

Obsah

Úvodní slovo autora	21
Úvodní slovo vydavatele	23
1. Základní vztahy pevnosti potrubí, statika	25
1.1. Použité veličiny a jednotky	25
1.2. Teoretický základ všeobecný	27
1.2.1. Skořepiny	27
1.2.2. Všeobecná rovnice skořepiny	28
1.2.3. Membránový a momentový stav napjatosti	29
1.2.3.1. Membránový stav napjatosti	29
1.2.3.2. Momentový stav napjatosti všeobecně	29
1.2.3.3. Momentový stav napjatosti v místech uložení potrubí	29
1.2.4. Napjatost tenkostěnné rotační skořepiny zatížené vnitřním spojitým zatížením	30
1.2.4.1. Odvození Laplaceovy rovnice	30
1.2.4.2. Membránové síly a napětí pro válcový útvar	31
1.2.4.3. Membránové síly a napětí pro kuželový útvar	33
1.2.4.4. Membránové síly a napětí pro anuloid	34
1.2.4.5. Membránové síly a napětí pro kulový útvar	36
1.2.4.6. Součinitel tlaku pro tvarovky	37
1.2.4.7. Prodlužování přímého potrubí způsobeného vnitřním tlakem – Bourdonův jev ..	37
1.2.5. Tenkostěnné potrubí a základní vzorce	38
1.2.5.1. Vzorce pro výpočet charakteristických hodnot potrubního průřezu	38
1.2.5.2. Vzorce pro výpočet potrubních hodnot, započítáme-li i délku	39
1.2.5.3. Vztah momentu a síly působící na trubku přes způsobené napětí	40
1.2.6. Charakteristické číslo, SIF a poddajnost	40
1.2.6.1. Definice charakteristického čísla a součinitelů	40
1.2.6.2. Příklady použití součinitelů v případě ohybu	40
1.2.6.3. Co je to ASME B31J?	41
1.2.7. Primární a sekundární napětí a redistribuce napětí v průřezu trubky	42
1.2.7.1. Primární a sekundární napětí	42
1.2.7.2. Trvalé deformace a přerozdělování sekundárního napětí ve stěnách přímé trubky	43
1.2.7.3. Trvalé deformace a přerozdělování sekundárního napětí ve stěnách ohybu	45
1.3. Zatížení potrubí	46
1.3.1. Rozdělení zatížení	46
1.3.1.1. Rozdělení zatížení podle provozních podmínek	46
1.3.1.2. Rozdělení zatížení podle kritérií dovoleného namáhání a stability	47
1.3.1.3. Rozdělení zatížení podle času působení	48
1.3.1.4. Živá a mrtvá zatížení	49
1.3.1.5. Rozdělení zatížení podle stochasticity	49
1.3.2. Zatížení trvalá	49
1.3.2.1. Zatížení tlakem, přímé i odvozené zatížení	49
1.3.2.2. Zatížení vlastní hmotností tekutiny, potrubí a izolace a potrubních dílů	50
1.3.3. Zatížení působením teploty	53
1.3.3.1. Roztažnost potrubí	53
1.3.3.2. Stratifikace teploty	53
1.3.3.3. Pohyb hrdel	53
1.3.3.4. Zatížení zápornou teplotou	53

1.3.4.	Příležitostná zatížení	54
1.3.4.1.	Klimatická zatížení	54
1.3.4.2.	Kvazistatická a dynamická zatížení	55
1.3.5.	Zatížení od jednoho neopakujícího se pohybu podpěry	56
1.4.	Tvorba potrubní třídy	56
1.4.1.	Základní vzorce pro tvorbu potrubní třídy	56
1.4.1.1.	Co umožňuje tvorbu potrubní třídy?	56
1.4.1.2.	Potrubní třídy pro zatížení potrubí vnitřním podtlakem	56
1.4.1.3.	Potrubní třídy pro kryogenní kapaliny a chladiva	57
1.4.2.	Systémy značení potrubní třídy	57
1.4.3.	Konstrukce potrubní třídy	57
1.4.3.1.	Základní údaje a složení potrubní třídy	57
1.4.3.2.	Tlakoteplotní tabulka	58
1.4.3.3.	Výpočet tloušťky stěny	58
1.4.4.	Přidavky tloušťky stěny trubky	59
1.4.4.1.	Znázornění a označení přidavků	59
1.4.4.2.	Korozně-erozní přídavek	59
1.4.4.3.	Záporná výrobní tolerance tloušťky stěny trubky	60
1.4.5.	Komponenty potrubní třídy	61
1.4.5.1.	Trubky	61
1.4.5.2.	Tvarovky	63
1.4.5.3.	Příruby	64
1.4.5.4.	Spojovací materiál	65
1.4.5.5.	Těsnění	66
1.4.5.6.	Kompenzátory	67
1.4.5.7.	Tlakové hadice	68
1.4.5.8.	Armatury	69
1.5.	Materiály pro potrubí	72
1.5.1.	Oceli	72
1.5.1.1.	Základní vlastnosti ocelí	72
1.5.1.2.	Nelegované a nízkolegované oceli	73
1.5.1.3.	Oceli pro nízké teploty	73
1.5.1.4.	Jemnozrnné oceli	73
1.5.1.5.	Korozivzdorné oceli	73
1.5.2.	Litiny	74
1.5.2.1.	Základní vlastnosti litin	74
1.5.2.2.	Tvárná litina	75
1.5.3.	Neželezné kovy	75
1.5.3.1.	Hliník a jeho slitiny	75
1.5.3.2.	Měď a její slitiny	75
1.5.3.3.	Titan a jeho slitiny	76
1.5.3.4.	Slitiny žáruvzdorné a žárupevné	78
1.5.4.	Ostatní materiály pro potrubí	79
1.5.4.1.	Sklo	79
1.5.4.2.	Keramika	79
1.5.4.3.	Beton	79
1.6.	Mezní stavy potrubí – rozdělení a uspořádání	80
1.6.1.	Seznam a uspořádání mezních stavů potrubí	80
1.6.2.	Mezní stavy únosnosti	80
1.6.3.	Mezní stavy použitelnosti	80
1.7.	Vyhodnocování napětí a jiných mezních stavů únosnosti pro potrubí z houževnatých materiálů	81
1.7.1.	Které materiály, vhodné pro výrobu potrubí, jsou houževnaté?	81

