

iPříručka:



Provoz a údržba potrubí s využitím analýzy rizik

© Václav Pekař, 2025

iPotrubí.cz, Vysoké Mýto, 2025

Úvod

Tato e-kniha je kniha o řízení rizika a nebezpečí při provozu potrubí. Potrubí je obvykle určeno k dopravě kapalin, plynů a různých sypkých materiálů (případně jejich vzájemné směsi). Potrubím je však možné přepravovat i drobné předměty (například i poštu - potrubní pošta, nebo seno či slámu v zemědělském fukaru apod.).

Kniha se v první kapitole nejprve zabývá teorií řízení a vypořádání rizika a vysvětluje některé pojmy z této oblasti. V druhé kapitole se kniha zabývá řízením rizik v etapách, které existují před vlastním provozem, tj. především návrh a výroba. Třetí kapitola je o řízení rizik v provozu za přispění technické inspekce a provozovatele. Další, čtvrtá kapitola se zabývá pravděpodobnostním přístupem k uvedené problematice. V další páté kapitole je postup a další údaje, jak identifikovat jednotlivá nebezpečí při provozu potrubí. V šesté kapitole se dovíme o postupech k vypořádání nebezpečí po jejich zjištění. A na závěr jsou uvedeny literární zdroje, které byly použity k sestavení této příručky

Tato kniha je vhodný nástroj pro provozní pracovníky a pracovníky údržby potrubí, aby věděli jak přispět ke snížení rizika pohromy při provozu potrubí.

Václav Pekař - autor

Obsah:

ÚVOD	2
1. ŘÍZENÍ RIZIK TECHNICKÉHO DÍLA	10
<i>1.1. Základní systém pro řízení a vypořádání rizika</i>	<i>10</i>
1.1.1. Všeobecně	10
1.1.2. Nebezpečí	10
1.1.3. Ohrožení	11
1.1.4. Riziko	11
1.1.5. Řízení rizika	11
1.1.6. Vypořádání rizika	11
1.1.7. Ochrana do hloubky	11
<i>1.2. Rizika ve fázi návrhu technického díla (risk based design)</i>	<i>12</i>
1.2.1. Bezpečné technické řešení technického díla	12
1.2.2. Analýza rizik technického díla ve fázi návrhu	12
1.2.2.1. Základní typ analýzy rizik	12
1.2.2.2. Studie nebezpečí a provozuschopnosti (HAZOP).	13
1.2.2.3. FMECA (Failure modes, effects, and criticality analysis)	14
1.2.3. Inherentní bezpečnost	17
1.2.4. Pasivní bezpečnost	17
1.2.5. Aktivní bezpečnost	17
1.2.6. Inženýrství odolnosti	17
<i>1.3. Technická inspekce v provozu na bázi analýzy rizik (risk based inspection)</i>	<i>18</i>
1.3.1. Základní pojmy	18
1.3.2. Analýza rizik provozu potrubí	19
1.3.3. Minimalizace rizik provozovatelem zařízení	20
1.3.4. Meze potenciálních důsledků pohromy	21
1.3.4.1. Všeobecné zásady	21
1.3.4.2. Podle legislativy	22
1.3.4.3. Podle norem	22
1.3.5. Výhody a nevýhody metody RBI	23
2. ŘÍZENÍ RIZIK VE FÁZI NÁVRHU A VÝROBY POTRUBÍ	24
<i>2.1. Typy základních ohrožení u potrubí</i>	<i>24</i>
2.1.1. Výbuch v souvislosti s požárem.	24
2.1.2. Únik tekutiny	24
2.1.3. Následná odvození	24
<i>2.2. Možnosti vypořádání některých nebezpečí závislých na vlastnostech konstrukce, materiálu a hydraulických jevech ve fázi návrhu potrubí</i>	<i>24</i>

2.2.1. Volba vhodných materiálů	24
2.2.1.1. Volba vhodných materiálů z důvodů vyhovující pevnosti potrubí	24
2.2.1.2. Volba vhodných materiálů z důvodů odstranění křehkého lomu	25
2.2.1.3. Volba vhodných materiálů z důvodů chemické odolnosti	27
2.2.2. Volba vhodné konstrukce pro vyřešení nebezpečí vyplývajících z mezních stavů použitelnosti	28
2.2.3. Volba vhodné konstrukce využíváním systémů aktivní bezpečnosti	28
2.2.3.1. Pojišťovací ventil a průtržná membrána	28
2.2.3.2. Jiné systémy aktivní bezpečnosti na mechanickém základu	28
2.2.3.3. Elektronické systémy	28
2.2.3.4. Zdvojené (duplikované) potrubí	29
2.2.4. Příklad vhodné konstrukce pro vypořádání rizika inherentní bezpečností	29
2.2.5. Volba vhodné konstrukce pro vypořádání nebezpečí závislých na hydraulických jevech	29
2.2.5.1. Pulzace tekutiny	29
2.2.5.2. Rázy a impakty	29
2.2.6. Volba vhodné konstrukce dodržením norem a správné inženýrské praxe.	30
2.3. Řízení nebezpečí závislých na vlastnostech materiálu potrubí ve fázi návrhu.....	30
2.3.1. Stanovená životnost.....	30
2.3.2. Porušení pevnosti potrubí při korozi/erozi	31
2.3.3. Porušení únavové únosnosti	31
2.3.3.1. Zjišťování únavové únosnosti – všeobecná část	31
2.3.3.2. Zjišťování únavové únosnosti – nízkocyklová únava	32
2.3.3.3. Zjišťování únavové únosnosti – vysokocyklová únava.....	33
2.3.4. Překročení dovolené creepové deformace	34
2.3.5. Porušení těsnosti přírubového spoje	34
2.3.6. Porušení potrubí v zemi od zatížení nadloží, dopravou a vodorovnými tlaky zeminy	35
2.3.7. Porušení potrubí v zemi od pohybu podloží	36
2.3.8. Porušení funkce plastových potrubí	37
2.3.8.1. Principy návrhu a výpočtu plastových potrubí	37
2.3.8.2. Seznam nebezpečí, které je třeba odstranit při návrhu plastových potrubí	38
2.3.9. Porušení potrubí vibracemi	39
2.3.10. Porušení potrubí zemětřesením	40
2.4. Řízení rizik ve fázi návrhu tlakové sestavy závislých na chemických vlastnostech a množství média	40
2.4.1. Ohrožení výbuchem a únikem tekutiny s využitím PEDu.....	40
2.4.1.1. Všeobecné poznámky o PEDu	40
2.4.1.2. Kategorizace potrubí podle PED	41
2.4.1.3. Určení skupiny tekutiny.....	42
2.4.1.4. Určení stavu tekutiny	43
2.4.1.5. Definice nestabilního plynu	43
2.4.1.6. Řízení rizik závislých na chemických vlastnostech a množství média.....	43
2.4.2. Ohrožení výbuchem podle ATEXu	44
2.4.2.1. O ATEXu	44
2.4.2.2. Princip řízení rizik podle ATEXu	44

2.4.2.3. Výbušná atmosféra uvnitř potrubí	46
2.4.2.4. Výbušná atmosféra vně potrubí okolo přírubového spoje.....	46
2.4.2.5. Iniciační zdroj výbuchu na potrubí - Povrch potrubí je teplejší než teplota vznícení výbušné atmosféry.	46
2.4.2.6. Iniciační zdroj výbuchu na potrubí - Elektrostatický náboj na povrchu potrubí.....	46
2.4.2.7. Elektricky vodivé pospojení a zemnění potrubí.....	47
2.5. Řízení nebezpečí ve fázi výroby a kontroly potrubí	47
2.6. Řízení rizik snižováním potenciálních následků pohromy.....	48
3. ŘÍZENÍ RIZIK PRO POTRUBÍ V PROVOZU ZA ZÁSADNÍHO PŘÍSPĚNÍ TECHNICKÉ INSPEKCE	49
3.1. Typy základních ohrožení při provozu potrubí.....	49
3.2. Velikost ohrožení závislá na druhu, množství a chemických vlastnostech dopravované tekutiny v provozu.....	49
3.2.1. Ohrožení závislá na chemických vlastnostech a množství média v provozu – využití PEDu pro provoz	49
3.2.2. Ohrožení výbuchem podle ATEX	50
3.2.2.1. O ATEXu	50
3.2.2.2. Zásady prevence rizik	50
3.2.2.3. Opatření k ochraně před výbuchy	50
3.3. Nebezpečí závislá na ztrátě odolnosti materiálu s následkem ztráty integrity potrubí... 51	51
3.3.1. Odolnost konstrukce a způsob jejího získávání	51
3.3.1.1. Vysvětlení pojmu odolnost konstrukce	51
3.3.1.2. Druhy odolností konstrukce v závislosti na typech poruch	51
3.3.2. Nebezpečí porušení integrity při překročení dovoleného napětí odvozeného z meze kluzu a/nebo pevnosti materiálu.....	52
3.3.2.1. Nebezpečí překročení nejvyššího dovoleného tlaku či teploty	52
3.3.2.2. Nebezpečí překročení korozního přídatku plošnou korozí	53
3.3.2.3. Nebezpečí překročení erozního přídatku plošnou erozí	53
3.3.2.4. Překročení dovoleného napětí způsobeného vibracemi	54
3.3.2.5. Překročení dovoleného napětí poklesem podpěry	54
3.3.2.6. Odolnost konstrukce při prosté pevnostní únosnosti určená mezí kluzu či mezí pevnosti	54
3.3.3. Nebezpečí únavového lomu	55
3.3.3.1. Únava – společné zákonitosti	55
3.3.3.2. Únava nízkocyklová – základní pojmy	56
3.3.3.3. Únava nízkocyklová - tepelná.	56
3.3.3.4. Únava nízkocyklová v důsledku teplotních a tlakových cyklů	57
3.3.3.5. Únava nízkocyklová, kde spolupůsobí koroze	57
3.3.3.6. Únava vysokocyklová – základní pojmy.....	57
3.3.3.7. Vibrace indukované rotačními stroji	57
3.3.3.8. Akusticky indukované vibrace potrubí	58
3.3.3.9. Odolnost konstrukce proti únavě.....	59

3.3.4. Nebezpečí skrývající se za lokálním úbytkem materiálu ve stěně potrubí	60
3.3.4.1. Všeobecné údaje	60
3.3.4.2. Odolnost konstrukce při lokálním úbytku materiálu	61
3.3.5. Nebezpečí překročení maximální dovolené deformace způsobené creepem	61
3.3.5.1. Creep – základní pojmy	61
3.3.5.2. Odolnost konstrukce proti creepu	63
3.3.6. Nebezpečí vyskytující se u potrubí uložených v zemi	64
3.3.6.1. Nebezpečí způsobená tlakem nadloží a pohyby podloží	64
3.3.6.2. Nebezpečí způsobená speciálními druhy koroze	64
3.3.6.3. Údržba vnějšku potrubí pro korozní agresivitu - Im3 ponor do půdy	65
3.3.6.4. Odolnost konstrukce	66
3.3.7. Nebezpečí vyskytující se u plastových potrubí	66
3.3.7.1. Plastová potrubí – základní pojmy	66
3.3.7.2. Plastová potrubí – nebezpečí vznikající při provozu	67
3.3.7.3. Odolnost konstrukce	68
3.3.8. Zanášení potrubí sedimenty	68
3.3.9. Nebezpečí úniku tekutiny u přírubového spoje	69
3.4. Řízení rizik provozovatelem potrubí přímo	70
3.4.1. Snižování potenciálních následků pohromy provozovatelem potrubí	70
3.4.2. Provozní předpisy a řízení provozu podle nich	70
3.5. Řízení rizik ztráty integrity za zásadního přispění technických inspekcí	70
3.5.1. Závislosti mezi různými druhy ohrožení a uvedenými nebezpečími	70
3.5.2. Odhad velikosti rizika	71
3.5.3. Způsoby řízení rizika technickými inspekcemi	72
3.5.3.1. Nebezpečí a inspekční postupy	72
3.5.3.2. Intervaly technické inspekce	72
3.5.3.3. Vytváření druhů inspekčních postupů	72
3.5.4. Jednotlivé stupně inspekčních postupů	73
3.5.4.1. Rozsah a obsah inspekčního postupu při převzetí potrubí do portfolia inspekcí	73
3.5.4.2. Stupeň zkráceného inspekčního postupu	73
3.5.4.3. Základní stupeň inspekčního postupu	74
3.6. Řízení rizik u jednotlivých druhů potrubí v provozu	74
3.6.1. Nebezpečí u jednotlivých druhů potrubí v provozu	74
3.6.2. Nebezpečí a rizika u vodovodů a tlakové kanalizace	75
3.6.3. Nebezpečí a rizika u plynovodů	76
3.6.4. Nebezpečí a rizika u parovodů a vedení kondenzátu	77
3.6.5. Nebezpečí a rizika u předizolovaných teplovodů a horkovodů	77
3.6.6. Nebezpečí a rizika u průmyslových potrubí	78
4. PRAVĚPODOBNOSTNÍ PŘÍSTUP K PROVOZNÍMU ZATÍŽENÍ POTRUBÍ, K ŽIVOTNOSTI POTRUBÍ A K PORUŠE ZAŘÍZENÍ	80
4.1. Veličiny a jednotky v této kapitole	80

4.2. Provozní zatížení potrubí.....	81
4.2.1. Náhodná provozní zatížení a maximální dovolená zatížení.....	81
4.2.2. Zatížení tlakem a teplotou jako náhodným zatížením.....	82
4.2.3. Zatížení vlastní hmotností potrubí, média a izolace jako náhodná veličina.....	83
4.2.4. Klimatická zatížení.....	89
4.3. Účinky zatížení a jejich získávání.....	90
4.3.1. Co jsou to účinky zatížení.....	90
4.3.2. Materiálové konstanty a veličiny, které slouží k převodu zatížení na účinky zatížení.....	90
4.3.3. Účinky zatížení způsobující houževnatý lom.....	91
4.3.4. Účinky zatížení způsobující poškození nízkocyklovou únavou.....	91
4.3.5. Účinky zatížení způsobující poškození vysokocyklovou únavou.....	92
4.3.6. Účinky zatížení způsobující poškození creepem.....	92
4.3.7. Účinky zatížení způsobující poškození korozí.....	93
4.4. Životnosti zařízení.....	93
4.4.1. Životnosti zařízení- všeobecně.....	93
4.4.2. Životnost potrubí daná korozí.....	94
4.4.3. Životnost potrubí daná únavou.....	95
4.4.4. Životnost potrubí daná creepem.....	96
4.5. Určení pravděpodobnosti poruchy zařízení.....	97
4.5.1. Pravděpodobnost poruchy zařízení a metody jejího získávání.....	97
4.5.1.1. Pravděpodobnost poruchy a spolehlivost.....	97
4.5.1.2. Sdružená funkce hustoty pravděpodobnosti.....	98
4.5.1.3. Pravidlo násobení částečných pravděpodobností.....	99
4.5.2. Klasický konkrétní příklad výpočtu pravděpodobnosti poruchy zařízení pro potrubí i válcová tlaková zařízení.....	101
4.5.2.1. Obvodové napětí válce způsobené tlakem:.....	101
4.5.2.2. Mezní úchytky průměru D_0 a tloušťky stěny h potrubí podle jednotlivých norem.....	101
4.5.2.3. Výpočet stochastických účinků zatížení.....	102
4.6. Výpočet progresivního intervalu pro provádění technické inspekce.....	102
4.6.1. Křivka teoretické degradace.....	102
4.6.2. Výpočet progresivních intervalů pro provádění technické inspekce.....	104
5. ZPŮSOBY IDENTIFIKACE JEDNOTLIVÝCH NEBEZPEČÍ.....	105
5.1. Výčet používaných metod.....	105
5.1.1. Nedestruktivní zkoušky - NDT.....	105
5.1.1.1. Používání NDT metod.....	105
5.1.1.2. Vizualní kontrola.....	106
5.1.1.3. Magnetická prášková metoda.....	106
5.1.1.4. Kapilární metoda.....	107
5.1.1.5. Metoda zkoušení těsností.....	108
5.1.1.6. Radiografická metoda.....	108

