patří:

- Hustota: 8440 kg/m³
- Teplota tání: 1290-1350°C
- Pevnost v tahu při 20°C: 827 až 965 MPa
- Mez kluzu při 20°C: 414 až 617 MPa
- Odolnost proti vysokým teplotám

V závislosti na chemickém složení existují různé typy Inconelu. Běžné typy jsou: 188, 220, 600, 601, 617 (pro vysokoteplotní jaderné aplikace), 625, 690, 706.

6.4. Plasty a lamináty

Jsou materiály se speciálními vlastnostmi, které jsou rozebrány ve zvláštním dílu této naší série.

6.5. Ostatní materiály pro potrubí

6.5.1. Sklo

Sklo je homogenní amorfní, tuhý materiál. Vyrábí se z viskózní skloviny roztavené ve sklářské peci. Materiál se rychle zchladí a nemá dost času na zformování regulérní krystalové mřížky. Výsledná tuhá látka je amorfní (beztvará), s konchoidální strukturou, ne krystalická.

Čisté sklo je transparentní (průhledný), relativně pevný materiál, odolný proti opotřebením, v podstatě inertní a biologicky neaktivní. Může být formováno do všech existujících tvarů. Tyto žádané vlastnosti jej předurčují k velkému množství použití ve většině oborů lidské činnosti. Sklo je však velmi křehké a rozbíjí se na ostré střepy. Tyto vlastnosti mohou být modifikovány nebo i úplně změněny přidáním jiných sloučenin nebo tepelným zpracováním.

Sklo obsahuje především oxid křemičitý, který je obsažen v křemenu nebo křemičitém písku (též sklářském písku), ze kterého se vyrábí. Křemen má teplotu tání kolem 1900 °C, proto se při výrobě přidávají alkalické látky, které tuto teplotu výrazně snižují jako je soda a potaš, které snižují teplotu tání na asi 1000°C. Protože alkálie snižují odolnost skla vůči vodě, což je obvykle nežádoucí, přidává se také oxid vápenatý, který tuto odolnost zlepšuje

Jedna z neobvyklejších charakteristik obyčejného skla je, že je transparentní (průhledné) pro viditelné světlo. Obyčejné sklo nepropouští světlo o vlnové délce nižší než 400 nm, též známé jak ultrafialové světlo nebo UV (ultrafialové), protože obsahuje příměsi, například sodu (uhličitan sodný).

Sklo vyrobené pouze z čistého kysličníku křemičitého SiO₂ (křemene) se nazývá křemenné sklo. Oproti běžným sklům má některé odlišné vlastnosti. Neabsorbuje ultrafialové záření a má velmi vysokou teplotu tání (kolem 1550°C). Proto je užíváno tam, kde jsou tyto vlastnosti požadovány.

Jako potrubí se užívá sklo boritokřemičité a to všude tam, kde je požadavek na udržení vysoké čistoty tekutiny a také požadavek na průhlednost i chemická odolnost hraje svoji roli. Avšak i z tohoto použití je nyní vytlačován plasty, proto se zde nebudeme potrubím ze skla šířeji zabývat.

Evropská norma EN	Popis materiálu	Označení materiálu	Označení ČSN
ČSN ISO 3585	sklo boritokřemičité	Sklo boritokřemičité 3.3	SIMAX
Tloušťka materiálu	Pevnost v tahu MPa	Hustota kg/m ³	Poissonův poměr
	100	2230	0,2
Teplota °C	Modul pružnosti MPa	Tepelná roztažnost mm/mm/K	Dovolené napětí MPa
20	64 103	3,3 · 10 ⁻⁶ (±0,1 · 10 ⁻⁶)	41,7
50			
100			
200			
300			14,6

Tabulka 6.5. Výpočtový materiálový list – Sklo

6.5.2. Keramika

Keramika je souhrnný název pro sušené a pálené výrobky vyráběné z hlíny. Dělí se např. na terakotu, kameninu, fajáns, pórovinu a porcelán podle technologie výroby, dosažené porézności apod. Uplatnění keramiky se neomezuje jen na keramiku užitnou nebo uměleckou, ale významné je také použití keramiky v průmyslu.

Jako potrubí se užívá keramika všude tak, kde je požadavek na udržení vysoké čistoty tekutiny tj keramika s glazurou a také požadavek na chemickou odolnost dále se užívá jako kanalizační potrubí. Avšak i z tohoto použití je nyní vytlačován plasty, proto se zde nebudeme keramikou šířeji zabývat.