1.7.2.	Vyhodnocování napětí a pružnostní analýza	81
1.7.2.1.	Hypotéza Tau-max (Max3DShear)	81
1.7.2.2.	Hypotéza HMM (von Mises)	81
1.7.2.3.	Výpočet dovoleného napětí nezávislého na čase	82
1.7.2.4.	Vyhodnocení napětí od trvalých zatížení	83
1.7.2.5.	Vyhodnocení napětí od občasných ev. mimořádných zatížení	84
1.7.2.6.	Vyhodnocení rozkmitu napětí od teplotní dilatace	85
1.7.2.7.	Vyhodnocení napětí od pohybu podpěry	86
1.7.3.	Pevnost závislá na čase	86
1.7.3.1.	Výpočet potrubí s creepem	86
1.7.3.2.	Koroze a eroze a výpočet potrubí s nimi	87
1.7.3.3.	Únavový lom a výpočet potrubí s cyklickým zatížením	88
1.7.3.4.	Křehký lom u houževnatých materiálů a ochrana proti němu	90
1.7.4.	Výpočet zkušebního tlaku pro houževnaté materiály	93
1.8.	Vyhodnocování napětí pro potrubí z křehkých materiálů	93
1.8.1.	Které materiály, vhodné pro potrubí, jsou křehké?	93
1.8.2.	Vyhodnocování napětí a pružnostní analýza	93
1.8.2.1.	Podmínky pevnosti. Rankinova hypotéza	93
1.8.2.2.	Saint-Venantova hypotéza maximálního prodloužení	94
1.8.2.3.	Mohrova hypotéza mezní čáry	94
1.8.2.4.	Modifikovaná Mohrova hypotéza	94
1.8.2.5.	Výpočet dovoleného napětí nezávislého na čase – odvození součinitele bezpečnosti	95
1.8.2.6.	Vyhodnocení osových napětí	97
1.8.2.7.	Vyhodnocení obvodových napětí	98
1.8.3.	Výpočet zkušebního tlaku pro křehké materiály	98
1.9.	Mezní stavy použitelnosti potrubí	98
1.9.1.	Nepřekročení průhybu pro spádování potrubí	98
1.9.1.1.	Spádování	98
1.9.1.2.	Určení vzdálenosti podpěr tak, aby nebyly porušeny definované limity pro spádování	99
1.9.2.	Nepřekročení posuvu způsobeného tepelnou dilatací	100
1.9.2.1.	Základní informace o tepelné dilataci	100
1.9.2.2.	Výčet vlivů tepelné roztažnosti	100
1.9.2.3.	Možnosti výpočtu stratifikace teploty	101
1.9.3.	Vzpěr potrubí a zvlnění potrubí	103
1.9.3.1.	Vzpěr potrubí	103
1.9.3.2.	Zvlnění potrubí	104
1.9.4.	Periodické kmitání potrubí	106
1.9.5.	Stav omezeného poškození při seizmicitě	106
1.10.	Kompenzace délkové roztažnosti	106
1.10.1.	Příčiny nutnosti kompenzace délkové roztažnosti	106
1.10.1.1.	Délková roztažnost potrubí	106
1.10.1.2.	Překročení dovoleného namáhání potrubí, dovoleného posunu a dovoleného zatížení hrdel způsobené délkovou roztažností	107
1.10.2.	Kompenzace přirozeným tvarem potrubí	108
1.10.3.	Kompenzace vložení kompenzátorů tvarem potrubí	108
1.10.3.1.	U-kompenzátory pro kovová potrubí	108
1.10.4.	Použití kompenzátorů vlnovcových, ucpávkových a textilních pro kompenzaci tepelné roztažnosti	108
1.10.4.1.	Použití vlnovcových kompenzátorů	108
1.10.4.2.	Ucpávkové kompenzátory	112
1.10.4.3.	Použití textilních (tkaninových) kompenzátorů	112

1.11.	Související technické normy a legislativa	113
1.11.1.	Související legislativa	113
1.11.2.	Související technické normy	113
1.11.2.1.	Platné původem české technické normy	113
1.11.2.2.	Evropské normy (harmonizované k PED)	113
1.11.2.3.	Německé normy (harmonizované k PED)	115
1.11.2.4.	Eurokódy	116
1.11.2.5.	Normy USA	116
1.11.2.6.	Ruské normy	117
2.	Speciální mezní stavy a výpočty potrubí	119
2.1.	Použité veličiny a jednotky	119
2.2.	Stabilita potrubní stěny	121
2.2.1.	Ztráta stability potrubní stěny - boulení stěny všeobecně	121
2.2.2.	Ztráta stability (boulení) potrubní stěny mezi podpěrami, zatížení osovou silou a ohybovým momentem	122
2.2.3.	Ztráta stability potrubní stěny (boulení) mezi podpěrami. Zatížení podtlakem ..	124
2.2.4.	Kombinace různých druhů zatížení z hlediska stability potrubní stěny mezi podpěrami	125
2.2.5.	Ztráta stability potrubní stěny nad podpěrou	125
2.2.6.	Rozdíl ve stabilitě potrubní stěny u houževnatých a křehkých materiálů	127
2.3.	Únosnost hrdel aparátů a ostatních zařízení	128
2.3.1.	Vznik zatížení hrdel	128
2.3.2.	Přepočet zatížení momentem na zatížení silou	128
2.3.3.	Výpočet únosnosti hrdla pro hrdlo tvořené nátrubkem na prostorově klenuté anebo válcové nádobě	129
2.3.3.1.	Průnik dvou těles – výpočet pomocí WRC 107 a WRC 537	129
2.3.3.2.	Průnik dvou těles – výpočet pomocí WRC 297	130
2.3.3.3.	Průnik dvou válcových těles – výpočet pomocí ČSN EN 13445-3 a BS5500	130
2.3.3.4.	Smaltovaná hrdla aparátů	130
2.3.3.5.	Nekovová hrdla aparátů	131
2.3.4.	Omezení zatížení hrdla technickými normami či jinými ustanoveními	131
2.3.4.1.	Ocelová hrdla deskových výměníků	131
2.3.4.2.	Hrdla ventilů	131
2.3.4.3.	Omezení zatížení hrdel u čerpadel	131
2.3.4.4.	Omezení zatížení hrdel u turbín	131
2.3.4.5.	Ostatní omezení zatížení hrdel	132
2.4.	Výpočet potrubních spojů	132
2.4.1.	Zatížení potrubního spoje	132
2.4.2.	Přepočet zatížení momentem na zatížení silou	132
2.4.2.1.	U přírubového těsnění	132
2.4.2.2.	U přírubových šroubů	133
2.4.3.	Kontrola tlaku na těsnění v přírubovém spoji	134
2.4.4.	Pevnostní výpočet přírubového spoje	134
2.4.4.1.	Všeobecné informace	134
2.4.4.2.	Trojúhelníkový diagram předpjatého spoje	135
2.4.4.3.	Pružinové systémy u přírubových šroubů	136
2.4.4.4.	Výstupy z výpočtu přírubového spoje	136
2.4.5.	Těsnostně-pevnostní výpočet přírubového spoje	136
2.4.5.1.	Těsnostně-pevnostní výpočet přírubového spoje – všeobecné údaje	136
2.4.5.2.	Výpočet přírubového spoje pro dosažení požadované těsnosti	137
2.4.5.3.	Podmínky pro dosažení vysoké těsnosti	137
2.4.5.4.	Principy návrhu těsnostně-pevnostního výpočtu přírubového spoje	138