5.1.1.7. Ultrazvuková metoda	109
5.1.1.8. Metoda vířivých proudů	110
5.1.1.9. Infračervená metoda	110
5.1.1.10. Akustická emise	111
5.1.2. Zkoušky potrubí v zemi a jinak nedostupných úseků potrubí.....	111
5.1.2.1. Sledování pohybů samotného nezkonsolidovaného podloží	111
5.1.2.2. Sledování napětí na trubce pomocí tenzometrů	111
5.1.2.3. Kontrola vnitřního povrchu potrubí ježkem	112
5.1.2.4. Použití geofyzikálního radaru	112
5.1.2.5. Elektromagnetická metoda metalických trub (metoda EDMET)	112
5.1.2.6. Metoda DCVG	113
5.1.2.7. Metoda MMM	115
5.1.2.8. Využití satelitního dálkového průzkumu Země	115
5.1.3. Zkoušky různě vysokým vnitřním tlakem	115
5.1.3.1. Zkouška těsnosti, tlaková zkouška	115
5.1.3.2. Napěťová (či zátěžová) zkouška (stresstest)	116
5.2. Druhy inspekčních postupů - Způsob identifikace jednotlivých nebezpečí	117
5.2.1. Definování mezí přijatelnosti vad v provozu	117
5.2.2. Překročení nejvyššího dovoleného tlaku či teploty	118
5.2.3. Lom málocyklovou únavou	118
5.2.4. Lom vysokocyklovou únavou	120
5.2.5. Nadměrná deformace způsobené creepem	122
5.2.6. Překročení korozního přídávku	122
5.2.7. Překročení erozního přídávku	123
5.2.8. Zanášení potrubí trvalým tvrdým sedimentem	123
5.2.9. Speciální nebezpečí/rizika v případě potrubí v zemi	124
5.2.10. Speciální nebezpečí/rizika v případě potrubí z plastů	124
5.2.11. Porucha a nesprávná funkce vlnovcových kompenzátorů	124
5.2.12. Nesprávná funkce uložení, podpěr a závěsů	125
5.2.13. Porucha přírubového spoje	126
5.2.14. Porucha a nesprávná funkce průmyslových armatur	126
6. VYPOŘÁDÁNÍ RIZIK ODSTRANĚNÍM IDENTIFIKOVANÝCH NEBEZPEČÍ	127
6.1. Společná opatření.....	127
6.2. Čištění vnitřku potrubí	127
6.2.1. Druhy čištění vnitřku potrubí	127
6.2.2. Čištění plynovodů a ropovodů	128
6.2.3. Čištění vodovodů a kanalizací	128
6.3. Obnova povrchové úpravy vnějšího povrchu	128
6.3.1. Obnova povrchové úpravy vnějšího povrchu nadzemního potrubí	128
6.3.2. Obnova povrchové úpravy vnějšího povrchu podzemního potrubí	129
6.4. Nedestruktivní opravy potrubí.....	129

6.4.1. Napěťová zkouška (stresstest).....	129
6.4.2. Instalace rukávce u podzemního potrubí vodovodů a kanalizací	130
6.4.3. Opravy potrubí ocelovými objímkami	130
6.4.4. Opravy potrubí přelaminováním	130
6.5. Sváření trhliny a odstranění poškozeného dílu a vevaření nového	130
6.6. Údržba a opravy jednotlivých potrubních zařízení.....	131
6.6.1. Údržba a opravy přírubového spoje	131
6.6.2. Údržba armatur	132
6.6.3. Údržba kompenzátorů	132
6.6.4. Údržba uložení, podpěr a závěsů	132
7. POUŽITÁ LITERATURA A LITERATURA PRO DALŠÍ STUDIUM	133
7.1. Odborná literatura.....	133
7.2. Firemní literatura.....	135
7.3. Legislativa.....	135
7.4. Související technické normy.....	135
7.4. Zajímavé internetové adresy	139

1. Řízení rizik technického díla

1.1. Základní systém pro řízení a vypořádání rizika

1.1.1. Všeobecně

Řízení a vypořádání rizika je úkolem všech zúčastněných, jde o kolektivní úsilí. Je zřejmé, že:

- určit a definovat riziko mohou jen odborníci s odpovídajícími znalostmi, schopnostmi a informacemi,
- rozhodnout o maximální velikosti rizika mohou jen ti, co mají příslušné oprávnění (k tomu určený státní anebo podnikový orgán),
- řízení a vypořádávání rizika tj. vlastní aplikaci opatření, mohou provádět jen odborníci s odpovídajícími znalostmi, schopnostmi a informacemi.

Základní systém pro řízení rizika je v normě ČSN ISO 31000 (010351) Management rizik - Směrnice. Speciální část, která nás zajímá, můžeme nazvat jako „Řízení a vypořádání rizik technického díla“. Zde je nutné připojit rozdělení zvládání rizik mezi všechny zúčastněné (investor, projektant, výrobce, provozovatel atd.). Pro stanovení rizik technického díla je důležité:

- jaká chráněná aktiva jsou sledována
- jaké škody mohou vzniknout v daném místě a jaké mají dopady na chráněná aktiva
- jak je chápán proces, jehož výsledkem je realizace rizika
- od jaké úrovně škod jsou dopady nepřijatelné

V praxi používáme několik úrovní analýzy rizik:

- A - předběžná analýza rizika
- B – standardní, rychlá a méně přesná analýza rizika
- C – detailní analýza v souhrnném kontextu
- D - individuální a specifická analýza rizika.

A právě tato poslední úroveň analýzy rizik, tedy úroveň D, je předmětem naší publikace. A podle této úrovně je vhodné odlišovat metody, které jsou vhodné pro identifikaci rizika a stanovení hodnoty rizika.

1.1.2. Nebezpečí

Nebezpečí (Danger) označuje stav lidského systému, při kterém vznik újmy, škody či ztráty na chráněných zájmech (aktivech) má vysokou pravděpodobnost (tj. je téměř jisté, že újma vznikne). To znamená, že jde o označení možnosti vzniku újmy, ztráty či škody na jednom aktivu či více aktivech. Nebezpečí je určeno vlastnostmi látek, které se nachází v

zařízení, objektu či území, a vlastnostmi procesů, které probíhají v zařízení, objektu či území. Je bezprostřední, když vývoj nezadržitelně směřuje k pohromě (a tím ke vzniku mimořádné události nebo krizové situace). A je plíživé, když vývoj směřuje k pohromě nenápadně a bez zřejmých příznaků. Nebezpečí pro člověka znamenají jak velké jevy (např. živelní pohromy, průmyslové havárie, ekologické či sociální pohromy), tak zdánlivě malé jevy z denního života (pád tašky ze střechy, pád rampouchu nebo sněhu ze střechy, nerovný chodník apod.) Nebezpečí je míra stavu.

1.1.3. Ohrožení

Ohrožení (Hazard) vyjadřuje potenciál pohromy působit újmy, ztráty a škody na chráněných zájmech v daném místě, který je určený normativně. Jde o normativní míru nebezpečí, která je spojená s danou pohromou. Pro potřeby strategického plánování se nejčastěji počítá se stoletou pohromou, tj. ohrožení je velikost pohromy, která se vyskytne jedenkrát za sto let nebo má periodu návratu 100 let. U speciálních staveb se pak z důvodu bezpečnosti zvažuje ohrožení jako velikost tisícileté či deseti tisícileté pohromy.

1.1.4. Riziko

Riziko (Risk) spojené s danou pohromou, činností či procesem je to pravděpodobná velikost škod, ztrát a újmy na chráněných zájmech (aktivech), které v daném místě vzniknou při výskytu pohromy mající velikost normativně stanoveného ohrožení, která je normovaná na stanovenou jednotku území či jednotku počtu jedinců a jednotku času. Rozdíl mezi nebezpečím a rizikem spočívá v tom, že nebezpečí je určité (označuje aktuální stav) a riziko je jen očekávaná možnost.

1.1.5. Řízení rizika

Řízení rizika (management rizika). V současné době je kladen důraz na bezpečná technická zařízení tj. řízení rizik technických děl ve prospěch bezpečnosti. Proto musíme sledovat bezpečnost všech prvků systému technického díla, tj potrubí včetně vazeb všech prvků systému mezi sebou.

1.1.6. Vypořádání rizika

Řízení rizika by mělo být ukončeno jeho vypořádáním a k němu řízení rizika směřuje, i když ne každé riziko je zakončeno svým vypořádáním.

1.1.7. Ochrana do hloubky

Princip ochrany do hloubky (jinak princip „Defence-in-depth“) je implementován do technického díla pomocí kombinace několika nezávislých úrovní ochrany. Základní

podmínkou je, že když jedna úroveň ochrany selže, pak musí být dostupná následná úroveň. Zde v této publikaci představujeme nejhlubší dva stupně z pětistupňové stupnice „ochrany do hloubky“, a to pro potrubní. A to stupeň 1. Bezpečný návrh a stavba zařízení a stupeň 2. Systém řízení bezpečnosti pro normální provoz. Ostatní stupně se již netýkají (nedají uskutečnit) na tak malé části celého zařízení jako je potrubí. Definice z této kapitoly 1.1. jsou uvedeny v literatuře uvedené v kapitole 8.1. Odborná literatura, položka [93.] a [94.].

1.2. Rizika ve fázi návrhu technického díla (risk based design)

1.2.1. Bezpečné technické řešení technického díla

Bezpečné technické řešení je takové řešení, které za běžných nebo rozumně předvídatelných podmínek užití nepředstavuje po dobu stanovené nebo obvyklé životnosti žádné nebezpečí nebo jehož užití představuje vzhledem k bezpečnosti a zdraví osob pouze minimální nebezpečí při správném užívání výrobku. Toto minimální nebezpečí je dáno zbytkovými riziky. Za bezpečné řešení se považuje takové řešení, které splňuje požadavky:

- právních předpisů (tj. zákona 22/97 Sb., dále jde zejména o Nařízení vlády č. 218/2015Sb., Směrnice 2014/68/EU (PED), popř. jiných právních předpisů),
- harmonizovaných technických norem, jde zejména o normu ČSN EN 13480 Kovová průmyslová potrubí
- ostatních technických norem
- stavu vědeckých a technických poznatků, známých v době tvorby řešení
- správné inženýrské praxe.

Zbytkové riziko technického řešení je riziko, které zůstává neošetřeno v projektu technického řešení nebo v jeho částech. Je výsledkem analýzy rizik projektu technického řešení. Předává se provozovateli v textové formě jako součást projektu. Provozovatel učiní patřičná opatření k odstranění rizik při provozu.

1.2.2. Analýza rizik technického díla ve fázi návrhu

1.2.2.1. Základní typ analýzy rizik

Analýza rizik je systematické použití dostupných informací k identifikaci nebezpečí a k odhadu rizika. Projektant zařízení musí učinit patřičná opatření k odstranění rizik, musí tak provádět analýzu rizik. Analýza rizik projektu se skládá:

1. Vymezení hodnoceného systému. Musí zde být určeno, co se hodnotí a přesné určení hranic hodnoceného systému.
2. Určení (identifikace) nebezpečí. Vyhledávání nebezpečných situací systému, které mohou nastat. Vychází se přitom ze znalostí a zkušeností hodnotitelů.

3. Odhad rizika. Odhad četnosti a pravděpodobnosti výskytu specifikované nebezpečné události a jejich následků.

4. Hodnocení rizika. Je proces, při kterém se vytváří úsudek o přijatelnosti rizika. V případě, že přijatelná úroveň rizika je nižší, musí se přijmout opatření ke zmenšení rizika. V opačném případě se provede výčet zbytkových rizik. Hodnocení rizika vyžaduje postup, kterým se na základě analýzy rizika vytvoří úsudek o dosažení přijatelného rizika.

5. Posouzení rizika

6. Řízení rizika

7. Vypořádání rizika. Jako vypořádání rizika technického díla ve stadiu návrhu jsou nejen podklady pro úpravy projektu z důvodu snížení rizika, ale i seznam zbytkových rizik, které projektant nechává k řešení provozovateli projektovaného zařízení. A to z důvodů, že je projekt neumí řešit anebo že náklady na řešení v projektu by byly enormně vyšší než řešení provozovatelem, tj. organizace a uspořádání výroby, technických inspekcí či údržby.

Každopádně musí být seznam zbytkových rizik předán provozovateli jako součást dokumentace projektu.

1.2.2.2. Studie nebezpečí a provozuschopnosti (HAZOP).

HAZOP je jeden z možných druhů analýzy rizik. Je vhodný pro analýzu rizik v chemickém průmyslu. Výstup ze studie HAZOP má zahrnovat:

- podrobnosti o rozpoznaných nebezpečích a problémech s provozuschopností spolu s podrobnostmi o jakýchkoli opatřeních pro jejich detekci a/nebo zmírnění
- doporučení pro jakékoli další studie specifických aspektů projektu s použitím odlišných technik, pokud je to nutné
- opatření nutná k tomu, aby bylo možné se zaměřit na nejistoty objevené během studie
- doporučení pro zmírnění rozpoznaných problémů
- seznam zbytkových rizik

V rámci HAZOP je nutno určit stupeň SIL. SIL (Safety Integrity Levels) je statistické vyjádření spolehlivosti technického systému (zejména v elektrotechnice). Je vyjádřen ve třech (podle ANSI) nebo ve čtyřech (podle IEC) kategoriích. SILy jsou ve vztahu s pravděpodobností poruchy za hodinu anebo počtu hodin provozu bez poruchy. Jsou kategorizovány takto:

„SIL 4“ - katastrofický dopad na komunitu.

„SIL 3“ - ochrana zaměstnanců a komunity.

„SIL 2“ - ochrana výroby a majetku. Možná poškození zaměstnanců.

„SIL 1“ - malý dopad na majetek a ochranu výroby.

Safety Instrumented System (bezpečnostní přístrojový systém) neboli SIS je zřetelný a spolehlivý systém skládající se z technické sady ovládacích prvků hardwaru a softwaru, které zabraňují katastrofickému uvolňování výbušných, toxických nebo hořlavých kapalin. Na kritických procesních systémech rafinérií, chemických závodů, jaderných zařízení atd. Hraje důležitou roli při zabezpečování procesu bezpečnostní přístrojový systém. Pomocí bezpečnostních přístrojových řídicích prvků systému jsou přidány senzory a logické řešiče, aby se jakýkoli proces dostal do bezpečného stavu, když dojde k porušení předem stanovené logiky. SIS je opatření ke snížení rizika.

Typickými příklady bezpečnostních přístrojových systémů jsou systémy nouzového vypnutí (ESD), systémy nouzového odvětrávání (ESV), systémy bezpečnostního vypnutí, systémy ochrany proti vysokému tlaku, bezpečnostní systémy blokování atd.

SIS se skládá z několika bezpečnostních přístrojových funkcí. Každá funkce má specifikovanou úroveň integrity bezpečnosti (SIL), která je nezbytná k dosažení funkční bezpečnosti.

Pravděpodobnost poruchy na vyžádání označuje pravděpodobnost systému SIS, že neprovede zamýšlený provoz (neprovede svou bezpečnostní funkci), je-li to požadováno. Je nutné vypočítat pravděpodobnost poruchy na vyžádání pochopením toho, jak mohou selhat součásti systému SIS. Pro určení pravděpodobnosti poruchy každého prvku musí být shromážděny dokumentované údaje o míře selhání pro každý prvek.

