

OBSAH

Předmluva	9
Předslov	10
Přehled použitých značek veličin	11
1. Vývoj poznání poškozování vysokotlakých plynovodů v ČR	14
1.1. Úvodní slovo	14
1.2. K haváriím vysokotlakých plynovodů	18
SPOLEHLIVOST VYSOKOTLAKÝCH PLYNOVODŮ PŘI MODERNIZACI ENERGETIKY	20
2. Vysokotlaká soustava pro rozvod zemního plynu	20
3. Základní hlediska a kritéria mezních stavů pevnosti a životnosti plynovodů	28
3.1. Význam deformačního kritéria	37
3.2. Vliv velikosti a defektů těles	40
3.3. Vliv účinků vnějšího agresivního prostředí (vliv koroze)	45
3.3.1. Plošná koroze stěn	45
3.3.2. Účinky koroze pod napětím	49
4. Vlastnosti ocelí rozvodné soustavy plynovodní sítě a vlivy technologie	57
4.1. Požadavky kladené na potrubní oceli plynovodů	57
4.1.1. Standardní požadavky v technických podmínkách	57
4.1.2. Základní mechanické vlastnosti	58
4.1.3. Lomově mechanické vlastnosti	61
4.1.4. Rázové zkoušky na velkých tělesech	62
4.1.5. Chemické složení a uhlíkový ekvivalent C_e	63
4.2. Oceli pro plynovody	64
4.2.1. Plynovody s provozním tlakem do 4 MPa	65
4.2.2. Magistralní a tranzitní plynovody	67
4.3. Technologie výroby trub	69
4.3.1. Trubky bezešvé, válcované za tepla	69
4.3.2. Trubky svařované s podélnými a se šroubovicovými svary	70
4.3.3. Obvodové montážní svary	71
5. Vady plynovodních potrubí	72
5.1. Typy vad	72
5.1.1. Vady geometrické	72
5.1.2. Lokální vady typu trhlin	73
5.1.3. Vady materiálové	73
5.1.4. Defekty vyvolané vlastním provozem	74

5.2. Vliv technologických a provozních podmínek na charakter defektů ve stěně potrubí	74
5.2.1. Výrobní vlivy	75
5.2.2. Vlivy technologie montáže	77
5.2.3. Provozní vlivy	78
5.3. Statistika výskytu vad	81
ANALÝZA NAPĚTÍ A DEFORMACÍ PLYNOVODNÍCH POTRUBÍ	86
6. Základní poznatky o deformačních podmínkách potrubí plynovodů	86
7. Experimentální analýza deformačních procesů ve stěně potrubí	90
7.1. Pevnostní zkoušky potrubí s defekty	91
7.2. Tenzometrická měření deformačních procesů korozních důlků	94
7.2.1. Vyhodnocení tenzometrických měření chování důlků a plošných vad	99
7.3. Měření přetvoření korozních důlků metodou reflexní fotoelasticimetrie	100
7.3.1. Vyhodnocení fotoelasticimetrických měření	100
7.4. Svarové spoje, zbytková technologická napětí a zářezy	102
8. Vliv geometrických imperfekcí na napjatost ve stěně potrubí	106
8.1. Nekruhovitost (ovalita) průřezu	106
8.1.1. Klasické lineární řešení prstence jako uzavřeného rámu	107
8.1.2. Řešení metodou konečných prvků	108
8.1.3. Geometricky i materiálově lineární řešení	108
8.1.4. Geometricky lineární a materiálově nelineární řešení	109
8.1.5. Geometricky a materiálově nelineární řešení	109
8.2. Studie chování korozních důlků	111
8.3. Vliv svaru na napětí ve stěně trubky	118
8.3.1. Výpočet podle teorie pružnosti	119
8.3.2. Pružnoplastické řešení úlohy	121
DEFEKTY A JEJICH ROZVOJ V POTRUBÍ	123
9. Hodnocení vlivu defektů ve stěně potrubí	123
9.1. Stručný přehled lomové mechanických přístupů	123
9.1.1. Křehký lom	124
9.1.2. Tvárný lom	125
9.2. Inženýrské metody určení J integrálu	128
9.2.1. Metoda J _I	128
9.2.2. Metoda GS	129
9.3. Aplikace lomové mechanických přístupů na potrubí	129