2.4.5.5.	Vlastnosti těstnostně-pevnostního výpočtu přírubového spoje	138
2.4.5.6.	Výstupy z výpočtu přírubového spoje	139
2.4.6.	Výpočet utahovacího momentu z předepsané osově síly ve šroubu	139
2.4.7.	Potrubí s objímkovými spoji	140
2.4.8.	Výpočet svařovaného spoje	143
2.5.	Výpočet a vyhodnocování napětí v jednotlivých potrubních komponentách	143
2.5.1.	Základní potrubní komponenty	143
2.5.1.1.	Používání výpočtů v plastické oblasti materiálu	144
2.5.1.2.	Ohodnocení bezpečnosti plastického výpočtu	144
2.5.2.	Trubka	146
2.5.2.1.	Napětí v trubce za ohybu	146
2.5.2.2.	Výpočet plastické únosnosti trubky pro obvodové napětí	146
2.5.2.3.	Výpočet žebířů a výztuh potrubí na základě plasticity	147
2.5.2.4.	Výpočet maximálních rozměrů napadení důlkovou korozí	148
2.5.3.	Ohyb	148
2.5.3.1.	Hladký ohyb	148
2.5.3.2.	Segmentový ohyb	151
2.5.4.	Redukce	152
2.5.4.1.	Napětí v kritickém místě	153
2.5.5.	Odbočky, T-kusy	153
2.5.5.1.	Jednotlivé typy provedení T-kusů a odboček	153
2.5.5.2.	Součinitel poddajnosti pro T-kusy	155
2.5.5.3.	Součinitel intenzifikace napětí pro T-kusy	155
2.5.5.4.	Napětí v kritickém místě	155
2.5.6.	Příruba	157
2.5.6.1.	Typy výpočtů přírub	157
2.5.6.2.	Kdy je možno použít normalizované příruby bez výpočtu	157
2.5.6.3.	Součásti a typy přírubového spoje a druhy přírubových spojů	158
2.5.6.5.	Zatížení příruby jako součásti přírubového spoje	158
2.5.6.6.	Princip pružnostního výpočtu	159
2.5.6.7.	Princip plastického výpočtu	160
2.5.7.	Rovinné zaslepení potrubí	163
2.5.7.1.	Princip pružnostního výpočtu	163
2.5.7.2.	Princip plastického výpočtu	164
2.5.8.	Těleso ventilu	165
2.5.9.	Vlnovcový kompenzátor	166
2.5.9.1.	Druhy vlnovcových kompenzátorů	166
2.5.9.2.	Určení kompenzátoru do potrubní větve	167
2.5.9.3.	Pryžové a plastové kompenzátory	167
2.5.9.4.	Výpočet vlnovcového kompenzátoru	167
2.6.	Související technické normy	168
2.6.1.	Související technické normy - seznam na internetu	168
2.6.2.	Evropské normy (harmonizované k PED)	168
2.6.2.1.	Tlaková zařízení	168
2.6.2.2.	Čerpadla a deskové výměníky (omezení zatížení hrdel)	168
2.6.2.3.	Kovová potrubí	168
2.6.2.4.	Německé normy (harmonizované k PED)	169
2.6.2.5.	Normy USA	170
2.6.2.6.	Ruské normy	170
3.	Dynamické výpočty potrubí	171
3.1.	Použité veličiny a jednotky	171

3.2.	Teoretický základ zopakování a doplnění	173
3.2.1.	Základní vztahy pro přímočaré kmitání	173
3.2.2.	Vlastní kmitání hmotného bodu	174
3.2.3.	Kmitání hmotného bodu s harmonickým buzením	177
3.3.	Dynamická zatížení a mezní stavy potrubí	179
3.3.1.	Rozdělení zatížení	179
3.3.1.1.	Rozdělení zatížení podle provozních podmínek	179
3.3.1.2.	Rozdělení zatížení podle kritérií dovoleného namáhání a stability	180
3.3.1.3.	Rozdělení dynamických zatížení	181
3.3.2.	Dynamická zatížení	181
3.3.2.1.	Společné vlastnosti dynamických zatížení	181
3.3.2.2.	Kombinace statických a dynamických zatížení	181
3.3.3.	Mezní stavy potrubí – rozdělení a uspořádání	181
3.3.3.1.	Seznam a uspořádání mezních stavů potrubí	181
3.3.3.2.	Mezní stavy únosnosti	182
3.3.3.3.	Mezní stavy použitelnosti	182
3.3.3.4.	Mezní stav kmitání – detailně	182
3.4.	Dynamika tekutin v potrubí	183
3.4.1.	Základy mechaniky tekutin pro potrubí	183
3.4.2.	Přeměna energie od proudění na tlakovou energii v potrubí	184
3.4.3.	Reakce od proudění tekutiny v redukci a rozšíření	184
3.4.4.	Reakce od proudění tekutiny v ohybu	185
3.4.5.	Sčítání sil od proudění v reálném potrubí	186
3.4.6.	Volný ustálený výtok z potrubí	186
3.4.7.	Zatížení axiální silou od vlnovcového kompenzátoru	186
3.4.7.1.	Zatížení potrubí axiální silou od vlnovcového kompenzátoru	186
3.4.7.2.	Zatížení hrdla aparátu axiální silou od vlnovkového kompenzátoru	187
3.4.8.	Hydraulický ráz	187
3.4.8.1.	Odvození Žukovského rovnice pro přímý hydraulický ráz	187
3.4.8.2.	Hydraulický ráz, základní poznatky z hydrodynamiky	187
3.4.8.3.	Výpočet síly způsobené hydraulickým rázem	189
3.4.8.4.	Výpočet doby působení síly	190
3.4.8.5.	Hydraulický ráz podle výsledků měření	190
3.4.9.	Odpouštění bezpečnostní armatury	190
3.4.9.1.	Výpočet a místo působení síly způsobené odpouštěním bezpečnostní armatury	191
3.4.9.2.	Výpočet doby působení síly	191
3.4.10.	Průtok vícefázové tekutiny (tj. směsi kapaliny a plynu)	191
3.4.11.	Ráz způsobený výbuchem mimo potrubí	192
3.5.	Kvazistatická řešení dynamických zatížení	193
3.5.1.	Zatížení impulzem – kvazistatická řešení	193
3.5.1.1.	Dynamický součinitel zatížení (DLF)	193
3.5.1.2.	Zatížení způsobená impulzem (rázem) - kvazistaticky	194
3.5.2.	Nahodilá zatížení	194
3.5.2.1.	Zatížení větrem - kvazistaticky	194
3.5.2.2.	Zemětřesení – kvazistaticky	194
3.5.3.	Možnosti výpočtu programem pro pevnostní výpočty potrubí	196
3.6.	Modální a harmonická analýza potrubí	196
3.6.1.	Modální analýza	196
3.6.1.1.	Modální analýza soustavy hmotných bodů	196
3.6.1.2.	Výpočet modů	197
3.6.1.3.	Tlumení kmitání potrubí	197
3.6.1.4.	Tlumení třením v kluzných podpěrách	197