1.2.2.3. FMECA (*Failure modes, effects, and criticality analysis*)

FMECA neboli Failure modes, effects, and criticality analysis je systematická a proaktivní technika pro identifikaci a analýzu potenciálních režimů selhání pro různé součásti systému. FMECA pomáhá posoudit účinky, které tyto režimy selhání mohou mít na systém, a řadit problémy vzhledem k závažnosti a navrhuje opatření.

Obecně platí, že FMECA se provádí během návrhové fáze systému. Tento proces zajišťuje, že všechny potenciální režimy selhání jsou objeveny v počáteční fázi a jsou zvážena náležitá ustanovení k odstranění těchto selhání.

Typy FMECA. Obecně existují tři typy metodik FMECA. Jsou to:

- Návrhová FMECA: Hlavním cílem provedení návrhu FMECA je identifikovat a eliminovat potenciální poruchy během návrhu. Tato metodika zohledňuje všechny typy poruchových režimů, které se mohou vyskytnout po celou dobu životnosti zařízení, a při navrhování se zohledňují faktory bezpečnosti a další kritéria.
- Procesní FMECA: Zaměřuje se na problémy, které vznikají v procesu výroby, provozu a údržby systému nebo zařízení.

- Systémová FMECA: Tento typ FMECA důkladně kontroluje větší procesy, aby našel potenciální problémy, například celou výrobní linku.

Kódy a normy pro FMECA. Existují různé normy, které poskytují pokyny pro proces FMECA. Některé z těchto standardů FMECA jsou:

MIL-STD 1629, IEC 60812, BS 5760-5

SAE ARP 5580, AIAG FMEA-4, SAE J1739

SEMATECH "Režimy selhání a analýza účinků (FMEA)

Přístupy FMECA. FMECA má dva přístupy: Přístup zdola nahoru a přístup shora dolů. Až bude o koncepci systému rozhodnuto, bude prospěšný přístup zdola nahoru. V přístupu zdola nahoru, známém také jako hardwarový přístup, je každá komponenta studována individuálně a když jsou všechny komponenty považovány za dokončené.

Zatímco přístup FMECA shora dolů je široce používán v raných fázích návrhu, kdy je ještě dokončena kompletní struktura systému. Tento přístup je orientovaný na funkce. Analýza FMECA shora dolů začíná hlavními systémovými funkcemi a identifikuje, jak mohou selhat. Tento přístup lze použít i ve stávajících systémech k rozhodování o problémových oblastech.

Postup provádění FMECA:

- Definování systému.
- Definování základních pravidel a předpokladů, které pomohou řídit návrh.
- Konstrukce schémat systémových bloků.
- Identifikace režimů poruchy.
- Analýza příčiny selhání a následku.
- Vracení výsledků zpět do procesu návrhu.
- Klasifikace účinků poruchy podle závažnosti.
- Provádění výpočtů kritičnosti.
- Hodnocení režimu selhání na základě jejich závažnosti.
- Určení kritických položek
- Rozhodování o prostředcích detekce selhání, izolace a kompenzace
- Analýza udržitelnosti
- Dokumentace
- Doporučení
- Opatření navazující na provádění/účinnost nápravných opatření

Procesní FMECA. Chcete-li použít FMECA, musí být systém definován se správnými hranicemi systému. Předpoklady je třeba provést v závislosti na očekávaném výsledku analýzy. Je třeba vzít v úvahu provozní a environmentální podmínky, které budou mít dopad na systém. Je třeba shromáždit všechny dostupné systémové informace, jako jsou výkresy, specifikace, seznamy součástí, schematické diagramy, funkční popisy atd.

Dále je systém rozdělen na zvládnutelné části známé jako funkční prvky. Je vhodnější, pokud je systém ilustrován pomocí hierarchického stromového diagramu nebo diagramu funkčního bloku. Analýza FMECA je obvykle zahájena vyšší úrovní systémové hierarchie. Pokud jsou na této vyšší úrovni zjištěny nepřijatelné důsledky, jsou jednotlivé dílčí prvky (subsystém, subsystém nebo komponenta) prohlédnuty, aby se identifikovaly režimy selhání a příčiny selhání na nižší úrovni. V této fázi se rozhoduje o vhodném listu FMECA. Analytik FMECA zváží všechny funkce všech prvků a posoudí, zda selhání prvku může vést k nepřijatelnému chování systému. Pokud je odpověď ne, pak není nutná žádná další analýza tohoto konkrétního prvku, jinak musí být prvek dále zkoumán.

V dalším kroku jsou zkoumána a hodnocena rizika spojená s různými režimy selhání. Obvykle jsou prezentovány pomocí jedné z následujících dvou metod:

- Matice rizika
- Číslo priority rizika (RPN)

Matice rizika. Matice rizika je připravena s ohledem na následující dva parametry: riziko spojené s poruchovým režimem s funkcí frekvence poruchového režimu a potenciální koncové účinky (závažnost) režimu selhání. Obr. níže ukazuje typickou matici rizika.

Četnost / Následky	1 Velmi nepravděpodobně	2 Vzdáleně	3 Občasně	4 Pravděpodobně	5 Často
Katastrofické					
Kritické					
Vážné					
Malé					

Přijatelné - jen pro použití ALARP akcí

Přijatelné - použití ALARP principů a prozkoumání dalších možností

Nepřijatelné - požadováno snížení rizika

ALARP - úroveň rizika je provedena tak nízká, jak je to rozumně možné

Obr. 1.1. Typická matice rizik

Číslo priority rizika. Číslo rizikové priority (RPN) se vypočítá takto:

$$RPN = S \times O \times D$$

kde, O je množstevní velikost výskytu selhání,

S je závažnost selhání,

D je pravděpodobnost, že selhání bude zjištěno dříve, než se systém dostane ke koncovému uživateli.

Všechny tyto hodnoty jsou uvedeny na stupnici od 1 do 10. Čím menší RPN, tím lépe a naopak. Vypracováno podle literatury v kapitole 8.1. Odborná literatura, položka [43.] a [44.].

1.2.3. Inherentní bezpečnost

Inherentní bezpečnost je specifická vlastnost komponent a procesů technického díla, která je dána fyzikálními a chemickými zákony a vlastnostmi. Jde o princip, který umožňuje autoregulaci nebezpečných procesů. To znamená, že inherentní bezpečnost zařízení je přístup, kterým zařízení či systém získávají schopnost, že i za nepříjemných podmínek mají nízkou míru nebezpečí. Jde o způsob myšlení při navrhování technického řešení, kterým se hledá princip, kterým se snižuje riziko jiným způsobem než řízením rizika.

Zkušenosti ukazují, že zavedení inherentní bezpečnosti do technického díla při jeho návrhu je jednodušší než při jejím zavádění do provozovaného technického díla.

1.2.4. Pasivní bezpečnost

Pasivní prvky pro zajištění bezpečnosti (tj. pasivní bezpečnostní prvky) jsou fyzické prvky anebo zařízení, které působí až v okamžiku havárie. Systémy pasivní bezpečnosti jsou fyzické systémy, které ovládají nebezpečí procesu anebo zařízení pomocí prvků zařízení bez zásahu z řídicího centra.

Příklad: Máme-li u potrubí nebezpečí překročení maximálního dovoleného tlaku, pak pomocí pasivní bezpečnosti bychom toto nebezpečí řešili předimenzováním tloušťky stěny potrubí, a to tak velkým, aby odpovídalo nárůstu tlaku.

1.2.5. Aktivní bezpečnost

Aktivní prvky zajištění bezpečnosti (tj. aktivní bezpečnostní prvky) jsou technická zařízení, která aktivně pomáhají zabránit nehodám a haváriím.

Příklad: Máme-li u potrubí nebezpečí překročení maximálního dovoleného tlaku, pak pomocí pasivní bezpečnosti bychom toto nebezpečí řešili instalací pojistného ventilu, průtržné membrány anebo aktivního regulačního elektrického zařízení.

1.2.6. Inženýrství odolnosti

V inženýrství odolnosti (resilience) jde o vytváření vnitřní schopnosti systému přizpůsobit svoji funkci změněným podmínkám. Jde o vytváření vnitřní schopnosti systému přizpůsobit svoji funkci změněným podmínkám tak, aby byl zachován provoz. Tyto vlastnosti však musí být už součástí návrhu. Definice z této kapitoly 1.1.3. až 1.2.6. jsou uvedeny v literatuře uvedené v kapitole 8.1. Odborná literatura, položka [93.] a [94.].

1.3. Technická inspekce v provozu na bázi analýzy rizik (risk based inspection)

1.3.1. Základní pojmy

Technická inspekce či jinak revize je činnost pověřené osoby, která zaručuje, že v případě zjištění překročení dovoleného rizika poruchy na zařízení, bude vyvolána činnost (např. zásah údržby) k jeho dostatečnému zmenšení. Činnost pověřené osoby je kromě jiného používání defektoskopických metod a postupů, které diagnostikují určitou pravděpodobnost poruchy systému.

Technická inspekce na bázi analýzy rizik (Risk Based Inspection - RBI) je analytická metodika a proces, který vyžaduje kvalitativní nebo kvantitativní posouzení pravděpodobnosti poruchy a důsledků poruchy v závislosti na každém prvku tlakové sestavy, včetně potrubí. Jednotlivé prvky tlakové sestavy by měly být zařazeny do kategorií podle rizik, které vyvolávají, a podle této kategorizace by měla být technická inspekce nastavena.

Risk Based Inspection (RBI) je analytická metodika a proces, který na rozdíl od kontroly založené na podmínkách vyžaduje kvalitativní nebo kvantitativní posouzení pravděpodobnosti poruchy a důsledků poruchy spojené s každou položkou zařízení, zahrnutý jsou též potrubní obvody v konkrétní procesní jednotce. Správně implementovaný program RBI kategorizuje jednotlivé části zařízení podle jejich rizik a na základě této kategorizace upřednostňuje inspekční úsilí. Předpokladem pro užívání Risk Based Inspection je provedení Risk Based Design tak, jak ho uvádí příslušná kapitola v této knize.

Porucha zařízení je jev spočívající v ukončení schopnosti potrubí plnit požadovanou funkci. Nejdříve se určuje pravděpodobnost poruchy, tj. pravděpodobnost, že na zařízení v určeném čase dojde k poruše. Průběh pravděpodobnost poruchy je roven distribuční funkci použitého rozdělení pravděpodobnosti poruch. Je-li dáno nějaké rozdělení pravděpodobnosti poruchy, pak tuto pravděpodobnost určuje distribuční funkce tohoto rozdělení.

Důsledek poruchy je hodnocení potenciálních důsledků v případě poruchy zařízení. Důsledek poruchy se počítá pro samotné zařízení, personál, životní prostředí atd. Je to druhá část analýzy rizik. Na základě velikosti důsledků korigujeme hodnotu pravděpodobnosti poruchy zařízení a porovnáváme ji s maximální dovolenou pravděpodobností poruchy zařízení. Tato pravděpodobnost poruchy systému může být určena autoritou (nařízení vlády či technická norma) anebo smlouvou či dohodou mezi stranami.

Proč používat RBI? RBI se používá k identifikaci a porozumění rizikům, rizikovým faktorům a tomu, kde je zařízení v jeho životním cyklu. RBI může určit, zda je nutná kontrola; to však vyžaduje další údaje, které jsou extrémně cílené, aby se snížily základní

nejistoty spojené s riziky ohledně současného a budoucího předpokládaného stavu poškození zařízení. RBI lze použít k upřednostnění činností souvisejících s inspekce, obvykle prostřednictvím nedestruktivních zkoušek (NDT), aby se snížily nejistoty ohledně skutečného stavu poškození zařízení a dynamika, která k nim vede. Výsledný plán inspekce může nastiňovat typ a časový rozvrh inspekce. Kromě NDT mohou vést i další aktivity ke zmírnění rizik a navrhnout změnu materiálu konstrukce, instalaci protikorozních opatření, změny provozních podmínek atd. Základní údaje o RBI jsou uvedeny v literatuře uvedené kapitole 8.1. Odborná literatura, položka [43.] a [44.].

V současné době upouští od klasického provozování (tj. systém tlakových zkoušek a vnitřních revizí u tlakových zařízení, statických a dynamických zkoušek a prohlídek u zdvihacích zařízení apod. v pevných termínech) vyhrazených zařízení, z těchto důvodů:

- implementace směrnic EU, které byly vydány na základě „Nového a globálního přístupu“, které sice platí jen pro uvedení zařízení na trh, ale jsou v rozporu se stávajícím systémem provozování vyhrazených zařízení. Též je ve směrnicích provedeno základní rozdělení zařízení podle rizik, které lze implementovat i do provozu.
- výrazný pokrok v technice, který umožňuje provozovat zařízení efektivněji, laciněji, je to především:
 - a) pokrok v teorii únavy materiálu, tečení (creepu) a pod., do té fáze, že umožňuje její využití v uvedené problematice
 - b) výrazný pokrok v informatice a počítačových technologiích umožňující snímat a zpracovat dostatečný počet dat sledujících zbývající životnost zařízení
 - c) zavedení do praxe akustické emise, umožňující identifikaci rozvoje porušení tlakového zařízení
 - d) rozvoj nedestruktivních zkušebních metod (NDT), především ultrazvuku

Hlavní tlak na změny je však zlevnění provozování zařízení, které výše uvedené předpoklady umožňují.

1.3.2. Analýza rizik provozu potrubí

Analýza rizik je systematické použití dostupných informací k identifikaci nebezpečí a k odhadu rizika. Proto provozovatel zařízení musí učinit patřičná opatření k odstranění rizik při provozu. Jedním z opatření je *analýza rizik* při provozu, kde jsou uvedeny zbytková rizika technického řešení jako jedna ze vstupních informací.

Analýza rizik provozu je podobná jako analýze rizik ve fázi návrhu:

1. Vymezení hodnoceného systému. Musí zde být určeno, co se hodnotí a přesné určení hranic hodnoceného systému.

2. Určení (identifikace) nebezpečí. Vyhledávání nebezpečných situací systému, které mohou nastat. Vychází se přitom ze znalostí a zkušeností hodnotitelů.
3. Odhad rizika. Odhad četnosti a pravděpodobnosti výskytu specifikované nebezpečné události a jejich následků.
4. Hodnocení rizika. Je proces, při kterém se vytváří úsudek o přijatelnosti rizika. V případě, že přijatelná úroveň rizika je nižší, musí se přijmout opatření ke zmenšení rizika. V opačném případě se provede výčet zbytkových rizik. Hodnocení rizika vyžaduje postup, kterým se na základě analýzy rizika vytvoří úsudek o dosažení přijatelného rizika.
5. Posouzení rizika
6. Řízení rizika
7. Vypořádání rizika
8. Monitoring

Tato kapitola je převzata z literatury v kapitole 8.1. Odborná literatura, položka [93.] a [94.].

1.3.3. Minimalizace rizik provozovatelem zařízení

Provozovatel zařízení má pod kontrolou nebezpečí od určitého druhu poruch, neboť určuje velikost provozního zatížení (samozřejmě předpokládáme, že v rámci všech norem a předpisů), kdežto projektant technického zařízení může toto provozní zatížení jen předpokládat. Provozovatel může též náhodné provozní zatížení měřit a zaznamenávat. Cílem takovéto minimalizace nebezpečí by mělo být sledování pravděpodobnosti poruchy a životnosti tak, aby nebyla překročena předem daná životnost a pravděpodobnost poruch zařízení.