Evropská norma EN	Popis materiálu	Označení materiálu	Hustota kg/m ³
EN 295	kamenina		2200
Skupina materiálu	Pevnost v tlaku MPa	Pevnost v ohybu MPa	Poissonův poměr
keramika	100 až 200	15 až 40	
Teplota °C	Modul pružnosti MPa	Tepelná roztažnost mm/mm/K	Pevnost v tahu MPa
-10	50 000	5 · 10 ⁻⁶	20
70	50 000	5 · 10 ⁻⁶	20

Tabulka 6.6. Výpočtový materiálový list – keramika

6.5.3. Beton

Prostý beton je odolný vůči namáhání tlakem, naproti tomu snese pouze malé tahové zatížení. Proto se beton kombinuje s železnou výztuží – vzniká železobeton. Jako výztuž se používají i kabely, které se napnou a vnáší do betonu tlak – předpjatý beton. Pevnost betonu

závisí především na vlastnostech cementu, dalšími ovlivňujícími faktory jsou vlastnosti vody a kameniva. Betony se označují značkou C následovanou dvěma čísly – krychelnou a válcovou pevností (různé metodiky měření pevnosti), např. C40/50, z kterého se vyrábějí kanalizační trubky. Z uvedeného je vidět, že beton se skládá z více druhů materiálů o různých vlastnostech a je proto správně zařazen mezi kompozity.

Přísady jsou obvykle různé chemikálie, které se přidávají do vody. Pro potrubí jsou důležité vodotěsnící přísady. Zvyšují vodonepropustnost betonu, přísady oddělují póry od sebe a přerušují je. Beton je univerzálním stavebním materiálem, používá se jak na nosné konstrukce (skelety), tak na výrobu panelů; v dopravním stavitelství je beton hlavním materiálem pro výstavbu mostů, vozovek dálnic a v podzemním stavitelství. Jako potrubí se užívá beton jako kanalizační trubky. Avšak i z tohoto použití je nyní vytlačován plasty, proto se zde nebudeme betonem šířeji zabývat.

Evropská norma EN	Popis materiálu	Označení materiálu	Hustota kg/m ³
ČSN EN 206-1	beton	C40/50	2400
Skupina materiálu	Pevnost v tlaku válec MPa	Pevnost v tlaku krychle MPa	Poissonův poměr
beton	40	50	0,13
Teplota °C	Modul pružnosti MPa	Tepelná roztažnost mm/mm/K	Dov. napětí MPa
-20	18 000		
100	18 000		

Tabulka 6.7. Výpočtový materiálový list – beton

7. Související technické normy a legislativa

7.1. 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.směrnice2001/95/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. 219/2016 Sb., Směrnice PED, kterým se stanoví technické požadavky na tlaková zařízení. 2014/68/EU Pressure Equipment Directive (PED). Nová
5. Zák. č. 250/2021 Sb. o bezpečnosti práce v souvislosti s provozem vyhrazených technických zařízení,
6. NV 191/2022 Sb. O vyhrazených technických plynových zařízeních a požadavcích na zajištění jejich bezpečnosti
7. NV 192/2022 Sb. O O vyhrazených technických tlakových zařízeních a požadavcích na zajištění jejich bezpečnosti

7.2. 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.

7.2.1. Platné původem české technické normy

ČSN 13 0108 Potrubí. Provoz a údržba potrubí. Technické předpisy

ČSN 13 0555 Potrubí. Výpočtové hodnoty trubek

ČSN 13 0100 Bezpečnostní technika. Potrubí pro páru a horkou vodu. Klasifikace. Kategorie

ČSN 13 0101 Bezpečnostní technika. Potrubí pro páru a horkou vodu. Všeobecné požadavky na projektování

ČSN 13 0104 Bezpečnostní technika. Potrubí pro páru a horkou vodu. Dokumentace

ČSN 73 0039 Navrhování objektů na poddolovaném území

<http://seznam.normy.biz/trida.php?trida=13> Seznam platných norem ze třídy 13.potrubí

7.2.2. Evropské normy (harmonizované k PED) - Kovová potrubí

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: Doplnkové 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: Doplnující požadavky pro průmyslová potrubí z hliníku a hliníkových slitin

ČSN EN 10216-1 Bezešvé ocelové trubky pro tlakové nádoby a zařízení. Technické dodací podmínky. Část 1: Trubky z nelegovaných ocelí se zaručenými vlastnostmi při okolní teplotě