3.6.1.5.	Určení maximální velikosti počítané vlastní frekvence	198
3.6.1.6.	Vzorce pro výpočet matice tuhostí potrubí	199
3.6.2.	Harmonická analýza	200
3.6.2.1.	Harmonická analýza kmitání hmotného bodu	200
3.6.2.2.	Harmonická analýza kmitání soustavy hmotných bodů a jejich transformace pro výpočet na počítači	202
3.6.3.	Výpočty budící frekvence a budící síly u potrubí v konkrétních případech	203
3.6.3.1.	Rotační stroje	203
3.6.3.2.	Pístové čerpadlo či kompresor	203
3.6.3.3.	Kmitání vyvolané prouděním tekutiny	204
3.6.3.4.	Budící frekvence od větru	204
3.7.	Spektrální analýza	205
3.7.1.	Spektrální analýza všeobecně	205
3.7.1.1.	Všeobecné přiblížení spektrální analýzy	205
3.7.1.2.	Dynamická odezva konstrukce	206
3.7.1.3.	Teoretické základy spektrální analýzy	206
3.7.1.4.	Určení maximální velikosti a počtu počítaných vlastních frekvencí a korekce nezapočítaných vlastních frekvencí	207
3.7.1.5.	Pravidla pro kombinace odezev modů (<i>Modal Combination Methods</i>)	208
3.7.1.6.	Kombinace dynamických zatížení	211
3.7.1.7.	Která kombinace se má vypočítat dřív (<i>Spatial or Modal Combination First</i>)? ..	211
3.7.2.	Spektrální analýza zatížení impulzem (rázem)	212
3.7.2.1.	Definování impulzu (rázu) a generování zatěžovacího spektra odezvy	212
3.7.2.2.	Definování impulzu v konkrétních případech	213
3.7.3.	Časová posloupnost působení zatížení (<i>Time History</i>)	213
3.7.4.	Seizmická spektrální analýza	214
3.7.4.1.	Všeobecně o zemětřesení	214
3.7.4.2.	Projevy seizmického zatížení	216
3.7.4.3.	Seizmické oblasti	216
3.7.4.4.	Spektrální analýza seismicity	216
3.7.4.5.	Pohyb podpěry potrubí způsobený seismicitou	220
3.8.	Jak postupovat, když dynamický výpočet nevychází?	220
3.8.1.	Všeobecný úvod	220
3.8.2.	Způsob řešení kmitání v pásmu rezonance	221
3.8.2.1.	Řešení kmitání potrubí zásahem do tvaru kmitání (zabráněním kmitání o určité frekvenci)	221
3.8.2.2.	Řešení kmitání potrubí zásahem do tvaru kmitání (zmenšováním amplitudy kmitání čili zatlumením)	221
3.8.2.3.	Řešení kmitání potrubí zásahem do frekvence kmitání (přeladění konkrétních modů)	221
3.8.3.	Řešení kmitání při současné tepelné dilataci	222
3.8.4.	Řešení dynamického zatížení ve speciálních případech	222
3.8.4.1.	Řešení, když potrubí nevyhoví hydraulickému rázu	222
3.8.4.2.	Řešení potrubí v případě seismicity	223
3.8.5.	Připuštění kmitání podmíněné výpočtem vysokocyklové únavy	223
3.9.	Zařízení pro tlumení kmitání potrubí	223
3.9.1.	Tlumiče rázů	223
3.9.1.1.	Hydraulický tlumič rázů	223
3.9.1.2.	Mechanický tlumič rázů	225
3.9.1.3.	Viskoelastický tlumič (damper)	225
3.9.2.	Omezovač kmitání	227
3.9.2.1.	Klasický pružinový omezovač kmitání	227
3.9.2.2.	Antivibrační objímka	228

3.9.2.3.	Mechanický tlumič – absorbér energie	228
3.9.2.4.	Vibroizolační prvky	229
3.10.	Související technické normy	229
4.	Plastová potrubí	231
4.1.	Veličiny, jednotky a jejich označení	231
4.2.	Teoretický základ pro plasty	234
4.2.1.	Základní informace	234
4.2.1.1.	Rozdělení plastů	234
4.2.2.	Struktura plastů	234
4.2.2.1.	Molekulární struktura plastů	234
4.2.2.2.	Nadmolekulární struktura plastů	235
4.2.3.	Společné vlastnosti plastů	236
4.2.3.1.	Základní vlastnosti plastů	236
4.2.3.2.	Termodynamické vlastnosti plastů	237
4.2.3.3.	Mechanické vlastnosti plastů	237
4.2.3.4.	Tepelné vlastnosti plastů	240
4.2.3.5.	Elektrické vlastnosti plastů	240
4.2.3.6.	Chemická odolnost plastů	241
4.2.4.	Viskoelasticita, viskoplasticita	241
4.2.4.1.	Viskoelasticita	241
4.2.4.2.	Primární a sekundární napětí a jejich pohyb v čase	242
4.2.4.3.	Modul viskoelasticity a jeho pohyb v čase	242
4.2.4.4.	Viskoplasticita	244
4.2.5.	Reologické modelování	244
4.2.5.1.	Základní články reologických modelů	244
4.2.5.2.	Kelvin-Voigtův model	245
4.2.5.3.	Maxwellův model	245
4.2.5.4.	Norton-Hoffův model	247
4.3.	Vlastnosti potrubí z plastů	247
4.3.1.	Skořepiny z plastů	247
4.3.2.	Rozměrové řady plastových trubek	248
4.3.3.	Materiály plastových trubek	248
4.3.3.1.	Polyetylén (PE)	248
4.3.3.2.	Polypropylén (PP)	249
4.3.3.3.	Polybutén (PB)	249
4.3.3.4.	Polyvinylchlorid (PVC)	249
4.3.3.5.	Polyvinylidénfluorid (PVDF)	250
4.3.3.6.	Akrylonitrilbutadienstyren (ABS)	250
4.3.3.7.	Perfluoralkoxy-copolymer (PFA)	250
4.3.4.	Technické normy pro získání materiálových vlastností plastů	250
4.4.	Tvorba potrubní třídy pro potrubí z plastů	250
4.4.1.	Co umožňuje tvorbu potrubní třídy pro plastová potrubí?	250
4.4.2.	Systémy značení potrubní třídy	251
4.4.3.	Konstrukce potrubní třídy	251
4.4.3.1.	Základní údaje a složení potrubní třídy	251
4.4.3.2.	Tlakoteplotní tabulka	251
4.4.3.3.	Výpočet tloušťky stěny	252
4.4.4.	Přídavky tloušťky stěny trubky	253
4.4.5.	Komponenty potrubní třídy	253
4.4.5.1.	Trubky, tvarovky	253
4.4.5.2.	Spojování, příruby	253
4.4.5.3.	Spojovací materiál a těsnění	254