Též provozovatel by se měl seznámit s projektem zařízení ve verzi, která zahrnuje i změny během stavby avšak především s analýzou rizik při návrhu zařízení a se zbytkovými riziky. Zbytková rizika

V uvedených opatřeních a dokumentech vydaných provozovatelem je nutné tedy zajistit:

1. Systém pravidelných kontrol (inspekcí, revizí) bezpečnostních zařízení (např.: pojišťovacích ventilů), které řídí nepřekročitelnost nejvyššího dovoleného tlaku a nejvyšší dovolené teploty.

2. Systém kontrol (inspekcí), která kontroluje postup časové degradace materiálu např. postup koroze či opotřebení. A to v takových časových intervalech, aby nebyla porušena předem daná životnost a spolehlivost. Dále je možné kontrolovat vznik a rozvoj trhlin. Zde je možné zapracovat do systému kontrol, vhodné způsoby jejich objevení (např.: vnitřní revize, tlaková zkouška, akustická emise).

3. Zavést systém snímání provozního zatížení (tlakoměr, teploměr) v rizikových místech a sledovat postup degradace materiálu. Průběžné zajišťovat intervaly a způsob inspekce zařízení podle bodů 1. a 2. tak, aby nebyla překročena předem určená spolehlivost a životnost.

Pro další minimalizaci rizik provozovatel také provádí a zajišťuje

- provedení kontrol technika bezpečnosti práce a inspekce práce
- provoz a údržbu bezpečnostní kanalizace
- údržbu přístupových cest pro záchranné složky
- udržení a trénink podnikového hasičského záchranného sboru a ostatních bezpečnostních složek

1.3.4. Meze potenciálních důsledků pohromy

1.3.4.1. Všeobecné zásady

Porucha zařízení je jev spočívající v ukončení schopnosti potrubí plnit požadovanou funkci. Proto pravděpodobnost poruchy $F(t)$ je pravděpodobnost, že na zařízení v určeném čase dojde k poruše. Je to první část analýzy rizik. Průběh pravděpodobnosti poruchy je též roven distribuční funkci použitého rozdělení pravděpodobnosti poruch. Je-li dáno nějaké rozdělení pravděpodobnosti poruchy, pak tuto pravděpodobnost určuje distribuční funkce tohoto rozdělení.

Maximální dovolená pravděpodobnost poruchy systému (p) je pravděpodobnost poruchy systému, která může být určena autoritou přímo anebo postup jejího získání je určen autoritou anebo smlouvou či dohodou mezi stranami.

Důsledek poruchy je hodnocení potenciálních důsledků v případě poruchy zařízení. Důsledek poruchy se počítá pro samotné zařízení, personál, životní prostředí atd. Je to druhá část analýzy rizik.

Obecné určení (všeobecné zásady) maximální dovolené pravděpodobnosti poruchy

a) Určení pravděpodobnosti poruchy vycházející z druhu zařízení. Na určení maximální dovolené pravděpodobnosti vycházející má vliv velikost následků případné nehody. Výsledkem by mělo být přiřazení maximální dovolené rizika pravděpodobnosti poruchy každému druhu zařízení. Toto přiřazení by mělo být stanoveno na základě shody odborníků a požadavků státu.

b) Určení pravděpodobnosti poruchy vycházející z umístění zařízení. Velikosti následků případné nehody je přímo závislé i na konkrétním umístění zařízení a na „infrastruktuře“, která je instalovaná v okolí. Je tím myšlena například dostupnost z hlediska integrovaného záchranného systému atd. Výsledkem by mělo být přiřazení maximálního

dovoleného pravděpodobnosti ztráty integrity každé z uvedených skupin. Pro získání celkového maximálního dovoleného rizika ztráty integrity se obě procenta musí vynásobit. Toto přiřazení by mělo být stanoveno na základě shody odborníků a požadavků státu.

Máme danou (viz kapitole 1.4.2. Doporučená a použitá literatura, položka [3.]) přijatelnou hodnotu rizika, která je určována prostřednictvím přijatelné četnosti F_p ohrožení života jedné nebo více osob: na $F_p = 1 \cdot 10^{-5}$, resp. U nově vyrobených $F_p = 1 \cdot 10^{-6}$. Pro více osob se ještě tyto pravděpodobnosti dělí N^2 , když N je počet ohrožených osob.

1.3.4.2. Podle legislativy

V České republice je riziko z nejaderných aktivit regulováno zákonem č. 353/1999 Sb. (o prevenci závažných havárií způsobených vybranými nebezpečnými chemickými látkami a chemickými přípravky) a návaznými vyhláškami, zejména vyhláškou č. 8/2000 Sb. (zásady hodnocení rizik závažné havárie).

1.3.4.3. Podle norem

Uvedeným se také částečně zabývá ČSN EN 1991-1-7 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-7: Obecná zatížení – Mimořádná zatížení, a to zejména v příloze B: Informace pro hodnocení rizik

Následek lze definovat následujícím způsobem:

- a) Kritický: Nastane náhlé zřícení konstrukce s vysokou pravděpodobností ztrát na lidských životech a zranění. Maximálně přijatelná úroveň rizika je 0,00001
- b) Velký: Porušení částí konstrukce s vysokou pravděpodobností částečného zřícení a s určitou možností zranění nebo omezení uživatelů a veřejnosti. Maximálně přijatelná úroveň rizika je 0,0001
- c) Střední: Porušení části konstrukce. Úplné nebo částečné zřícení konstrukce je málo pravděpodobné. Možnost zranění nebo omezení uživatelů a veřejnosti je malá. Maximálně přijatelná úroveň rizika je 0,001
- d) Malý. Lokální poškození. Maximálně přijatelná úroveň rizika je 0,01
- e) Velmi malý: Lokální škody malého významu. Maximálně přijatelná úroveň rizika je 0,1 i větší

Pro zjištění přijatelnosti rizika se obvykle používá zásada ALARP (as low as reasonably practicable – úroveň rizika je tak nízká, jak je to rozumně možné). Podle této zásady se stanovují dvě úrovně rizika: jestliže je riziko pod dolní mezí všeobecně tolerované oblasti, žádná opatření nejsou nezbytná. Jestliže se riziko nachází nad horní mezí všeobecně tolerované oblasti, riziko se považuje za nepřijatelné. Pokud se riziko nachází mezi horní a dolní mezí, je potřebné vyhledat ekonomicky nejvýhodnější řešení.

Jestliže uvedená malá p mají přibližně hodnotu $0,1$. Z uvedeného poté vyjde jako maximální dovolená pravděpodobnost vzniku poruchy hodnota $0,01$ až $0,001$.

1.3.5. Výhody a nevýhody metody RBI

Výhody:

1. Uvedená metoda je součástí systému řízení rizik. Při provádění analýzy rizik může vzejít požadavek na velikost maximální dovolené pravděpodobnosti poruchy.
2. Je možné toho využít při provozování zařízení, například při určení intervalu inspekce, a to za předpokladu, že nebude překročena maximální dovolená pravděpodobnost poruchy.
3. Únavová křivka se získává experimentálně, statisticky se zpracovává a následně se teprve "determinizuje" většinou pro spolehlivost 80% pro klasický výpočet. Je možné uvedené využít pro přímý pravděpodobnostní výpočet
4. Ve zkušebním provozu anebo v prvním zatěžovacím cyklu je možno jednoduše hlavní zatížení (tj. tlak a teplota) změřit. Z uvedených hodnot pak lze ve vybraném kritickém místě průběžně zaznamenávat, počítat a vyhodnocovat tak zvyšování pravděpodobnosti poruchy, úbytky spolehlivosti či životnosti průběžně za provozu.
5. Zlevnění provozování zařízení při současném dodržení požadované bezpečnosti.
6. Zjednodušuje se další krok, který aplikace systému predikce životnosti

Nevýhody:

1. Nevýhoda, která vychází ze současného stavu věcí je ta, že je k dnešnímu dni málo zkušeností, podkladů a směrnic. Především velká konsorcia chápou výhody a snaží se tento systém zavádět.

2. Řízení rizik ve fázi návrhu a výroby potrubí

2.1. Typy základních ohrožení u potrubí

2.1.1. Výbuch v souvislosti s požárem.

Zde nebezpečí spočívá v množství nahromaděné energie, která může být náraz tj. výbuchem uvolněna. Tato energie bývá „zkrocena“ ocelovým anebo jiným obalem, tj. potrubím. Celková energie se skládá z potenciální tlakové a z chemické, která může být výbuchem též uvolněna anebo může způsobit následný požár, podle druhu dopravované tekutiny. Potenciální tlaková energie při stejném DN a stejném tlaku je vždy větší, jestliže tekutinou je plyn.

2.1.2. Únik tekutiny

Zde nebezpečí spočívá ve vlastnostech z potrubí unikající tekutiny, tekutina může být různě nebezpečná, může člověka opařit, popálit, způsobit omrzliny, udusit, poleptat atd. Může vytvářet výbušnou atmosféru. A dále může způsobit škody na majetku a životním prostředí. Ale také trhlina, kterým tekutina uniká, může být iniciátorem výbuchu celého zařízení. A opět před únikem tekutiny nás chrání obal, tj. potrubí.

2.1.3. Následná odvození

Z těchto uvedených základních nebezpečí tj. z výbuchu a z úniku tekutiny, je vidět, že obě jsou závislá jak na vlastnostech obalu, tj. potrubí, tak na vlastnostech tekutiny, z toho vyplývá při cestě do hloubky rozdělení na podrobnější rizika vycházející z vlastností materiálu použitého na potrubí, tak z vlastností tekutiny. Z těchto základních nebezpečí je možné odvodit podrobnější nebezpečí či rizika.

2.2. Možnosti vypořádání některých nebezpečí závislých na vlastnostech konstrukce, materiálu a hydraulických jevech ve fázi návrhu potrubí

2.2.1. Volba vhodných materiálů

2.2.1.1. Volba vhodných materiálů z důvodů vyhovující pevnosti potrubí

Projektant by měl rizika snižovat, proto musí nejprve vyhodnotit pevnost potrubí. Pevnost potrubí tak, jak je chápána v normách není závislá na době provozu. Pevnost potrubí je stejná na začátku i na konci provozu zařízení.

Při výpočtu pevnosti potrubí jsou zde porovnávána napětí od uvedených zatížení s napětími dovolenými. Dovolená napětí se získávají z údajů o pevnostech a o mezích kluzu, které jsou uvedeny v normách, týkajících se použitého materiálu. Abychom získali tato dovolená napětí, musíme pevnost a mez kluzu vydělit bezpečnostními koeficienty. Uvedené však platí pouze pro houževnaté materiály.

Normy předepisují, aby pevnost potrubí odolávala zatížením trvalým, zatížením teplotou a zatížením příležitostným.

Zatížení tlakem (trvalé zatížení) a zatížení teplotou určuje projekt celého zařízení. Aby nebylo takovéto zatížení překročeno, jsou zde instalovány bezpečnostní prvky (ať již na principu mechanickém či elektrickém), které uvedená zatížení hlídají. Bezpečnostní prvky na mechanickém principu jsou pojišťovací ventil či průtržná membrána.

Zatížení příležitostná se rozdělují zatížení klimatická a dynamická. Klimatická zatížení jsou zatížení sněhem a zatížení větrem. Dynamická zatížení se rozdělují na zatížení rázem (hydraulický ráz, průtok dvou fází potrubím, akce pojišťovacího ventilu atd.), zatížení a zatížení zemětřesením. Klimatická i dynamická zatížení se kontrolují jenom výpočtem. Velikosti zatížení klimatických, zatížení zemětřesením a některých zatížení rázem jsou dány příslušnými technickými normami. Samozřejmě se může stát, že příležitostná zatížení jsou větší, a to zcela mimořádně, než určuje norma. Norma pak udává anebo by měla udávat, jaká je pravděpodobnost, že zatížení bude větší, abychom s tím v analýze rizik projektu mohli počítat.

Potrubí zatížené některými druhy rázů se vypočítávají pomocí všeobecně známých fyzikálních zákonů, technická norma potom určuje jen některé konstanty.

Zatížení kmitáním potrubí (rezonancí) se čistě určuje všeobecně známými fyzikálními zákonitostmi, a jestliže hrozí nebezpečí (tj. výrazné budící síly a frekvence), tento výpočet se má provádět. Zatížení kmitáním potrubí se však může objevit po nějaké době, v průběhu provozu potrubí. Kmitání se může objevit, i když v době začátku provozu zařízení nekmitá. Příčin tohoto jevu je několik, například: Změna tuhosti potrubí (např. postupem koroze), koeficientů tření u kluzných podpěr (fungují jako tlumič kmitání) atd. Z tohoto důvodu se analýza rizik musí vypořádat i s tímto jevem.

Jde o vypořádání rizik pasivní bezpečností.

2.2.1.2. Volba vhodných materiálů z důvodů odstranění křehkého lomu

Riziko křehkého lomu není za provozu kontrolovatelné, i když hrozí při jeho vzniku zničení celého potrubí. Celé odstranění rizika křehkého lomu se děje ve fázi projektování, výroby a zkoušek.

Křehký lom je náhlý nestabilní lom, který nastává při nominálním napětí, které je nižší než makroskopická mez kluzu. Patří mezi mezní stavy konstrukce, kdy v důsledku nejružnějších příčin ztrácí konstrukce plnit funkci, pro kterou je určena.

Je však nutno podotknout, že se na potrubí většinou nacházejí velmi malé výrobní vady. Měli bychom tedy navrhovat konstrukci, která je velmi odolná vůči takovýmto imperfekcím. Tolerance konstrukce vůči poškození je termín používaný k popisu odolnosti konstrukce vůči těmto imperfekcím (a dalším poškozením) bez selhání.

Křehký lom se šíří kolmo na směr většího hlavního napětí, tedy u potrubí je to kolmo na směr obvodového napětí, tedy na stěně potrubí ve směru osy. Rychlost šíření křehkého lomu je rovná rychlosti šíření zvuku v daném materiálu, z kterého je potrubí vyrobeno. Protože rychlost poklesu tlaku v potrubí bývá nižší než rychlost šíření křehkého lomu, proto se křehký lom šíří až k nějaké překážce. Může tak zničit celé potrubí v jediném okamžiku.

Porovnáme-li metodiku hodnocení křehkého lomu, kterou nám předepisuje norma ČSN EN 13480-2 Kovová průmyslová potrubí, část 2. Materiály anebo přístup výpočtu pro křehké materiály i za normálních teplot a lomovou mechaniku, nepodobají se. Při výpočtu v projektu také postupujeme jinak u houževnatých materiálů za nízkých teplot a přirozeně-křehkých materiálů, tj. křehkých i za normálních teplot.

Hodnocení křehkých lomů u houževnatých materiálů podle uvedené normy používá kritéria založená na zkušenostech a definuje minimální úroveň houževnatosti materiálu tak, aby konstrukce mohla tolerovat přiměřenou úroveň velmi malých výrobních vad.

U některých typů ocelí (např. nízkouhlíkových, nízkolegovaných apod.) dochází v tzv. přechodové teplotní oblasti k prudkému snížení plastických vlastností. Původně plastická ocel přechází, při snižování teploty, do křehkého stavu. Tím, za určitých podmínek, vzniká nebezpečí křehkého 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/cm^2), při stanovených teplotách. Pro nízké teploty musí být prokázáno dodržení hodnoty vrubové houževnatosti stanovené normou a provedené pro teplotu TS. Vychází se zde ze skutečnosti, že pro vznik křehkého lomu je nutno splnit současně tři podmínky:

- nadkritická velikost napětí od provozního zatížení kolmo na trhlinu
- přítomnost vady typu trhliny
- nízká hodnota lomové houževnatosti materiálu při dané teplotě.