ČSN EN 10216-2 Bezešvé ocelové trubky pro tlakové nádoby a zařízení. Technické dodací podmínky. Část 2: Trubky z nelegovaných a legovaných ocelí se zaručenými vlastnostmi při zvýšených teplotách

ČSN EN 10216-3 Bezešvé ocelové trubky pro tlakové nádoby a zařízení. Technické dodací podmínky. Část 3: Trubky z legovaných jemnozrnných ocelí

ČSN EN 10216-4 Bezešvé ocelové trubky pro tlakové nádoby a zařízení. Technické dodací podmínky. Část 4: Trubky z nelegovaných a legovaných ocelí se zaručenými vlastnostmi při nízkých teplotách

ČSN EN 10217-1 Svařované ocelové trubky pro tlakové nádoby a zařízení. Technické dodací podmínky. Část 1: Trubky z nelegovaných ocelí se zaručenými vlastnostmi při okolní teplotě

ČSN EN 10217-2 Svařované ocelové trubky pro tlakové nádoby a zařízení. Technické dodací podmínky. Část 2: Trubky z nelegovaných a legovaných ocelí se zaručenými vlastnostmi při zvýšených teplotách svařované elektricky

ČSN EN 10217-3 Svařované ocelové trubky pro tlakové nádoby a zařízení. Technické dodací podmínky. Část 3: Trubky z legovaných jemnozrnných ocelí

ČSN EN 10217-4 Svařované ocelové trubky pro tlakové nádoby a zařízení. Technické dodací podmínky. Část 4: Trubky z nelegovaných a legovaných ocelí se zaručenými vlastnostmi při nízkých teplotách svařované elektricky

ČSN EN 10217-5 Svařované ocelové trubky pro tlakové nádoby a zařízení. Technické dodací podmínky. Část 5: Trubky z nelegovaných a legovaných ocelí se zaručenými vlastnostmi při zvýšených teplotách svařované pod tavidlem

ČSN EN 10217-6 Svařované ocelové trubky pro tlakové nádoby a zařízení. Technické dodací podmínky. Část 4: Trubky z nelegovaných a legovaných ocelí se zaručenými vlastnostmi při nízkých teplotách svařované pod tavidlem

ČSN EN 10217-7 Svařované ocelové trubky pro tlakové nádoby a zařízení. Technické dodací podmínky. Část 7: Trubky z korozivzdorných ocelí

ČSN EN ISO 3183 Naftový a plynárenský průmysl. Ocelové potrubí pro potrubní přepravní systémy

ČSN EN 12392 Hliník a slitiny hliníku. Tvářené výrobky. Zvláštní požadavky na výrobky určené na výrobu tlakových zařízení.

ČSN EN 1653 Měď a slitiny mědi. Desky, plechy a kotouče pro bojler, tlakové nádoby a zásobníky teplé vody.

ČSN EN 1594 Zásobování plynem – Plynovody s nejvyšším provozním tlakem nad 16 bar – Funkční požadavky

ČSN EN 12732 Zásobování plynem – Svařované ocelové potrubí – Funkční požadavky

ČSN EN 15001-1 (386420) Zásobování plynem. Plynovody s provozním tlakem vyšším než 0,5 bar pro průmyslové využití a plynovody s provozním tlakem vyšším než 5 bar pro

průmyslové a neprůmyslové využití. Část 1: Podrobné funkční požadavky pro projektování,

ČSN EN 15001-2 Zásobování plynem. Plynovody s provozním tlakem vyšším než 0,5 bar pro průmyslové využití a plynovody s provozním tlakem vyšším než 5 bar pro průmyslové a neprůmyslové využití. Část 2: Podrobné funkční požadavky pro uvádění do provozu, provoz a údržbu

ČSN EN ISO 10380 Potrubí. Vlnovcové koncové hadice a montáž hadic

ČSN EN ISO 10806 Potrubí. Koncovky pro vlnovcové kovové hadice

ČSN EN 14585-1 Sestavy vlnovcových koncových hadic na tlaková zařízení. Část 1: Požadavky

ČSN EN 14800 Bezpečnostní vlnovcové sestavy koncových hadic pro vnitřní zařízení používané na plynná paliva

PTN 1002/PTN 939 01 Vlnovcové hadice z korozivzdorné oceli řada WS1xx materiály, stavbu, kontrolu a zkoušení

7.2.3. Německé normy (harmonizované k PED)

AD 2000 Merkblatt

Speciálně pro potrubí platí:

HP100R – Konstrukční pravidla – Kovová potrubí

HP110R – Konstrukční pravidla – Laminátová potrubí s anebo bez vyvločkování

HP120R – Konstrukční pravidla – Potrubí z termoplastu

HP512R – Přezkoušení technické dokumentace potrubí

Řada norem PAS (Publicly Available Specification):

PAS 1057-1 Pipe classes for process plants, Part 1: General principles for creating classes based on EN 13480.