4.4.5.4.	Kompenzátory a armatury	254
4.5.	Kompenzace délkové roztažnosti a uložení potrubí z plastů	254
4.5.1.	Příčina nutnosti kompenzace délkové roztažnosti	254
4.5.2.	Klasická kompenzace délkové roztažnosti v kombinaci s klasickým uložením	255
4.5.2.1.	Kompenzační tvary plastů totožné s potrubím z oceli	255
4.5.2.2.	Kompenzační tvary potrubí specifické pro plasty – dilatační smyčky	255
4.5.2.3.	Kompenzace vlnovcovými kompenzátory	255
4.5.2.4.	Uložení klasické	256
4.5.3.	Klasická kompenzace délkové roztažnosti v kombinaci s uložením do korýtek	258
4.5.3.1.	Zásady používání podpěr	258
4.5.3.2.	Maximální možná délka potrubí bez korýtky	258
4.5.3.4.	Příklady použití sestavy podpěr	259
4.5.4.	Klasická kompenzace délkové roztažnosti v kombinaci s plastovým potrubím s korzetem	260
4.5.4.1.	Popis korzetu plastového potrubí	260
4.5.4.2.	Spojování potrubí v korzetu	261
4.5.4.3.	Kompenzování délkové roztažnosti	261
4.5.4.4.	Výpočet plastového potrubí s korzetem	261
4.5.5.	Kompenzace plastových potrubí „pevnou montáží“	264
4.5.5.1.	Kompenzace délkové roztažnosti	264
4.5.5.2.	Zásady používání podpěr a jejich vzdálenosti	265
4.5.5.3.	Příklady použití sestavy podpěr při „pevné montáži“	267
4.6.	Náhrada kovových potrubí za plastové	267
4.6.1.	Seznam nebezpečí při náhradě potrubí za plastové a opatření proti tomuto nebezpečí	267
4.6.1.1.	Omezení tlaku a teploty	267
4.6.1.2.	Nebezpečí vysoké tepelné roztažnosti	267
4.6.1.3.	Nebezpečí stárnutí plastů vlivem UV záření	267
4.6.1.4.	Nebezpečí vzniku elektrostatického náboje v zónách s nebezpečím výbuchu	267
4.6.1.5.	Nebezpečí zabránění boje s požárem	268
4.6.1.6.	Nebezpečí chybného spojení plastových a kovových potrubí	268
4.6.2.	Důvody, proč se i přes uvedená nebezpečí plastová potrubí prosazují	268
4.6.2.1.	Cenová úroveň	268
4.6.2.2.	Chemická odolnost plastových potrubí	268
4.6.2.3.	Schopnost tlumení kmitů a rázů	268
4.6.3.	Některé případy náhrady kovových potrubí plastovými	269
4.6.3.1.	Kanalizační přípojky a stokové sítě	269
4.6.3.2.	Rozvody vody	269
4.6.3.3.	Rozvody zemního plynu	270
4.6.3.4.	Průmyslové aplikace	271
4.6.3.5.	Rozvody vzduchu	271
4.7.	Pružnostní analýza potrubí z viskoelastických materiálů	271
4.7.1.	Které materiály, vhodné pro výrobu potrubí, jsou viskoelastické?	271
4.7.2.	Popis mechanismu porušení plastů	271
4.7.2.1.	Porušení při krátkodobé zkoušce	271
4.7.2.2.	Porušení krípem	272
4.7.3.	Aplikace hypotéz Tau-max (Max3DShear) a HMM (von Mises) na plastová potrubí	272
4.7.4.	Překročení dovolené krátkodobé pevnosti	272
4.7.5.	Překročení dovoleného namáhání plastu, které je závislé na čase	273
4.7.5.1.	Kritéria dovoleného namáhání za působení viskoelastického stavu	273
4.7.5.2.	Pevnost potrubí za určitý čas daný únavovou únosností	273
4.7.6.	Vyhodnocování napětí	274

4.7.7.	Možnosti výpočtu programem pro pevnostní výpočty potrubí	274
4.7.7.1.	Základní informace	274
4.7.7.2.	Vliv viskoelasticity a viskoplasticity	274
4.7.7.3.	Určování koeficientu bezpečnosti	275
4.7.7.4.	Rozdílné a neprobádané jevy u plastů, důležité pro výpočet	276
4.7.7.5.	Způsob výpočtu uložení plastových potrubí do korýtky	276
4.7.8.	Výpočet plastových potrubí podle GOST	276
4.8.	Speciální mezní stavy pro plastová potrubí	277
4.8.1.	Seznam a uspořádání mezních stavů potrubí	277
4.8.1.1.	Mezní stav únosnosti	277
4.8.1.2.	Mezní stav použitelnosti	278
4.8.2.	Speciální mezní stavy únosnosti pro plastová potrubí	278
4.8.2.1.	Stabilita vůči podtlaku, stabilita při ohybu vůči zhroucení tlakové oblasti nad podpěrou i jinde	278
4.8.2.2.	Plastová hrdla aparátů	278
4.8.3.	Speciální mezní stavy použitelnosti pro plastová potrubí	278
4.8.3.1.	Nepřekročení průhybu pro spádování a odvzdušňování potrubí	278
4.8.3.2.	Nepřekročení posuvu způsobeného tepelnou dilatací	278
4.8.3.3.	Vzpěr potrubí z plastů	279
4.8.3.4.	Zvlnění potrubí	279
4.8.4.	Určení zkušebního tlaku pro plastová průmyslová potrubí	280
4.9.	Předizolovaná plastová potrubí	282
4.9.1.	Sdružené potrubí	282
4.9.2.	Suvné potrubí	282
4.9.3.	Možnosti použití předizolovaných potrubí	282
4.10.	Související technické normy	282
5.	Laminátová (GRP) potrubí	285
5.1.	Veličiny, jednotky a jejich označení	285
5.2.	Teoretický základ pro kompozity (lamináty)	287
5.2.1.	Základní informace	287
5.2.2.	Metoda návrhové analýzy	288
5.2.2.1.	Objemový a hmotnostní podíl vláken	288
5.2.2.2.	Metoda maximálního napětí	289
5.2.2.3.	Metoda maximálních deformací	289
5.2.3.	Výpočet napětí a deformace. Klasická laminátová teorie (CLT)	289
5.2.4.	Složení kompozitů	290
5.2.4.1.	Popis a druhy kompozitů	290
5.2.4.2.	Vysvětlení zkratk a názvosloví	291
5.2.4.3.	Vlastnosti použitých materiálů	291
5.2.4.4.	Kompozit UP / jednosměrná skleněná výztuž	291
5.2.4.5.	Kompozit UP/ tkaná skleněná výztuž	292
5.2.5.	Porušení kompozitů	293
5.2.5.1.	Porušení vláken	293
5.2.5.2.	Porušení mezi vlákny	293
5.2.5.3.	Podmínky pevnosti laminátů (Puckova hypotéza)	293
5.3.	Potrubní komponenty z FRP/GRP	293
5.3.1.	Všeobecný úvod	293
5.3.2.	Výpočet potrubních komponent	294
5.3.2.1.	Metoda návrhové analýzy pro trubku	294
5.3.2.2.	Metoda maximálního napětí	294
5.3.2.3.	Metoda maximálních deformací	295