Pokud některá z těchto podmínek není splněna, nedochází ke vzniku křehkého lomu.

V ČSN EN 13 480-2 Kovová průmyslová potrubí, část 2. Materiály jsou též stanoveny tři metody jak vyřešit riziko křehkého lomu:

1. Metoda založená na praxi. Hlídá hodnotu lomové houževnatosti materiálu.
2. Metoda odvozená z principů lomové mechaniky a z provozní zkušenosti. Hlídá též hodnotu lomové houževnatosti materiálu. Citovaná norma EN 13 480-2 též uvádí nomogramy, pomocí kterých je možno nahradit stanovenou hodnotu vrubové houževnatosti provedenou při teplotě. První dvě podmínky jsou záležitostí pevnostního výpočtu a nedestruktivní kontroly výrobku.
3. Metoda založená na aplikaci lomové mechaniky. Jiná možnost, je využití zákonitostí lomové mechaniky a určit dovolené mechanické napětí, při němž se křehký lom pro daný materiál a danou teplotu TS nešíří. Dále je nutno výpočtem zkontrolovat, zda takto získané dovolené napětí není překročeno. V případě kladného výsledku je možno uvedený materiál akceptovat. Výpočet napětí, při kterém se trhlinka již nešíří, je možné určit z teorie uvedené v kapitole 6.5..

Riziko křehkého lomu u křehkých materiálů i za normálních teplot. Křehký materiál je takový, u něhož nedochází porušením ke vzniku plastických deformací a které mají pevnost v tahu výrazně nižší než pevnost v tlaku. Tyto materiály nemají plastický stav a porušují se přímo křehkým lomem. Patří sem litina. Patří sem plasty, které se používají (provozují) za skelného stavu (tj. PVC). Patří sem ještě sklo a keramika. Zde se ve výpočtu používá poměrně velký koeficient bezpečnosti pro výpočet dovoleného napětí. Odvození tohoto koeficientu je možno najít např. v literatuře v kapitole 2.7.3. Doporučená a použitá literatura, položka [14.]. Jak je možné odvodit z definice křehkého materiálu, nemá tento plastickou oblast a všechny lomy tohoto materiálu jsou křehké, tj. zlomí se najednou.

Ještě jednou je nutno připomenout, že celé odstranění popsání rizika křehkého lomu se děje ve fázi projektování, výroby a zkoušek.

Problematiku křehkého, ale i plastického lomu řeší lomová mechanika. U potrubí má svoje praktické uplatnění zejména u vad vzniklých při provozu. Zabýváme se s ní v kapitole 6.5. Výpočet kritického rozměru trhliny lomovou mechanikou.

Jde o vypořádání rizik pasivní bezpečností.

2.2.1.3. Volba vhodných materiálů z důvodů chemické odolnosti

Chemickou odolnost kovů, plastů i ostatních materiálů je možné najít v technických normách, v literatuře a na různých adresách internetu. My uvádíme odpovídající internetové adresy v kapitole 8.5. Zajímavé internetové adresy.

Celkově lze uvést, že materiály pro průmyslová potrubí jsou uvedeny v ČSN EN 13480-2 Kovová průmyslová potrubí, část 2. Materiály. Materiály pro ropovody a plynovody jsou uvedeny ČSN EN ISO 3183

Volíme vždy materiál s dostatečnou chemickou odolností.

2.2.2. Volba vhodné konstrukce pro vyřešení nebezpečí vyplývajících z mezních stavů použitelnosti.

Mezi mezní stavy použitelnosti potrubí (také se používá název: stav omezeného poškození) počítáme:

1. Nepřekročení takového průhybu potrubí, který neumožňuje odvzdušnění potrubí nebo vypouštění kapaliny z potrubí
2. Stabilita potrubí vůči vzpěru (např. při pevné montáži u plastů), tj. vyosení bez „zlomení“ potrubí
3. Nepřekročení takového posuvu potrubí způsobeného tepelnou dilatací, který narušuje minimální dovolenou vzdálenost mezi potrubími či mezi potrubím a jiným objektem. Dále může narušovat povolenou hodnotu vychýlení závěsu.

Tyto mezní stavy umožňují potrubí plnit svoji základní funkci. Je však špatné, když je potrubí v takovémto stavu již od začátku provozu, jestliže to tak je, je to chyba projektanta. Dodržení technických norem. Jde o vypořádání rizik pasivní bezpečnosti.

2.2.3. Volba vhodné konstrukce využíváním systémů aktivní bezpečnosti

2.2.3.1. Pojišťovací ventil a průtržná membrána

Místo způsob instalace a výpočet dimenze uvedených zařízení je určen v příslušných technických normách tak, aby tato zařízení plnila svůj účel. Tímto účelem je řízení rizika překročení maximálního dovoleného tlaku.

2.2.3.2. Jiné systémy aktivní bezpečnosti na mechanickém základu

Jako příklady jiných systémů aktivní bezpečnosti na mechanickém základu můžeme uvést: Tlumič hydraulických pulzů, Tlumící zařízení hydraulických rázů, tlumiče vibrací potrubí, omezovače vibrací potrubí, které povolují pomalý pohyb způsobený tepelnou dilatací a zablokuje rychlý pohyb způsobený např. zemětřesením. Jistě lze přijít i na další.

2.2.3.3. Elektronické systémy

Elektronické systémy hlídají většinou nepřekročení nejvyšší dovolené teploty a nejvyššího dovoleného tlaku. Mohou však i kontrolovat jiné hodnoty např. průběh provozních

hodnot teploty a tlaku, napětí v trubkách či případné vibrace. Systém je tvořen příslušnými čidly či snímači, zpracováním jejich signálu, upozorněním na řídicím panelu anebo přímo zásahem spočívající v uzavření či otevření dálkově ovládaného ventilu, vypnutím či změnou otáček čerpadla atd.

2.2.3.4. Zdvojené (duplikované) potrubí

Duplikované potrubí se ve velké většině používá pro ohřívání či chlazení vnitřního média, to však není náš případ. V tomto článku se zabýváme případem, kdy je nutné snížit pravděpodobnost poruchy potrubí, z důvodů dopravy velmi nebezpečné látky, jako je chlor či chlorovodík.

Samotnou instalaci duplikovaného potrubí je možné zařadit do systému pasivní bezpečnosti. Avšak instalace čidla (a následného elektronického systému) detekujícího dopravovanou látku do prostoru mezi vnější a vnitřní prostor, učiní z celého zařízení systém aktivní bezpečnosti.

Takto může být řízeno riziko úniku nebezpečné látky.

2.2.4. Příklad vhodné konstrukce pro vypořádání rizika inherentní bezpečností.

Jestliže je zdrojem tlaku odstředivé čerpadlo na kapalinu, bývá konstruováno na určitou výtlačnou výšku uvedené kapaliny. Tato výtlačná výška reprezentuje maximální tlak v potrubí, kterého lze čerpadlem dosáhnout. Jestliže i následující systém pracuje s tímto tlakem a není třeba ho redukovat, můžeme tento maximální tlak prohlásit za maximální dovolený tlak a návazné potrubí (ev. i další zařízení) navrhnout minimálně na tento tlak, nepotřebujeme v tomto systému žádné další hlídání tlaku.

2.2.5. Volba vhodné konstrukce pro vypořádání nebezpečí závislých na hydraulických jevech

2.2.5.1. Pulzace tekutiny

Pulzaci se dá zabránit vložením hydraulického tlumiče pulzace. Konkrétnější údaje lze nalézt v literatuře v kapitole 8.1. Odborná literatura.

2.2.5.2. Rázy a impakty

V případě dlouhého potrubí se dají předpokládat hydraulické rázy. Dále rázy nastávají v případě dopravy média skládajícího se z více fází (např. pevná látka ve vodě nebo vzduchu, či kapalina v plynu). Dále můžeme rázy předpokládat v případě instalace

pojišťovacího ventilu anebo průtržné membrány. Jak toto má být v projektu řešeno najdeme např. v literatuře v kapitole 8.1. Odborná literatura.

2.2.6. Volba vhodné konstrukce dodržením norem a správné inženýrské praxe.

Za řešení, kde jsou vypořádána všechna nebezpečí a rizika se považuje takové řešení, které splňuje požadavky:

- právních předpisů (tj. zákona 22/97 Sb., dále jde zejména o Nařízení vlády č. 218/2015Sb., Směrnice 2014/68/EU (PED), popř. jiných právních předpisů),
- harmonizovaných technických norem, jde zejména o normu ČSN EN 13480 Kovová průmyslová potrubí
- ostatních technických norem
- stavu vědeckých a technických poznatků, známých v době tvorby řešení
- správné inženýrské praxe.

Jde o vypořádání rizik pasivní bezpečností.

2.3. Řízení nebezpečí závislých na vlastnostech materiálu potrubí ve fázi návrhu

2.3.1. Stanovená životnost

Účastníci projektu by se měli dohodnout na požadované životnosti celého zařízení. Toto nazveme „Stanovenou životností“.

Stanovená životnost (L_s) celého potrubního systému je minimální životnost celého systému určená všeobecnými podmínkami, normou nebo smluvně mezi výrobcem a odběratelem. Hodnota bezpečných výpočtových životností jednotlivých kritických míst na zařízení musí být vždy vyšší než minimální životnost celého systému. Není-li takto životnost stanovena, pracuje projekt dále s životností obvyklou, což je u potrubí 20 let.

Účastníci projektu by též měli odhadnout nebo s určitou pravděpodobností určit rozsah hodnot provozního zatížení potrubí.

Od této stanovené životnosti se odvodí korozní přírážka (v případě uhlíkových ocelí), erozní přírážka (v případě existence dvou fází v potrubí), počet cyklů pro nízkocyklovou únavu (v případě kovových potrubí), počet provozních hodin pro creep (v případě kovových potrubí) a velikost materiálových hodnot pro výpočet potrubí z plastu. Opět zde korespondují druhy mezních stavů a druhy nebezpečí.

V následujících kapitolách jde o řízení rizik pasivní bezpečností.

2.3.2. Porušení pevnosti potrubí při korozi/erozi

Ošetření možnosti porušení pevnosti potrubí při korozi/ erozi ve fázi návrhu spočívá v určení dovolené hodnoty korozního či erozního přírůstku pro dobu stanovené životnosti v následném pevnostním výpočtu ve stavu jako by bylo potrubí zkorodované či z erodované.

Všeobecně platí, že při úbytku stěny potrubí nad dovolenou mez, hrozí lom v nejvíce namáhaném místě. Zde koresponduje riziko s mezním stavem potrubí, který je též nazývaný a počítaný jako kontrola pevnosti, viz kapitola 3.3.2.

Mezní stav je však ten samý, jako když stoupne napětí nad dovolenou hodnotu, tj. kontrola pevnosti při maximálně dovoleném snížení tloušťky stěny korozi či erozí.

V projektu se podle klasifikace vnějšího prostředí potrubí navrhne nátěrový systém. Při jeho poškození v průběhu provozu se musí opravit či obnovit. Nátěrový systém zvyšuje odolnost potrubí proti korozi

Podle ČSN EN ISO 12944-2 se vnější prostředí dělí do následujících stupňů:

Šest stupňů korozní agresivity atmosféry:

C1 velmi nízká

C2 nízká

C3 střední

C4 vysoká

C5-I velmi vysoká, průmyslová

C5-M velmi vysoká, přímořská

Tři stupně korozní agresivity vody a půdy:

Im1 ponor do sladké vody

Im2 ponor do mořské nebo brakické vody

Im3 ponor do půdy

2.3.3. Porušení únavové únosnosti

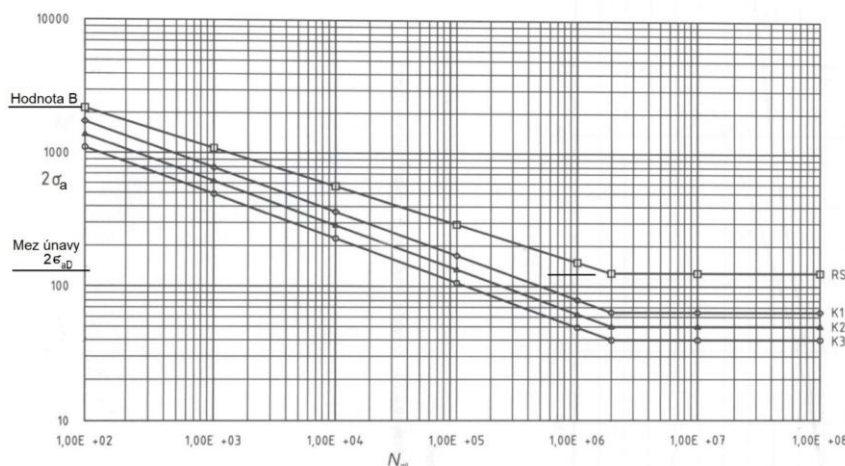
2.3.3.1. Zjišťování únavové únosnosti – všeobecná část

Ošetření možnosti porušení únavové únosnosti ve fázi návrhu spočívá v určení maximálního počtu zatěžovacích cyklů pro předem stanovenou životnost a v jeho porovnání s dovoleným počtem zatěžovacích cyklů. Dovolený počet zatěžovacích cyklů je odvozen z únavových křivek uvedených v příslušných normách. Tento počet dovolených cyklů je korigován konkrétní konstrukcí. A to zejména těmito součiniteli:

- součinitel vlivu konkrétního tvaru potrubí, rozřazením do tříd K1, K2, K3
- součinitel vlivu tloušťky stěny potrubí, F_d
- součinitel vlivu určující výpočtové teploty, F_t

- napětový součinitel η

Tyto součinitele jsou definovány též v jednotlivých výpočtářských normách. Únavová křivka v normě ČSN EN 13480-3 je takováto:



Obr. 2.1. Únavové křivky. Horní křivka je pro základní materiál a tři dolní jsou pro různé třídy svarů K1, K2, K3

Dovolенý počet cyklů můžeme odečíst z uvedeného obrázku únavových křivek anebo ho můžeme vypočítat – vzorec platí pouze pro rozsah od hodnoty B do meze únavy (tj. část křivky se sklonem):

$$N_{all} = \left(\frac{B}{2\sigma_a} \right)^m$$

kde N_{all} je maximální dovolený počet cyklů účinků zatížení odvozené z únavové křivky

m je koeficient sklonu únavové křivky.

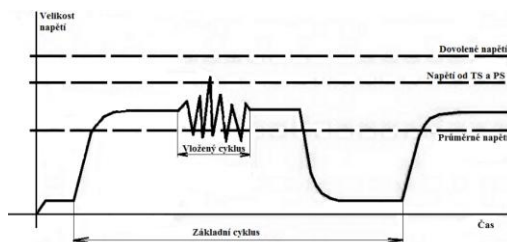
$2\sigma_a$ je rozkmit napětí pro výpočet únavy

Pro započítání ostatních uvedených vlivů se $2\sigma_a$ musí vynásobit součiniteli F_d a F_t a vydělit součinitelem η . Tyto hodnoty jsou normalizovány například v ČSN EN 13480-3.

2.3.3.2. Zjišťování únavové únosnosti – nízkocyklová únava

Jestliže únavové křivky odečteme maximální dovolený počet cyklů, jako další krok provedeme porovnání s počtem cyklů vypočítanými ze stanovené životnosti. Toto se nazývá počet základních cyklů. Jestliže je jejich počet menší než počet cyklů určených ze stanovené životnosti, výpočet je v pořádku. V harmonizovaných normách, mezi nejznámější patří ČSN EN 12952 Vodotrubné kotle a pomocná zařízení, ČSN EN 13445 Netopené tlakové nádoby a ČSN EN 13480 Kovová průmyslová potrubí, je uvedena nutnost výpočtu pro cyklické namáhání, tj. výpočet únavové únosnosti pro větší počet cyklů než je 500.