8. Použitá literatura a literatura pro další studium

8.1. Odborná literatura

1. Boyer R., Collings E.W., Welssch G.: Materials property handbook-Titanium Alloys, Titanium Informatium Group
2. Dey A. K.: Types of Stresses in a Piping System, <https://whatispiping.com>, 2020
3. Hájek E. a kol.: Pružnost a pevnost I. díl, Ediční středisko ČVUT, Praha 1984
4. Choudhuryin S.: Titanium Alloys: Applications, Types, Grades, and Examples, <https://whatispiping.com> , 2021
5. Jirků S., Klepš Z., Nožička J.: Tabulky pro mechaniku a strojnictví, Vydavatelství ČVUT, Praha 1993
6. Kolektiv: Guide for ASME Stamps Holders, Use of ASME Section VIII, Division 1 to Meet the EC Pressure Directive (2014/68/EU)
7. Kolektiv: Vlastnosti korozivzdorných ocelí, EuroInox Lucembursko, 2002
8. Kratochvíl B., Švorčík V., Vojtěch D.: Úvod do studia materiálů, 2005
9. Meyers M.A., Chawla K.K.: Mechanical Behavior of Materials, 2nd ed. Cambridge University Press, 2009.
10. Mikula J. a kol.: Potrubí a armatury, SNTL Praha, 1969
11. Mohinder L. N.: Piping Handbook, 7th Edition, McGraw-Hill, New York, 2000
12. Pekař V.: Jak na potrubí? Kniha nejen o pevnostních výpočtech potrubí, I. Vydání, APTI Líbeznice, 2021
13. Podroužek L.: Navrhování, stavba a provoz tepelných sítí I. a II. Díl, SNTL Praha, 1956
14. Podhora J.: Mechanické zkoušky na materiálech výrobků provozovaných za nízkých a vysokých teplot, článek na portálu TLAKinfo, 2008
15. Poradenská příručka č.16. Ocelové materiály pro kotle a tlakové nádoby I, Výběr a vlastnosti ocelí. Technickoeconomický ústav hutního průmyslu, Praha, 1975 .
16. Vojtěch D.: Kovové materiály, VŠCHT Praha, 2006

8.2. Firemní literatura

1. BHR Hochdruck-Rohrleitungsbau GmbH: Custom made bends, Essen, Germany
2. Mannesmann: Nichtrostende und säurebeständige Stähle, 1974
3. American Iron and Steel Institute: Welded Steel Pipe, Design Manual, USA, 2007
4. Spirax Sarco: Rozvod páry, 1997
5. Katalog průmyslových armatur, I.B.C. Praha: 2009
6. Katalog skleněných průmyslových aparatur a potrubí, Merkat,2009
7. Trival: Principy výběru průmyslových armatur, Zpravodaj č.2/2004

8. Katalog výrobků, Macroflex, 2005

8.3. Zajímavé internetové adresy

Adresa stránek	Téma stránek
https://ipotrubí.cz	Plno informací o potrubí pro profesionály
https://www.technicka-zarizeni.cz	O vybraných technických zařízeních
https://www.apti.cz	Asociace poskytovatelů technických informací
https://www.ticr.eu/	Technická inspekce České republiky
https://www.unmz.cz/	Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví
https://www.eperc-aisbl.eu/	Evropská rada pro výzkum TZ
https://voda.tzb.info.cz	Technická zařízení budov, voda/kanalizace
https://vytapani.tzb.info.cz/	Technická zařízení budov, vytápění
https://topin.cz	Topenářství, instalace
https://tlakinfo.com	Informace o tlakových zařízeních
https://whatispiping.com/	O výpočtech potrubí
https://corrosionpedia.com	O korozi
https://corrosionclinic.com	O korozi
https://e-konstrukter.cz/prakticka-informace/chemicka-odolnost-plastu-korozivzdornost	Chemická odolnost plastů, korozivzdornost
https://amtec.de	O přírubách a přírubových spojích
http://www.gasketdata.org	O přírubových těsněních
http://www.tesneni.cz	O přírubových těsněních
https://K2L.cz	O přírubovém spojovacím materiálu
http://seznam.normy.biz/trida.php?trida=13	Seznam platných norem ve třídě 13. potrubí