5.3.3.	Výroba potrubních komponent	295
5.3.3.1.	Vrstvení laminátů	296
5.3.4.	Normy pro potrubí z FRP/GRP	296
5.3.4.1.	Potrubní kompozity podle normy EN	296
5.3.4.2.	Potrubní kompozity podle norem DIN	297
5.3.5.	Oprava ocelových potrubí FRP/GRP bandáží	299
5.4.	Tvorba potrubní třídy z GRP/FRP	299
5.4.1.	Všeobecná fakta pro tvorbu potrubní třídy a rozdíly v případě laminátů	299
5.4.2.	Systémy značení potrubní třídy	300
5.4.3.	Konstrukce potrubní třídy	300
5.4.3.1.	Základní údaje a složení potrubní třídy	300
5.4.3.2.	Tlakoteplotní tabulka	300
5.4.3.3.	Výpočet tloušťky stěny	301
5.4.4.	Komponenty potrubní třídy	301
5.5.	Náhrada kovových potrubí za FRP/GRP potrubí	301
5.5.1.	Seznam nebezpečí při náhradě potrubí za plastové a opatření proti tomuto nebezpečí	301
5.5.2.	Důvody, proč se i přes uvedená nebezpečí tato potrubí prosazují	302
5.5.3.	Kompenzace délkové roztažnosti	303
5.5.4.	Některé případy náhrady ocelových potrubí laminátovými	303
5.6.	Pružnostní analýza potrubního systému z FRP/GRP	303
5.6.1.	Mechanismy poškození potrubní z FRP/GRP	303
5.6.1.1.	Porušení vláken	303
5.6.1.2.	Porušení mezi vlákny	304
5.6.1.3.	Poškození při cyklickém zatížení	304
5.6.2.	Výpočet potrubního systému z FRP/GRP – všeobecné zásady	304
5.6.2.1.	Maximální napětí	304
5.6.2.2.	Maximální deformace	305
5.6.3.	Výpočet potrubí z FRP/ GRP podle normy ISO	305
5.6.3.1.	Teorie	305
5.6.3.2.	Vyhodnocení napětí	307
5.6.4.	Výpočet potrubí z FRP/ GRP podle britských norem	308
5.6.5.	Možnosti výpočtu programem pro pevnostní výpočty potrubí	309
5.7.	Související technické normy	309
5.7.1.	Plastová potrubí	309
5.7.2.	Laminátová potrubí	310
6.	Uložení a podpěry potrubí	313
6.1.	Použité veličiny a jednotky	313
6.2.	Výběr vhodného uložení	313
6.2.1.	Všeobecně	313
6.2.2.	Základní vývojový diagram pro umísťování podpěr	314
6.2.3.	Pravidla pro volbu druhu a umístění podpěr a závěsů	314
6.2.3.1.	Všeobecná pravidla	314
6.2.3.2.	Podpěry anebo závěsy	315
6.2.3.3.	Jednoduché anebo dvojité závěsy	315
6.2.3.4.	Zatížení konstrukce od podpěr a závěsů v závislosti na jejich typu	316
6.3.	Určení vzdálenosti podpěr tak, aby nebyly porušeny mezní stavy potrubí	317
6.3.1.	Mezní stavy potrubí mající vliv na vzdálenost podpěr	317
6.3.2.	Dovolené napětí v materiálu potrubí a z něj odvozená vzdálenost podpěr	317
6.3.3.	Maximální vzdálenost podpěr vypočítaná z dovoleného průhybu	318

6.3.4.	Dovolená únosnost podpěr a z ní odvozená vzdálenost podpěr	318
6.4.	Výpočet únosnosti a konstrukce podpěr	318
6.4.1.	Materiál podpěr	318
6.4.2.	Konstrukční teploty a dovolené napětí u podpěr	319
6.4.3.	Zatížení podpěr	319
6.4.4.	Provádění výpočtu	319
6.4.5.	Výpočet tuhosti pružného závěsu či podpěry	320
6.4.6.	O konstantních závěsech	322
6.4.7.	Podpěry při dynamických zatížení potrubí	322
6.5.	Provedení podpěr pro ocelová potrubí	322
6.5.1.	Kotvení	322
6.5.2.	Kluzná tuhá podpěra	323
6.5.3.	Směrová zarážka	324
6.5.4.	Směrová zarážka ve všech směrech	325
6.5.5.	Vedení	326
6.5.6.	Pružná podpěra	326
6.5.7.	Tuhý závěs	327
6.5.8.	Pružný závěs	328
6.5.9.	Konstantní závěs	329
6.5.10.	Tlumič rázů	329
6.5.11.	Provedení uložení se vzpěrnými tyčemi	330
6.5.12.	Uložení speciálně pro potrubí pro kryogeny a chladiwa	331
6.5.13.	Uložení duktů	331
6.5.14.	Staré neplatné oborové normy pro potrubní podpěry	332
6.6.	Podpěry pro plastová potrubí	334
6.6.1.	Upravené uložení klasické	334
6.6.1.1.	Důvody nutnosti úpravy uložení	334
6.6.1.2.	Některé klasické podpěry či závěsy ve verzi pro plastová potrubí	334
6.6.2.	Uložení do korýtek	336
6.6.3.	Uložení plastových potrubí s využitím korzetu	337
6.6.3.1.	Popis uložení plastových potrubí s korzetem	337
6.6.4.	Uložení plastových potrubí při „pevné montáži“	339
6.7.	Podpěry pro laminátová potrubí	339
6.8.	Související technické normy a legislativa	339
6.8.1.	Související legislativa	339
6.8.2.	Evropské normy (harmonizované k PED)	340
7.	Potrubí v zemi	341
7.1.	Veličiny a jednotky všeobecné	341
7.2.	Základy mechaniky zemin	343
7.2.1.	Klasifikace zemin ve stavebnictví	343
7.2.2.	Charakteristické vlastnosti zemin	346
7.2.3.	Hodnoty charakteristických vlastností zemin	347
7.2.4.	Napjatost, deformace, pevnost a tlak zeminy	347
7.2.5.	Stlačitelnost a zhutňování zeminy	347
7.2.6.	Základní druhy působení zeminy na potrubí	349
7.2.6.1.	Druhy výkopu	349
7.2.6.2.	Působení nadloží (zásypu) na potrubí	349
7.2.6.3.	Působení podloží na potrubí	349
7.3.	Zatížení uložení potrubí v zemi	349
7.3.1.	Zatížení hmotností nadloží (zásypu) a zatížení povrchu terénu	349
7.3.1.1.	Zatížení svislým zatížením od hmotnosti nadloží (násypu)	349