Jestliže v této fázi projektu známe i některé vložené cykly, měli bychom je započítat. Vložené cykly jsou způsobeny pravidelným poklesem provozních hodnot způsobené technologií. Dále mohou být vložené cykly způsobeny i jevy, které se vyskytují při poruše tlakové sestavy únikem tlaku způsobeným netěsnostmi a jeho pravidelným dorovnáváním, kmitáním potrubní větve, cykly způsobené příležitostnými zatíženími, např. větrem a dalšími typy cyklů. Vložené cykly započítáme tak, že je převedeme na počet ekvivalentních cyklů.



Obr. 2.2. Základní cyklus napětí v potrubí

Ekvivalentní počet zatěžovacích cyklů se vypočítá podle vzorce:

$$N_{eq} = N_f + \sum_{i=1}^n \left\{ \left[\frac{\Delta p_i}{p_c} \right]^{3,5} N_i \right\}$$

Kde N_{eq} je ekvivalentní počet cyklů

N_f je počet základních cyklů

N_i je počet roztříděných cyklů účinků tlaku ve třídě i

p_c je výpočtový tlak tekutiny

Δp_i je velikost jednotlivých tlaků v roztříděných cyklech

Jestliže jsme vypočetli ekvivalentní počet cyklů, porovnáme je s maximálním dovoleným počtem cyklů, vypočítaných z únavové křivky.

Dále si musíme si uvědomit, že popsáný způsob výpočtu je zjednodušený a slouží jen pro pochopení ostatních pasáží knihy, není to úplný návod k výpočtu.

2.3.3.3. Zjišťování únavové únosnosti – vysokocyklová únava

Nejčastěji způsobují vysokocyklovou únavu vibrace. Ošetření možnosti porušení potrubí vibracemi ve fázi návrhu spočívá v provedení dynamického výpočtu. Porovnávají se vlastní frekvence potrubí s frekvencemi budícími, a jestliže nelze provést opatření, aby se vibrace utlumila nebo přeladila, je nutné provést výpočet na vysokocyklovou únavu, zda nenastane překročení únosnosti vysokocyklové únavy. Vibracemi způsobené napětí by se tak mělo pohybovat v oblasti pod mezí únavy.

2.3.4. Překročení dovolené creepové deformace

Ošetření možnosti překročení dovolené creepové deformace ve fázi návrhu spočívá v určení počtu provozních hodin a teploty za stanovenou životnost a na dalším výpočtu.

Princip výpočtu creepu ve výpočtářských normách spočívá v uvedených případech ve snižování pevnosti materiálu koeficientem závislým na životnosti. Výpočtem je tedy kontrolováno, zda předložený návrh vyhoví anebo ne.

Creepová deformace je funkce druhu materiálu, doby expozice, teploty a napětí. V závislosti na velikosti napětí a jeho trvání, se deformace může stát tak velkou, že díl konstrukce již nemůže vykonávat svou funkci. Prakticky každý materiál bude mít creepové deformace při teplotách blízkých se teploty jeho tavení. Je zde tedy závislost na počtu provozních hodin (tedy životnosti) při určité teplotě materiálu potrubí. U životnosti potrubí omezené creepem, je nutné s ohledem na stanovenou životnost, určit předpokládaný počet provozních hodin pro tuto životnost při předpokládané teplotě.

V materiálových listech anebo jiných materiálových normách jsou určeny mezní napětí pro danou teplotu a daný počet provozních hodin tak, aby creepová deformace nepřekročila 1% za 100 000 hod. Toto mezní napětí se dále vydělí koeficientem bezpečnosti SF_{cr} a dostáváme napětí dovolené, s kterým ve výpočtu zacházíme tak, jakoby to bylo jakékoli jiné dovolené napětí.

V případech, kde je životnost specifikována pro méně než 100 000 h, se použije jedna z následujících metod podle toho, je-li zajištěn monitorovací systém životnosti.

- a) Není-li zajištěn, musí být součinitel bezpečnosti SF_{cr} roven 1,5
- b) Je-li zajištěn, může se specifikovat součinitel bezpečnosti SF_{cr} 1,25,

Monitorovací systém bezpečnosti sleduje, aby nebyla překročena creepová deformace 1% (střední hodnota) pro 100 000 h. Čili na existenci monitorovacího zatížení je závislý bezpečnostní koeficient pro creepový výpočet do 100 000 provozních hodin. Nad tuto hodnotu provozních hodin není bezpečnostní koeficient na existenci monitorovacího systému závislý.

Dále si musíme si uvědomit, že popsáný způsob výpočtu je zjednodušený a slouží jen pro pochopení ostatních pasáží knihy, není to úplný návod k výpočtu.

2.3.5. Porušení těsnosti přírubového spoje

Nejprve se musí určit druh výpočtu přírubového spoje. Jsou možné dva způsoby metoda Forge - Taylora a metoda pevnostně-těsnostní podle ČSN EN 1591-1. Z obou výpočtů vyjdou utahovací momenty šroubů, které je třeba dodržet. Pro aplikaci metody ČSN EN 1591-1 je nutné, aby těsnění mělo certifikát a aby šroubový spoj prováděli pracovníci vyškolení podle ČSN EN 1591-4 „Kvalifikace personálu odpovědného za montáž šroubových

spojů na zařízeních podléhající směrnici pro tlakové nádoby“. Na závěr se provede těstnostní či tlakovou zkouška celého úseku.

Každý přírubový spoj má určité úniky, i když malé a určité malé procento poškození. Proto je lepší, v případě agresivního média použít svarový spoj.

2.3.6. Porušení potrubí v zemi od zatížení nadložím, dopravou a vodorovnými tlaky zeminy

Ošetření možnosti porušení potrubí v zemi od zatížení nadložím dopravou a bočními tlaky ve fázi návrhu spočívá v určení zatížení a pevnostním výpočtu.

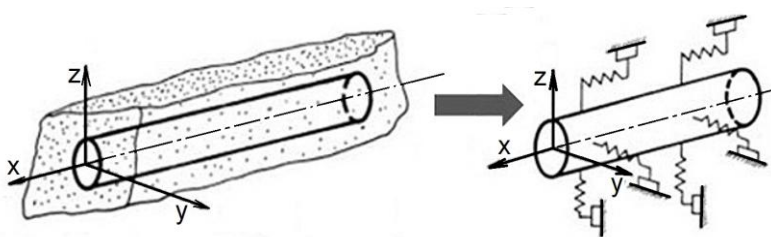
Zatížení potrubí v zemi se skládá z těchto prvků:

- Zatížení zásypem zeminy, které je jiné pro široký a úzký výkop. V případě úzkého výkopu je svislé zatížení brzděno třením nezkonsolidovaného zásypu s okrajem původní zeminy. V případě širokého výkopu zemina tlačí na potrubí i z boku, avšak není zde výše uvedené tření. Zásyp zeminou vytváří ohybový moment ve stěně trubky. Tento moment způsobuje ve stěně trubky napětí.

- Zatížení povrchu terénu. Za normálních podmínek je zatížení povrchu terénu včetně dynamických přírůstků považováno za nahodilé zatížení. Zatížení od dopravy způsobuje svislé, vodorovné, statické a dynamické síly. Zatížení povrchu terénu se zavádí se v případě komunikace modelováním vlivu kolového tlaku návrhového vozidla. Zemina nad potrubím kolové tlaky roznáší

- Zatížení potrubí v jeho podélné ose, je způsobenou tepelnou roztažností potrubí, které se přizpůsobí teplotě média. Anebo se může potrubí prodloužit vnitřním tlakem Bourdonovým jevem. Podobné napětí vzniká, jestliže se okolo potrubí pohybuje naopak zemina. V takovémto případě vzniká třecí síla mezi nadložím (většinou pískem) a povrchem trubky, která následně zabraňuje úplnému rozvinutí deformace potrubí tak, že uvnitř potrubí způsobuje podélné napětí, které se řadí mezi sekundární.

Výpočet potrubí v zemi pomocí výpočtového programu pro potrubí se provádí tak, že výpočtový program nahradí působení zeminy náhradním zatížením. Náhradní zatížení ve všech třech osách simuluje zatížení zeminou. U každé osy působí zatížení proti sobě v kladné i záporné orientaci. Jedná se o osy podle obrázku dále, kde 1 nahrazuje zatížení zeminou ve vertikálním směru, 2 ve směru osy a 3 ve směru horizontálním.



Obr. 2.3. Nahrazení zatížení zeminou v programu

Mezní stav je však ten samý, jako když stoupne napětí nad dovolenou hodnotu, tj. kontrola pevnosti při maximálně dovoleném snížení tloušťky stěny korozí či erozí.

I zde si musíme si uvědomit, že popsany způsob výpočtu je zjednodušený a slouží jen pro pochopení ostatních pasáží knihy, není to úplný návod k výpočtu.

2.3.7. Porušení potrubí v zemi od pohybu podloží

Ošetření možnosti porušení potrubí v zemi od pohybu podloží ve fázi návrhu spočívá v provedení výpočtu se zahrnutím pohybu podloží. Sem patří:

- Pokles podloží pružností zeminy. Při přenášení zatížení do podloží dochází ke vzájemným posuvům pevných částic, ke zmenšování objemu pórů, ke stlačování zeminy. Pokud jsou póry vyplněny vodou, je přitom mobilizován tlak v pórech. Platí tedy, že celkové totální napětí působící v zemině se přenáší jednak na pevný skelet, jednak na vodu v pórech. Není-li zemina plně satureovaná vodou, je v pórech voda a vzduch, pokles tedy závisí i na stupni nasycení vodou.

- Poddolované podloží. Jestliže je potrubí vedeno v oblastech bývalých anebo současných hlubinných dolů, musíme potrubí navrhovat tak, aby se nepoškodilo v případě, že dojde vlivem poddolování k přetvoření zeminy.

- Podloží s nedokončeným konsolidačním sedáním. V nezkonsolidované zemině, tvořené například čerstvým násypem je tlak vody v pórech lokální, dochází tak k proudění vody z místa většího tlaku do místa tlaku menšího. Když se tlaky vyrovnají a tlak se tak ustálí, je zemina konsolidovaná. Nás zajímá nedokončené konsolidační sedání, které je tvořeno v násypu, na který anebo do kterého se instaluje potrubí. Násyp nemusí být z homogenní zeminy, část tedy může sedat rychleji, část pomaleji. Pro stanovení sedání existuje několik metod, avšak tyto jsou nepřesné a poskytují pouze přibližné údaje.

Podemleté podloží vodou – nepředpokládané přetvoření zeminy. Toto zatížení se dá těžko predikovat, proto se určuje jen na základě zkušenosti odborného pracovníka s územím, kterému se věnuje. Podemleté podloží je způsobeno:

1. Přetvořením, po zmrznutí a roztátí zeminy. Jestliže je potrubí uloženo v nezámrazné hloubce, děje se pouze nad potrubím.

2. Vytvářením dutin (kavern) např. spláchnutím části zeminy např. do kanalizace a následný sesuv, propad ulice.

3. Špatným započítáním dopravního provozu, popřípadě jeho nepředpokládané zvýšení.

Z uvedeného výčtu je vidět, že nejhorší z hlediska životnosti jsou pohyby podloží, a to z jakéhokoli důvodu, protože se do výpočtu v projektu těžko zohledňují.

Z uvedeného je vidět, že zde většinou zbude mnoho při návrhu neřešitelných nebezpečí, která by se mohla označit jako zbytková.

2.3.8. Porušení funkce plastových potrubí

2.3.8.1. Principy návrhu a výpočtu plastových potrubí

Ošetření možnosti porušení plastových potrubí ve fázi návrhu spočívá v určení stanovené životnosti, v určení materiálových konstant plastu pro tuto stanovenou životnost a ve výpočtu. Výpočet musí zahrnovat creep a relaxaci plastů dodržení určených materiálových konstant pro stanovenou životnost.

Omezení tlaku a teploty u plastů. Plasty jsou ve všeobecnosti méně odolné vůči teplotě, nejvyšší teplota použití plastů je okolo 150°C, a není to ve všeobecnosti, každý plast odolává jiné teplotě. Plasty mají i menší pevnost, která je závislá nejen na teplotě, ale i na životnosti. Vždy při úmyslu provést náhradu je nutné vždy provést pevnostní výpočet. Označení PN pro plasty znamená, že vydrží uvedený tlak jen při teplotě média 20°C a životnosti 50 let.

Dále je nutné si uvědomit i to, že je řádově menší i modul pružnosti a že se mění v závislosti na životnosti potrubí a teplotě. Proto je jiná i vzdálenost podpěr, kde se navíc průhyb může zvětšovat v závislosti na době provozu.

Kritéria dovoleného namáhání za působení viskoelastického stavu. Viskoelastickým stavem rozumíme stav, při kterém působí pro primární napětí creep a při sekundárním napětí relaxace a zároveň není překročeno dovolené namáhání. Plasty tedy mají tyto materiálové vlastnosti: creep a relaxaci.

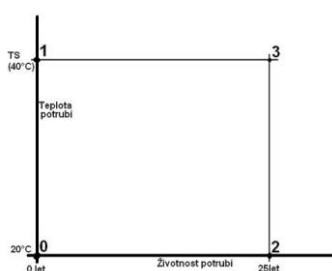
Creep znamená nárůst deformace při konstantním zatížení v závislosti jen na čase. Materiálové vlastnosti (modul pružnosti a dovolené napětí) se tedy v čase zmenšují. Proto počítáme s materiálovými vlastnostmi pro určenou životnost. Zatížení, pro které to takto funguje, je vnitřní tlak, klimatická zatížení a ostatní zatížení způsobující primární napětí. Z těchto důvodů je nutno provést výpočet s materiálovými konstantami odpovídající konečné životnosti.

Relaxace znamená pokles napětí při konstantní deformaci v závislosti jen na čase. Čili napětí způsobené tepelnou roztažností se s časem bude snižovat. Proto maximální

napětí způsobené tepelnou roztažností bude hned zkraje při prvním zatížení. Z tohoto důvodu je tento druhý výpočet proveden s materiálovými vlastnostmi pro 0,0 let.

Ten samý výpočtový model tedy musí být tedy vypočítán 2x, tj. 1. pro první náběh (první zatížení) tj. 0,0 let a za 2. pro uvažovanou životnost 20 let. Z těchto důvodů je každý materiál zpracován pro 0,0 let a 20,0 let.

Z těchto důvodů musíme vytvořit materiálovou databázi, kde budou materiálové vlastnosti pro nula let a pro předpokládanou konečnou životnost. V každé vlastnosti budou specifikovány pro plný rozsah pracovních teplot materiálu. Jde o tyto materiálové vlastnosti: Modul pružnosti, dovolené napětí, Poissonovo číslo (poměr), koeficient tepelné roztažnosti. Tj. pro body 0, 1, 2, 3 podle následujícího obrázku.



Obr. 2.4. Graf teplota – životnost

Při výpočtu si musíme být vědomi, že jsou jevy, které jsou u kovů a plastů jiné anebo nejsou ještě probádané, je to např. rozsah povolení redistribuce napětí, velikost součinitele koncentrace napětí a jeho pohyb v čase, únavu plastů apod.

Také zde si musíme si uvědomit, že popsany způsob výpočtu je zjednodušený a slouží jen pro pochopení ostatních pasáží knihy, není to úplný návod k výpočtu.

2.3.8.2. Seznam nebezpečí, které je třeba odstranit při návrhu plastových potrubí

Nebezpečí vysoké tepelné roztažnosti. Plasty mají všeobecně vysokou tepelnou roztažnost, řádově větší než u kovů. Je proto nutná častější tepelná kompenzace.