9.3.1. Faktor intenzity napětí pro podélnou průchozí trhlinu ve stěně trubky	130
9.3.2. Faktor intenzity napětí pro podélnou neprůchozí trhlinu	132
9.3.3. Faktor intenzity napětí pro obvodové trhliny	133
9.3.4. Posouzení šikmých trhlin	136
9.3.5. Odhady J integrálu	138
9.4. Ztráta plastické stability ligamentu	139
10. Experimentální ověřování lomových podmínek plynovodních potrubí	142
10.1. Zkoušky na laboratorních vzorcích	142
10.1.1. Vyšetřování mechanických a lomově mechanických vlastností materiálu trub plynovodu	142
10.1.2. Měření kinetiky růstu únavových trhlin	144
10.1.3. Určení R křivky	145
10.1.4. Bod nestability trhliny a kritická hodnota J integrálu	147
10.2. Zkoušky na trubním tělese	148
10.2.1. Výroba startovacích zářezů na trubním tělese	148
10.2.2. Cyklování trhlin	151
10.2.3. Lomové zkoušky	152
10.3. Hodnocení výsledků zkoušek podle lomových kritérií	153
11. Zajištění odolnosti plynovodních potrubí proti lomu	160
11.1. Kritérium iniciace lomu	161
11.2. Kritérium „Leak before break“ (LBB)	162
11.3. Kritérium zastavení běžícího lomu	166
HODNOCENÍ TECHNICKÉHO STAVU PLYNOVODŮ	171
12. Vnitřní inspekce a opravy zjištěných defektů	171
12.1. Podmínky vnitřní inspekce	171
12.2. Uspořádání technologických částí inspekčního zařízení	172
12.3. Metody detekce vad inspekčním zařízením	172
12.3.1. Metody mechanické, dotykové	172
12.3.2. Metoda rozptylu magnetického pole	172
12.3.3. Metoda vířivých proudů	173
12.3.4. Ultrazvukové metody	173
12.4. Metodika vnitřní inspekce	174
12.5. Opravy vad identifikovaných vnitřní inspekcí	175
12.5.1. Lokalizace defektu	175
12.5.2. Porovnání výsledků vnitřní inspekce se skutečným charakterem vad	176
13. Rehabilitace potrubí přetížením	180
13.1. Analýza vlivu přetížení na odolnost oceli vůči porušení	180
13.2. Určení optimálního přetlaku	182

13.3. Vliv přetížení na odolnost proti šíření trhliny	185
13.3.1. Korozně napěťové trhliny	185
13.3.2. Svary se studenými spoji	186
14. Realizace tlakové reparační na reálném potrubí	189
14.1. Základní operace při komplexní rehabilitaci plynovodů	189
14.1.1. Posouzení korozní situace potrubí a vyhledání míst s poškozenou izolací	190
14.1.2. Výřez vzorku potrubí v místě s nejhorším stavem protikorozní ochrany	190
14.1.3. Statické a cyklické zkoušky na vyjmuté části provozovaného potrubí	191
14.2. Příprava a provedení vlastní tlakové reparační	193
14.2.1. Příprava úseku plynovodu k rehabilitaci	193
14.2.2. Čištění vnitřního povrchu potrubí	194
14.2.3. Plnění potrubí vodou	194
14.2.4. Vlastní tlaková reparační	197
14.2.5. Vytěsnění vody z úseku po tlakové reparační a sušení plynovodu	199
HLAVNÍ ZÁVĚRY PRO PRAKTI	200
15. Shrnutí zkušeností a závěry	200
15.1. Volba oceli pro dané provozní podmínky a výrobu	201
15.2. Výpočet tloušťky stěny těles	202
15.3. Povaha a vliv geometrických nedokonalostí stěn	204
15.3.1. Vliv ovality průřezu	205
15.3.2. Svarové spoje	205
15.3.3. Plošné oslabení tloušťky stěny vyvolané korozi	206
15.4. Porušování vysokotlakých plynovodů korozi pod napětím	207
15.5. Vliv trhlin a kritéria odolnosti plynovodních potrubí proti katastrofickým lomům	208
15.6. Zvýšení provozní spolehlivosti dlouhodobě provozovaných plynovodů tlakovou rehabilitací	210
Literatura	213