7.3.1.2.	Zatížení vodorovným tlakem zeminy způsobeným svislými zatíženími při širokém výkopu	351
7.3.1.3.	Zatížení povrchu terénu – statická i dynamická	353
7.3.1.4.	Roznášení zatížení povrchu terénu konstrukcí komunikace	354
7.3.1.5.	Shrnutí zatížení působením zeminy násypu v příčném směru trubky	354
7.3.2.	Zatížení potrubí v jeho podélné ose	355
7.3.3.	Zatížení potrubí pohyby podloží	356
7.3.3.1.	Pokles podloží pružností zeminy	356
7.3.3.2.	Poddolované podloží	356
7.3.3.3.	Podloží s nedokončeným konsolidačním sedáním	356
7.3.3.4.	Podemleté podloží vodou – nepředpokládané přetvoření zeminy	357
7.3.3.5.	Podloží tvořené zeminou satureovanou vodou	357
7.3.4.	Zatížení potrubí vnitřním tlakem či podtlakem	357
7.3.5.	Uložení potrubí přímo na zemi (na terénu)	358
7.4.	Tvorba potrubní třídy pro potrubí v zemi	358
7.4.1.	Co umožňuje tvorbu potrubní třídy?	358
7.4.2.	Potrubí zatížené nadloží	358
7.4.3.	Omezení tloušťky stěny příčnou deformací či tuhostí	359
7.5.	Mezní stavy potrubí – rozdělení a uspořádání	359
7.5.1.	Druhy mezních stavů	359
7.5.2.	Mezní stavy únosnosti	359
7.5.2.1.	Určení dovoleného napětí či součinitele bezpečnosti konstrukce	359
7.5.2.2.	Napětí v potrubí způsobené působením hmotností nadloží (zásypu)	360
7.5.2.3.	Překročení dovoleného napětí způsobeného pohyby podloží	362
7.5.2.4.	Napětí způsobené roztažností potrubí v podélné ose	363
7.5.2.5.	Ztráta stability potrubní stěny	364
7.5.2.6.	Odolnost potrubní stěny plasticitou po ztrátě stability	364
7.5.3.	Mezní stavy použitelnosti	364
7.5.3.1.	Uvažované mezní stavy	364
7.5.3.2.	Výpočet příčných deformací průřezu	364
7.5.3.3.	Příčné deformace způsobené vzpěrem až k vychýlení nad zeminu	366
7.6.	Plastová a laminátová potrubí v zemi – mezní stavy	367
7.6.1.	Vlastnosti plastů a laminátů a potrubí z laminátů a plastů	367
7.6.2.	Mezní stavy únosnosti	367
7.6.2.1.	Určení dovoleného napětí či koeficientu bezpečnosti konstrukce	367
7.6.2.2.	Překročení dovoleného napětí či koeficientu bezpečnosti způsobené hmotností nadloží (zásypu)	367
7.6.2.3.	Vliv na ostatní mezní stavy, způsobené materiálovými veličinami	368
7.6.3.	Mezní stavy použitelnosti	369
7.7.	Výpočtový model potrubí v zemině a výpočet pomocí specializovaného programu pro potrubí	369
7.7.1.	Výpočtový model potrubí v zemině	369
7.7.2.	Výpočet tuhostí a mezních zatížení pro program pro pevnostní výpočty potrubí	370
7.7.2.1.	Základní podmínky podle L.C.Penga a možnost přímého zadání zatížení	370
7.7.2.2.	Výpočet tuhostí a mezních zatížení působících na potrubí v zemi	371
7.8.	Předizolovaná, bezkanálová potrubí v zemi	372
7.8.1.	Sdružené potrubí	372
7.8.1.1.	Konstrukce sdruženého potrubí	372
7.8.1.2.	Složení sdruženého potrubí: ocelová vnitřní trubka, PUR a plastová vnější trubka	374
7.8.1.3.	Složení sdruženého potrubí: plastová vnitřní trubka,	374

7.8.2.	PUR a plastová vnější trubka	376
7.8.2.	Suvné potrubí	377
7.8.2.1.	Konstrukce suvného potrubí	377
7.8.2.2.	Kompenzace tepelných dilatací	377
7.8.2.3.	Použití programů pro pevnostní výpočty potrubí	377
7.8.3.	Vakuované potrubí	378
7.8.3.1.	Konstrukce vakuovaného potrubí	378
7.8.3.2.	Kompenzace tepelných dilatací	378
7.8.3.3.	Použití programů pro pevnostní výpočty potrubí	379
7.9.	Související technické normy	379
8.	Pevnostní výpočty potrubí počítačem	381
8.1.	Metoda konečných prvků a její využívání pro potrubní systémy	381
8.1.1.	Metoda konečných prvků	381
8.1.1.1.	Úvodní poznámky	381
8.1.1.2.	Podstata řešení	381
8.1.1.3.	Další postup	382
8.1.1.4.	Iterační kroky a kritéria konvergence	382
8.1.2.	Zjednodušení metody konečných prvků pro potrubní systémy	383
8.1.2.1.	Aplikace metody konečných prvků pro potrubní systémy	383
8.1.2.2.	Kritérium konvergence	383
8.1.2.3.	Okrajové podmínky	383
8.2.	Obvyklá základní struktura výpočetního programu pro pevnostní výpočet potrubí	384
8.2.1.	Preprocesor	384
8.2.2.	Solver	384
8.2.3.	Postprocesor	384
8.3.	Možnosti rozšíření základní struktury výpočetního programu	385
8.3.1.	Společné vlastnosti těchto možností rozšíření	385
8.3.2.	Dynamické výpočty	385
8.3.2.1.	Možnosti výpočtu programem pro pevnostní výpočty potrubí	385
8.3.2.2.	Spolupráce s programy pro hydrodynamický výpočet	386
8.3.2.3.	Dynamický postprocesor	386
8.3.3.	Laminátová (FRP) potrubí	386
8.3.3.1.	Možnosti výpočtu programem pro pevnostní výpočty potrubí	386
8.3.3.2.	Výpočet potrubního systému z FRP/GRP – všeobecné zásady	386
8.3.4.	Potrubí z plastů	387
8.3.5.	Potrubí v zemi	387
8.3.5.1.	Základní podmínky výpočtu	387
8.3.5.2.	Výpočtový model potrubí v zemině	387
8.3.6.	Výpočet maximální velikosti plošné koroze/eroze při provozu	387
8.4.	Přídavné výpočtové moduly, které mohou základní strukturu programu doplňovat	388
8.4.1.	Společné vlastnosti těchto modulů	388
8.4.2.	Modul pro výpočet přírubového spoje	388
8.4.3.	Modul pro výpočet anebo výběr podpěr a tuhých závěsů	389
8.4.4.	Modul pro výpočet ocelové konstrukce pod podpěrami	389
8.4.5.	Modul pro detailní výpočty složitých potrubních prvků metodou FEA	389
8.4.6.	Modul pro výpočty FFS metodou FEA	390
8.5.	Hodnocení výpočetních programů pro pevnostní výpočty potrubí a jejich výčet	390
8.5.1.	Druhy výpočetních programů potrubí	390

8.5.1.1.	Výčet nejznámějších programů počítající potrubní systém jako celek	390
8.5.1.2.	Výčet programů počítající jednotlivé části potrubí	391
8.5.1.3.	Výčet programů počítající potrubní přírubový spoj	392
8.5.2.	Kritéria pro hodnocení programů	392
8.6.	Zadávání všeobecných dat do programu	394
8.6.1.	Určení kódu či normy výpočtu	394
8.6.2.	Výpočtové databáze	394
8.6.3.	Zásady číslování uzlů (nodes)	394
8.7.	Související technické normy včetně norem, které je nutno zadávat ve výpočtovém programu	394
9.	A něco jde i bez počítače: Zjednodušená výpočtová analýza potrubí – nosníková metoda	397
9.1.	Použité veličiny a jednotky	397
9.2.	Zjednodušení používání nosníkové metody	398
9.3	Veličiny, které se získávají pomocí této metody	398
9.3.1.	Zatížení a vnitřní síly a momenty	398
9.3.2.	Osová napětí	398
9.3.3.	Průhyby a deformace	399
9.3.4.	Zatížení podpěr	399
9.4.	Příklady používání zjednodušené výpočtové analýzy	400
9.4.1.	Potrubí zatížená vlastní hmotností	400
9.4.1.1.	Rovné dlouhé potrubí	400
9.4.1.2.	Jednoduchý vetknutý nosník	400
9.4.1.3.	Výpočet vzdálenosti podpěr	401
9.4.2.	Potrubí zatížená tepelnou expanzí	402
9.4.2.1.	Rovné dlouhé potrubí	402
9.4.2.2.	Jednoduchý vetknutý nosník	403
9.4.2.3.	Výpočet kompenzace pro přirozený tvar potrubí	403
9.4.2.4.	Výpočet vyložení U-kompenzátoru	404
9.4.3.	Potrubí zatížené pohybem podpěry	404
9.4.3.1.	Prostý pohyb podpěry bez započítání vlastní hmotnosti potrubí	404
9.4.3.2.	Pokles potrubí volně položené (např. pomocí kluzné podpěry) na konstrukci směrem dolů	405
9.4.3.3.	Pohyb podpěry potrubí pevně spojené s konstrukcí (např. pevným bodem)	406
10.	Speciální potrubní díly a potrubí	407
10.1.	O tomto dílu	407
10.2.	Návrh některých potrubních komponent a konstrukčních uzlů	407
10.2.1.	Hladké ohyby ohnuté	407
10.2.2.	Segmentové ohyby	407
10.2.3.	Svařované T-kusy a tvarovky	411
10.2.4.	Zdvojené (Duplikové) ocelové potrubí	412
10.2.5.	Zdvojená plastová potrubí	414
10.3.	Řešení některých problémů při konstrukci potrubí	415
10.3.1.	Zásady kreslení izometrií v této kapitole	415
10.3.2.	Řešení požadavků tepelné kompenzace	417
10.3.2.1.	O nutnosti kompenzace délkové roztažnosti	417
10.3.2.2.	Tepelná kompenzace vodorovného potrubí svým tvarem	417
10.3.2.3.	Tepelná kompenzace svislého potrubí svým tvarem	418
10.3.2.4.	Tepelná kompenzace kompenzátory vlnovcovými axiálními	419
10.3.2.5.	Tepelná kompenzace kompenzátory vlnovcovými angulárními	420