Nebezpečí stárnutí plastů vlivem UV záření. Každý polymer, tedy i plasty, z nichž se vyrábí, potrubí se rozkládá vlivem UV záření. Tomuto lze zabránit takto:

- použitím polybutenu, který je odolnější anebo vhodných aditiv, které se do plastu přidávají.
- použitím tepelné izolace, která nejen že brání úniku tepla, ale i přístupu UV záření anebo jiných způsobů zakrytí
- instalací pod zemí, kde je přístupu UV záření zabráněno zeminou anebo instalací v hale, neboť okna UV záření nepropouštějí.

Nebezpečí vzniku elektrostatického náboje v zónách s nebezpečím výbuchu. V případě, že je potrubí vedeno zónami s nebezpečím výbuchu, je nutné ho chránit proti vzniku elektrostatického náboje, který vzniká na povrchu plastových potrubí např. protékáním média.

Zóna s nebezpečím výbuchu může být vně i uvnitř trubky. Uvnitř trubky vzniká vždy, když médiem je hořlavá tekutina. Zóna s nebezpečím výbuchu dále vzniká okolo přírubového spoje potrubí, kterým protéká hořlavá tekutina. Může sem však zasahovat i zóna, která nemá s potrubím nic společného.

Aby se v potrubí, kterým protéká médium, nehromadil elektrostatický náboj, musí se provést některá z těchto opatření:

- použití elektricky vodivého plastu, který se získá tak, že do plastu je přidáno elektricky vodivé aditivum, nejčastěji uhlík
- pro ochranu vnějšího povrchu plastového potrubí je možno provést na vnějším povrchu potrubí elektricky vodivý nátěr
- pro ochranu vnitřního povrchu je možno do potrubí vložit měděné kroužky anebo celý skelet.

Je samozřejmé, že všechny tyto uvedené prvky musí být elektricky pospojovány a uzemněny.

Nebezpečí zabránění boje s požárem. Na základě provedené analýzy rizik celého zařízení, je nutné označit potrubní větve, které jsou nutné pro zabránění vzniku anebo pro boj s již vzniklým požárem. Jako příklad můžeme uvést rozvody vzduch, kterými jsou dálkově ovládány ventily, které zavírají přívod hořlavého média. Neboť v takovémto případě by tato potrubí byla zničena v první řadě. Takováto potrubí nesmí být provedena z plastů.

Nebezpečí chybného spojení plastových a kovových potrubí. Nejbezpečnější spojení těchto dvou druhů potrubí je spojení přírubové. Na straně plastového potrubí se musí volit typ s otočnou přírubou. Samotná otočná příruba je kovová a je normalizovaná, otvory pro šrouby tak mají stejný počet a velikost jako příruba na kovové části potrubí. Na konec plastového potrubí je pak navařen plastový kroužek, který je přitlačován na společné těsnění.

Je nutno si uvědomit, že potrubí na obou stranách přírubového spoje mají výrazně různé vlastnosti a je nutné posouzení výpočtářem.

2.3.9. Porušení potrubí vibracemi

Ošetření možnosti porušení potrubí vibracemi ve fázi návrhu spočívá v provedení dynamického výpočtu. Výsledek výpočtu by měl být takový, že potrubí nevibruje. Měli by se tedy porovnat vlastní frekvence potrubí s frekvencemi budícími a udělat opatření, aby nenastala rezonance. Nejčastějším opatřením je změna vlastní frekvence tak, aby se utvořil

kanál okolo budící frekvence široký, např. $\pm 10\%$. Změna vlastní frekvence potrubí (jinak řečeno „přeladění potrubí“) znamená změnu tuhosti anebo hmotnosti potrubí anebo zabráněním tvaru kmitání vlastní frekvence, tj. vložením anebo přemístěním podpěr na místo vibrace. Dále je možná izolace budící frekvence vložením hadice či, je-li to možné, vlnovcového kompenzátoru. Konkrétnější údaje lze nalézt v literatuře v kapitole 8.1. Odborná literatura.

2.3.10. Porušení potrubí zemětřesením

Ošetření možnosti porušení potrubí zemětřesením ve fázi návrhu spočívá v provedení dynamického výpočtu.

V případě, že se umístění projektu nachází v příslušné úrovni seizmické oblasti anebo se jedná o jadernou elektrárnu, je nutné provést protiseizmické opatření vycházející ze seizmického výpočtu. Jak má být v projektu řešena seizmicita potrubí je uvedeno např. v literatuře v kapitole 8.1. Odborná literatura anebo v příslušných normách.

2.4. Řízení rizik ve fázi návrhu tlakové sestavy závislých na chemických vlastnostech a množství média

2.4.1. Ohrožení výbuchem a únikem tekutiny s využitím PEDu

2.4.1.1. Všeobecné poznámky o PEDu

Zde využíváme již zpracované hodnocení nebezpečí směrnicí EU, nazvanou Pressure Equipment Directive. Toto hodnocení závisí na těchto vlastnostech média: skupenství, rozdělení média na bezpečné/ nebezpečné, množství udávané v DN potrubí, chemická stálost, tlak a teplota média. Čím větší kategorie potrubí, tím větší opatření pro bezpečnost. Je zde možné využít tato hlediska i pro patření v provozu.

PED je NV č. 219/2016 Sb., Nařízení vlády, kterým se stanoví technické požadavky na tlaková zařízení. Evropská směrnice má číslo: 2014/68/EU Pressure Equipment Directive (PED). Z hlediska analýzy rizik jsou nejdůležitější přílohy, a to zejména: Příloha 1. Základní bezpečnostní požadavky, Příloha 2. Grafy posuzování shody, Příloha 3. Postupy posuzování shody.

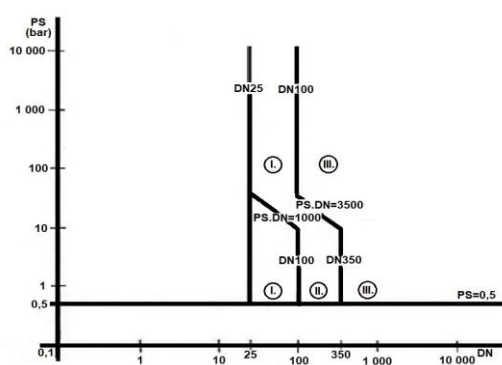
Tato směrnice se nevztahuje na:

- Potrubí s nejvyšším dovoleným tlakem s menším než anebo rovno 0,5bar g
- Dálková potrubní vedení, (nevztahuje se na redukční, kompresorové a jiné stanice)
- Sítě pro dodávku, rozvod a vypouštění vody
- Potrubí v jaderných zařízeních, když mohou způsobit únik radioaktivity
- Potrubí teplovodních otopných systémů

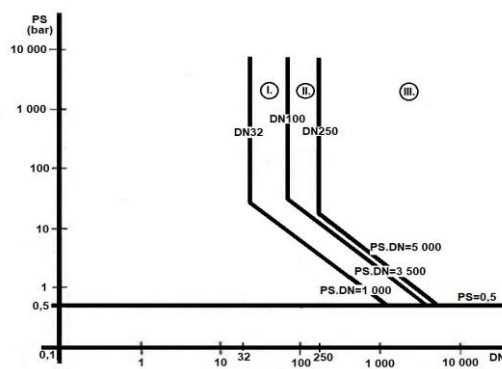
Kategorie pro potrubí jsou tři (I., II., III. anebo 1., 2., 3.). Jestliže potrubí není zařazeno do žádné z těchto kategorií, a přesto spadá pod PED (tj. tlak větší než 0,5 bar g), označuje se jako kategorie 0. A další poslední skupinou je potrubí, které má tlak menší anebo rovno 0,5 bar g. Takovéto potrubí můžeme označit např. „nespadá pod PED“. Můžeme tedy riziko u potrubí kategorizovat takto: „Nespadá pod PED, 0., 1., 2., 3.“. Číslice pro označení kategorie potrubí mohou být arabské i římské.

2.4.1.2. Kategorizace potrubí podle PED

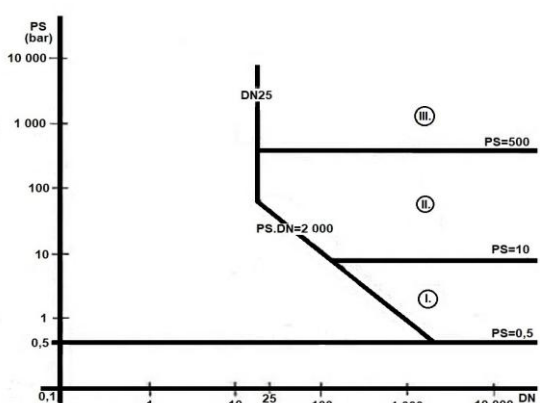
Nejdříve je tedy nutno rozdělit tekutiny do skupin na nebezpečnou a bezpečnou (jiný překlad „jinou“), tj. skupina 1 a 2 – blíže viz samostatná kapitola v dalším. A také podle stavu tekutiny tj. jaké je skupenství, G anebo L. blíže viz samostatná kapitola v dalším. Vzniknou tak čtyři kombinace. Pro každou kombinaci je v PED uveden diagram, který určuje na základě DN a tlaku zařazení do kategorie. Grafy viz obrázky dále.



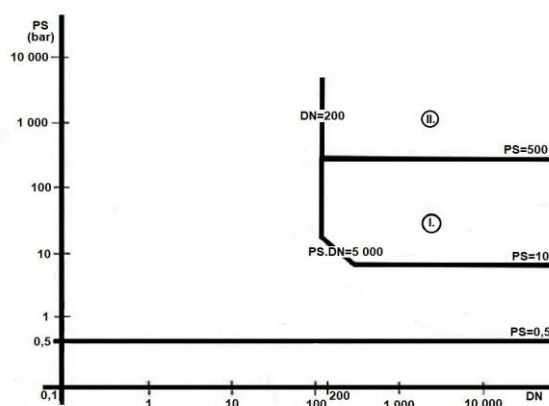
Obr. 2.5. Graf PED č. 6 pro kombinaci 1 a G



Obr. 2.6 Graf PED č. 7 pro kombinaci 2 a G



Obr. 2.7 Graf PED č. 8 pro kombinaci 1 a L



Obr. 2.8 Graf PED č. 9 pro kombinaci 2 a L

Každé kategorii jsou přiřazeny moduly, kterých se posuzuje prohlášení o shodě. V grafu č. 6 se ještě určuje kategorie, také podle toho jestli se jedná o stabilní anebo nestabilní tekutinu – blíže viz samostatná kapitola v dalším.

2.4.1.3. Určení skupiny tekutiny

Skupina tekutiny: 1. Nebezpečná
2. ostatní (bezpečná)

Skupina 1. "nebezpečná" zahrnuje látky a směsi, jejichž definice je uvedena v čl. 2 bodech 7 a 8 nařízení (ES) č. 1272/2008 a které jsou klasifikovány jako nebezpečné podle následujících tříd fyzikální nebezpečnosti nebo nebezpečnosti pro zdraví, stanovených v částech 2 a 3 přílohy I nařízení (ES) č. 1272/2008.

Klasifikace dle čl. 2 bodech 7 a 8 nařízení (ES) č. 1272/1908	
a) výbušné	nestabilní výbušniny nebo výbušniny podtřídy 1.1, 1.2, 1.3, 1.4 a 1.5
b) hořlavé	hořlavé plyny kategorie 1 a 2
	hořlavé kapaliny kategorie 1 a 2,
	hořlavé kapaliny kategorie 3, je-li nejvyšší dovolená teplota vyšší než bod vzplanutí,
	hořlavé tuhé látky kategorie 1 a 2,
	obsažené v tlakových zařízeních s nejvyšší dovolenou teplotou TS, která přesahuje bod vzplanutí tekutiny,
c) oxidující	oxidující plyny kategorie 1
	oxidující kapaliny kategorie 1, 2 a 3,
	oxidující tuhé látky kategorie 1, 2 a 3,
d) samovolně reagující	samovolně reagující látky a směsi typů A až F,
e) organické peroxidy	organické peroxidy typů A až F,
f) akutní toxicita	akutní orální toxicita kategorie 1 a 2,
	akutní dermální toxicita kategorie 1 a 2,
	akutní inhalační toxicita kategorie 1, 2 a 3,
	toxicita pro specifické cílové orgány, jednorázová expozice kategorie 1

Tab. 2.1 Zeznam skupin tekutin s označení 1, tj. nebezpečná

Nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 1272/2008 ze dne 15. prosince 2008 o klasifikaci, označování a balení látek a směsí, o změně a zrušení směrnic 67/548/EHS a 1999/45/ES a o změně nařízení (ES) č. 1807/2006."

2.4.1.4. Určení stavu tekutiny

Stav tekutiny: 1. plyn, pára
 2. kapalina

1. Jako "Plyn, pára" počítáme pro určování kategorie potrubí: plyny, plyny rozpuštěné pod tlakem, páry a také ty kapaliny, jejichž tlak par při nejvyšší dovolené teplotě je o více než 0,5 bar vyšší než normální atmosférický tlak, tj. 1,013 bar.

2. Jako "Kapalina" počítáme pro určování kategorie potrubí: ty kapaliny, jejichž tlak par nepřesahuje při nejvyšší dovolené teplotě normální atmosférický tlak, (tj. 1,013 bar) o více než 0,5 bar.

Proto se musí zjišťovat tlak par kapaliny při nejvyšší dovolené teplotě (TS). Musí tedy platit:

$$p_{TS} \leq 0,5 \text{ bar } g = 1,513 \text{ bar } a$$

2.4.1.5. Definice nestabilního plynu

Nestabilním plynem se v této souvislosti rozumí plyn anebo pára, u nichž může samovolně dojít k přeměně spojené s náhlým zvýšením tlaku. K takové přeměně může například dojít v důsledku poměrně malé odchylky pracovních podmínek (např. tlaku, teploty) v uzavřeném objemu. Látky tohoto druhu jsou zpravidla uváděny na trh ve stabilizované podobě. Typickými představiteli nestabilních plynů jsou acetylen, methy lacetylen či vinylfluorid.

2.4.1.6. Řízení rizik závislých na chemických vlastnostech a množství média

Čím je potrubí zařazeno do vyšší kategorie, tím jsou předepsána PEDem a normami, harmonizovanými s PED, větší a důslednější kontrolní opatření, pro projektování, pro výrobu, pro zkoušení (například rozsah NDT) a také pro certifikaci.

Uvedené postupy pro posuzování shody podle PED platí pouze pro potrubí. Pro certifikaci, tj. pro posuzování notifikovanou osobou v závislosti na kategorii tlakového zařízení platí následující tabulka. Jednotlivé postupy pro posouzení shody a EU přezkoušení návrhu jsou uvedeny v Příloze 3. směrnice PED.