10.3.2.6.	Kompenzace potrubí u T-kusů	420
10.3.2.7.	Kompenzace potrubí u bypassů	420
10.3.2.8.	Kompenzace potrubí u rozvaděče	421
10.3.2.9.	Kompenzace potrubí u ventilů	422
10.3.2.10.	Odchyly v tepelné kompenzaci u potrubí z plastů	422
10.3.2.11.	Příklady špatného řešení potrubí z hlediska zabránění kompenzace tepelné roztažnosti	424
10.3.3.	Konstrukce potrubí u hrdel zařízení s omezeným zatížením	425
10.3.3.1.	Omezení zatížení hrdel výrobcem zařízení či aparátu	425
10.3.3.2.	Omezení zatížení hrdel technickými normami	426
10.3.3.3.	Konstrukce potrubí u hrdel vodorovných	428
10.3.3.4.	Konstrukce potrubí u hrdel svislých horních	430
10.3.3.5.	Konstrukce potrubí u hrdel svislých spodních	431
10.3.3.6.	Příklady špatného řešení potrubí z hlediska přetížení hrdel	432
10.3.4.	Konstrukce a výpočet potrubí ve skidech	433
10.3.4.1.	Všeobecně o skidech	433
10.3.4.2.	Napojení skidu na ostatní zařízení v technologickém celku	433
10.3.4.3.	Uložení potrubí na skidu před napojovací přírubou	434
10.4.	Návrh potrubí pro speciální podmínky	436
10.4.1.	Potrubí při dynamickém zatěžování	436
10.4.1.1.	Odstranění kmitání potrubí	436
10.4.1.2.	Potrubí v případě existence hydraulického rázu	437
10.4.1.3.	Uložení potrubí pro případ zemětřesení	438
10.4.2.	Potrubí pro tekutiny o nízkých a velmi nízkých teplotách	439
10.4.2.1.	Základní rozdělení	439
10.4.2.2.	Vlastnosti tekutin	439
10.4.2.3.	Vlastnosti potrubních materiálů	439
10.4.2.4.	Izolace před únikem chladu	441
10.4.2.5.	Podpěry kryogenního potrubí	441
10.4.2.6.	Armatury kryogenního potrubí	442
10.4.2.7.	Výpočet potrubí pro tekutiny mající nízké a velmi nízké teploty	442
10.4.3.	Konstrukce potrubí při jeho ukládání na nezkonsolidovaném či nestabilním podloží	443
10.4.3.1.	Výhody a nevýhody povrchového a podzemního potrubí v případě nestabilního podloží	443
10.4.3.2.	Řešení povrchového potrubí na nestabilním podloží	444
10.4.3.3.	Řešení podzemního potrubí na nestabilním podloží	444
10.4.4.	Konstrukce potrubí při překonávání vodních toků či nádrží po dně	445
10.4.4.1.	Určení tvaru potrubí tak, aby byla vyvolána minimální napětí	445
10.4.4.2.	Určení sil působících na potrubí	445
10.4.4.3.	Výpočet velikosti závaží a bezpečnosti proti vyplavení	445
10.4.5.	Potrubí pro jaderné elektrárny	445
10.4.5.1.	Rozdělení potrubí do bezpečnostních tříd	445
10.4.5.2.	Normy pro výpočet potrubí	446
10.4.5.3.	Průkazná dokumentace	447
10.5.	Návrh potrubí pro nebezpečné tekutiny	448
10.5.1.	Potrubí pro vodík v plynném stavu	448
10.5.1.1.	Vlastnosti vodíku a působení vodíku na potrubí	448
10.5.1.2.	Zásady pro konstrukci a výpočet vodíkového potrubí	450
10.5.1.3.	Zásady pro provozování vodíkovodu	452
10.5.2.	Potrubí pro kapalný a plynný chlor	453
10.5.2.1.	Vlastnosti chloru a působení chloru na potrubí	453
10.5.2.2.	Zásady pro konstrukci a výpočet potrubí pro chlor	453

10.6.	Související technické normy a legislativa	454
10.6.1.	Související legislativa	454
10.6.2.	Související technické normy	454
10.6.3.	Potrubí pro chlor	454
10.6.4.	Potrubí v jaderných elektrárnách	455
11.	Použitá literatura a literatura pro další studium	457
11.1.	Odborná literatura k jednotlivým kapitolám	457
11.2.	Firemní literatura	463
11.3.	Zajímavé internetové adresy	464

Bývalá kapitola 4. Plastová a laminátová potrubí byla rozdělena na kapitolu 4. Plastová potrubí a kapitolu 5. Laminátová potrubí. Kapitoly 9. a 10. tedy bývalé 8. a 9., byly prozřítelné a přejmenovány výstižnějším pojmenováním.

Je to příručka pro výpočtáře potrubí, kteří v současné době pracují s výpočtovým programem a potřebují vědět, jak zadávat zatížení, jak vyhodnocovat výsledky a posoudit, zda jsou výsledky reálné, správné si je vysvětlit. Naučí se též, jak vypočítat a určit některá základní data a informace o potrubí bez výpočtového programu a v případě, že výpočtový program některý mezní stav nepočítá, jak tento stav vyhodnotit popřípadě dopočítat.

Je to též vhodný nástroj pro projektanty potrubí, aby věděli, v kterých případech se na výpočtáře obracet. Je to také pomůcka pro provozovatele potrubních systémů, aby dokázali správně posoudit riziko při provozu potrubí. Mohou to brát jako pomůcku i pracovníci notifikovaných osob a jiných inspekčních orgánů. Své si zde však najdou i technici a inženýři zabývající se provozem, revizemi a inspekcí potrubí.

Václav Pekář
Václav Pekář
autor