KATEGORIE	TECHNICKÁ DOKUMENTACE	POSOUZENÍ NO	VÝROBA, MONTÁŽ	POSOUZENÍ NO	PROHLÁŠENÍ O SHODĚ
0.	ANO	NE	ANO	NE	Nevystavuje se
I.	ANO včetně výpočtu	NE	ANO	NE	ANO, Postup posuzování shody A,
II.	ANO včetně výpočtu	NE	ANO	ANO společně s technickou dokumentací,	ANO, Postup posuzování shody A2, D1 nebo E1
III.	ANO včetně výpočtu	ANO, přezkoumání návrhu, součást H	ANO	ANO	ANO, Postup posuzování shody B+E, B+C2, B+D, B+F nebo H
IV	ANO včetně výpočtu	ANO, přezkoumání návrhu, součást H1	ANO	ANO	ANO, Postup posuzování shody B+D, B+F, G nebo H1

Tab. 2.2. Tabulka kategorií potrubí

2.4.2. Ohrožení výbuchem podle ATEXu

2.4.2.1. O ATEXu

ATEX 2014/34/EU Atmosfére Explosive - Equipment and Protective Systems for Use in Potentially Explosive Atmospheres - směrnice EU stanovující technické požadavky na zařízení a ochranné systémy určené pro použití v prostředí s nebezpečím výbuchu a na bezpečnostní, řídicí a regulační přístroje určené pro použití mimo prostředí s nebezpečím výbuchu, které však jsou nutné nebo přispívají k bezpečné funkci zařízení a ochranných systémů z hlediska nebezpečí výbuchu. Směrnice ATEX je označena číslem 2014/34/EU a je identická s nařízením vlády č. 116/2016 Sb. Také se mu říká konstrukční ATEX.

2.4.2.2. Princip řízení rizik podle ATEXu

Prostředí s nebezpečím výbuchu je prostředí, ve kterém může vzniknout výbušná atmosféra v důsledku místních a provozních podmínek. Uvedená výbušná atmosféra je směs vzduchu s hořlavými látkami ve formě plynů, par, mlh nebo prachů při atmosférických podmínkách, ve které se po vzniku iniciace rozšíří hoření do celé nespálené směsi.

V projektu se v prostředí s nebezpečím výbuchu určí nebezpečné prostory. Tyto prostory jsou dále rozděleny do zón:

a) Zóna 0: prostor, ve kterém je výbušná atmosféra tvořená hořlavými plyny nebo párami přítomna trvale nebo po dlouhé časové období;

- b) Zóna 1: prostor, ve kterém je pravděpodobný vznik výbušné atmosféry tvořené hořlavými plyny nebo párami za normálního provozu;
- c) Zóna 2: prostor, ve kterém není pravděpodobný vznik výbušné atmosféry tvořené hořlavými plyny nebo párami za normálního provozu;
- d) Zóna 20: prostor, ve kterém je nebezpečná výbušná atmosféra tvořená mrakem hořlavých prachů ve vzduchu přítomna trvale nebo po dlouhé časové období nebo často a kde mohou vznikat vrstvy prachu o nekontrolované nebo nepřipustně velké tloušťce;
- e) Zóna 21: prostor, ve kterém je pravděpodobný vznik nebezpečné výbušné atmosféry tvořené mrakem hořlavých prachů ve vzduchu za normálního provozu a kde jsou obvykle přítomny vrstvy hořlavého prachu;
- f) Zóna 22: prostor, ve kterém není pravděpodobný vznik nebezpečné výbušné atmosféry tvořené mrakem hořlavých prachů ve vzduchu za normálního provozu, a pokud vznikne, pak bude přítomna pouze krátkou dobu. A kde dále jsou obvykle přítomny vrstvy nahromaděného hořlavého prachu.

V zónách mohou být umístěny pouze taková zařízení, které odpovídají svou konstrukcí odpovídající skupině a kategorii. Skupina a kategorie zařízení vyjadřují určené použití zařízení a požadovanou úroveň ochrany. Zařízení a ochranné systémy mohou být navrženy pro určitou konkrétní výbušnou atmosféru; v takovém případě musí být odpovídajícím způsobem označeny.

Aby k výbuchu došlo, musí ještě dojít k iniciaci výbuchu. Hodnocení nebezpečí iniciace musí obsahovat informace o všech potenciálních iniciačních zdrojích, o přijatých opatřeních pro zabránění vzniku zdrojů vznícení a o typu ochrany proti vznícení.

Iniciační zdroje jsou:

- povrch zařízení, který je teplejší než je teplota vznícení výbušného prachu nebo než určuje teplotní třída výbušného plynu, páry nebo mlhy
- jiskra způsobená mechanicky
- jiskra způsobená elektrickými zařízeními
- jiskra způsobená elektrostatickým nábojem
- otevřený oheň a horké plyny
- elektromagnetické vlny a ultrazvuk
- ionizující záření
- úder bleskem

Aby výbuch nenastal, musí být realizován některý z typů či prostředků ochrany proti výbuchu. Typy (či prostředky) ochrany proti výbuchu jsou například:

- zajistit, aby nemohly vznikat iniciační zdroje, např. bezpečnou konstrukcí
- zajistit, aby iniciační zdroje nemohly způsobit vznícení, např. hlídáním iniciačních zdrojů

- zabránit přístupu výbušné atmosféry k iniciačním zdrojům, např. kapalinovým závěrem, pevným závěrem
- zachytit výbuch a zabránit šíření plamenů

2.4.2.3. Výbušná atmosféra uvnitř potrubí

Doprava hořlavého média uvnitř potrubí obvykle probíhá tak, že jen koncentrace hořlavé páry ve vzduchu rozhoduje, zda uvnitř potrubí vyskytující se atmosféra je výbušná atmosféra. Pokud je to možné, probíhá doprava takového média v nevýbušném stavu (např. v nevýbušné koncentraci). Při najetí a sjetí potrubního provozu, kdy vznikají různé koncentrace médií, vzniká i možnost výskytu výbušné atmosféry. V takovémto případě se jedná o prostředí s nebezpečím výbuchu a uvnitř potrubí musí být určen druh zóny.

Ochrana proti výbuchu je takováto: zadusíkování, nasazení prostředků omezujících šíření výbuchu v potrubí.

2.4.2.4. Výbušná atmosféra vně potrubí okolo přírubového spoje

S vlastním potrubím má souvislost především zóna prostředí s nebezpečím výbuchu okolo rozmontovatelných spojů, především okolo přírubového spoje.

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

2.4.2.5. Iniciační zdroj výbuchu na potrubí - Povrch potrubí je teplejší než teplota vznícení výbušné atmosféry.

Povrch potrubí, který je teplejší než je teplota vznícení výbušného prachu nebo než určuje teplotní třída výbušného plynu, páry nebo mlhy, je nejtypičtější zdroj iniciace. Ani případná izolace tento zdroj iniciace neodstraňuje, neboť izolace potrubí je pro výbušnou atmosféru průchozí.

Ochrana proti výbuchu je takováto: snížení teploty média, popř. jiné trasování potrubí.

2.4.2.6. Iniciační zdroj výbuchu na potrubí - Elektrostatický náboj na povrchu potrubí.

Jedná se především o plastová potrubí, která nejsou vodivá a tím umožňují vznik elektrostatického náboje na svém vnějším a vnitřním povrchu. V případě umístění plastového potrubí v prostředí s nebezpečím výbuchu, je proto nutné řešit způsob odvedení elektrostatického náboje.

Ochrana proti výbuchu je takováto: odvedení elektrostatického náboje a uzemnění. Odvedení elektrostatického náboje z vnitřního povrchu může být provedenou přímo v potrubí

protékajícím médiem, a to pouze v případě, je-li médium elektricky dostatečně vodivé. Elektrický náboj z média se odvede např. pomocí měděného kroužku umístěného uvnitř potrubí. Tento kroužek se musí uzemnit.

V případě nevodivého potrubím protékajícího média, je možné použít elektricky vodivého plastu, z kterého je potrubí vyrobeno. Elektricky vodivý plast je při výrobě nasycen uhlíkem. Mechanické vlastnosti takového plastového potrubí bývají však horší.

Odvedení elektrostatického náboje z vnějšího povrchu je možné provést použitím již zmíněného elektricky vodivého plastu anebo je možné vnější povrch potrubí opatřit elektricky vodivým nátěrem.

Vždy se však musí provést pospojení a zemnění potrubí.

2.4.2.7. Elektricky vodivé pospojení a zemnění potrubí

Potrubí a jeho jednotlivé díly musí být vodivě pospojeno/propojeno a zemněno s ohledem na požadavky ČSN EN 62305 a ČSN 33 2000, aby byla zajištěna účinná ochrana před bleskem a vlivy statické elektřiny a související ochrana před nebezpečným dotykovým napětím.

Zemnění. Jedná se o propojení jednotlivých tras / potrubních větví provozního potrubí se zemnicí sítí stavby. Propojení se provádí šroubovým spojem s vějířovými podložkami, zemnicím lankem s očky, FeZn pásku anebo tyčí odpovídajícího průřezu s ohledem na přechodový odpor. Místa propojení musí být před propojením zbavena konzervačních látek a nátěru.

Pospojení/ propojení. Pro řádné provedení zemnění je nutné zajistit řádné vodivé pospojení/propojení jednotlivých částí potrubní trasy / potrubní větve – tj. všech potrubních dílů v trase / větvi instalovaných. Toto propojení je prováděno:

Nerozebíratelné za pomoci svarů – toto platí pro potrubní trasy celosvařované,

Rozebíratelné za pomoci přírubového spoje a použitých vějířových podložek.

2.5. Řízení nebezpečí ve fázi výroby a kontroly potrubí

Výroba a kontrola potrubí byla dostatečně zpracována v technických normách. A to se týká potrubí průmyslových, plynových, vodovodního řádu a kanalizace. Ale za všechny můžeme uvést normy:

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

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

2.6. Řízení rizik snižováním potenciálních následků pohromy v návrhu

Během návrhu by se měla v kolektivu s budoucím provozovatelem provést analýza rizik, a kromě již popsaných nebezpečí navrhnout a zhodnotit opatření pro snižování potenciálních následků pohromy. V těchto opatřeních by se mělo zhodnotit např.:

- zda je možné provést snížení počtu zaměstnanců, kteří pracují v oblastech s největším nebezpečím, nějakým opatřením a zapracovat ho do návrhu (projektu)
- zda je v návrhu (projektu) nutná bezpečnostní kanalizace
- zda je možný přístup pro záchranné složky

Apod.

Pro zjištění přijatelnosti rizika se obvykle používá zásada ALARP (as low as reasonably practicable – úroveň rizika je tak nízká, jak je to rozumně možné). Podle této zásady se stanovují dvě úrovně rizika: jestliže je riziko pod dolní mezí všeobecně tolerované oblasti, žádná opatření nejsou nezbytná. Jestliže se riziko nachází nad horní mezí všeobecně tolerované oblasti, riziko se považuje za nepřijatelné. Pokud se riziko nachází mezi horní a dolní mezí, je potřebné vyhledat ekonomicky nejvýhodnější řešení.

3. Řízení rizik pro potrubí v provozu za zásadního přispění technické inspekce

3.1. Typy základních ohrožení při provozu potrubí

Z uvedených základních nebezpečí tj. z výbuchu a z úniku tekutiny, je vidět, že obě jsou závislá jak na vlastnostech obalu, tj. tlakové nádoby či potrubí, tak na vlastnostech tekutiny. Z toho vyplývá při cestě do hloubky rozdělení na podrobnější rizika vycházející z vlastností materiálu použitého na potrubí, tak z vlastností tekutiny. Z těchto základních nebezpečí je možné odvodit podrobnější nebezpečí či rizika.

Dále je nutné si uvědomit, že v provozu již známe více o potenciálních důsledcích jednotlivých nebezpečí. A tím můžeme velikost rizika poměrně přesně odhadnout a hodnotit jeho přijatelnost.

3.2. Velikost ohrožení závislá na druhu, množství a chemických vlastnostech dopravované tekutiny v provozu

3.2.1. Ohrožení závislá na chemických vlastnostech a množství média v provozu – využití PEDu pro provoz

Je doporučeno přebrat hodnocení vlastností a množství média z kapitoly . kde jsou určeny už ve fázi projektu ze směrnice PED.

Dále však by bylo nutné vypracovat hodnocení důležitosti jednotlivých potrubních větví z hlediska bezpečnosti a řízení rizik pro celek. Nejjednodušší je přijmout už něco vypracovaného, proto je dále uveden příklad rozřídění potrubních větví z normy ČSN EN 1998.4 Eurokód 8: Navrhování konstrukcí odolných proti zemětřesení Část 4 Zásobníky, nádrže a potrubí

Provozovatel či projektant musí rozřídít potrubí podle významu do těchto tříd:

Třída I. odpovídá situacím, při kterých při porušení potrubí je ohrožení lidských životů malé a ekonomické či sociální škody jsou malé anebo zanedbatelné.

Třída II. odpovídá situacím, při kterých při porušení potrubí je ohrožení lidských životů střední a ekonomické či sociální škody jsou lokální.

Třída III. odpovídá situacím, při kterých při porušení potrubí je ohrožení lidských životů velké a ekonomické či sociální škody jsou rozsáhlé.

Třída IV. odpovídá situacím, při kterých při porušení potrubí je ohrožení lidských životů výjimečné a ekonomické či sociální škody jsou extrémní.

3.2.2. Ohrožení výbuchem podle ATEX

3.2.2.1. O ATEXu

ATEX 1999/92/ES - směrnice EU o minimálních požadavcích na zvýšení bezpečnosti a ochrany zdraví pracovníků, kteří jsou ohrožováni prostředím s nebezpečím výbuchu. Tato směrnice neřeší technické požadavky na výrobky, ale nezbytnou dokumentaci a přijatá opatření k minimalizaci rizik při jejich provozu. Kontrolu provádějí na požádání akreditované osoby. Směrnice je označena číslem 1999/92/EC a je identická s nařízením vlády č.406/2004 Sb. Před uvedením zařízení do zkušebního provozu musí být zpracována dokumentace dle uvedené směrnice. Je též označován jako provozní ATEX

3.2.2.2. Zásady prevence rizik

Prostředí s nebezpečím výbuchu je prostředí, ve kterém může vzniknout výbušná atmosféra v důsledku místních a provozních podmínek. Uvedená výbušná atmosféra je směs vzduchu s hořlavými látkami ve formě plynů, par, mlh nebo prachů při atmosférických podmínkách, ve které se po vzniku iniciace rozšíří hoření do celé nespálené směsi.

Při uplatňování zásad prevence rizik nebo k zajištění ochrany před výbuchem přijímá provozovatel technická a organizační opatření přiměřená povaze provozu v souladu se zásadami, které uplatňuje podle charakteru činnosti v následujícím pořadí

- a) předcházení vzniku výbušné atmosféry
- b) zabránění iniciace výbušné atmosféry,
- c) snížení škodlivých účinků výbuchu tak, aby bylo zajištěno zdraví a bezpečnost zaměstnanců.

3.2.2.3. Opatření k ochraně před výbuchy

Předtím, než je pracoviště s prostředím nebezpečí výbuchu poprvé uvedeno do provozu, musí být ověřena jeho celková bezpečnost z hlediska rizika výbuchu. Musí být dodrženy veškeré podmínky nezbytné pro zajištění ochrany před výbuchem.

Přítomnost výbušné atmosféry kontroluje provozovatel vždy při uvádění potrubí a celého zařízení do provozu anebo při podezření, že hořlavé plyny nebo kapaliny ze zařízení unikají například přírubovým spojem.

Při přijímání opatření k zabránění iniciace výbušné atmosféry bere provozovatel v úvahu přítomnost možných zdrojů iniciace výbušné atmosféry včetně elektrostatických výbojů vznikajících při proudění tekutiny potrubím z plastů anebo teplého povrchu potrubí

Další opatření všeobecného charakteru ochrany před výbuchem netýkající se přímo potrubí jsou uvedeny ve výše uvedené směrnici ATEX.

3.3. Nebezpečí závislá na ztrátě odolnosti materiálu s následkem ztráty integrity potrubí

3.3.1. Odolnost konstrukce a způsob jejího získávání

3.3.1.1. Vysvětlení pojmu odolnost konstrukce

Odolnost konstrukce „ R_o “ je určena volbou materiálu potrubí a jeho tepelným a povrchovým zpracováním. Jde o náhodnou veličinu a lze ji statisticky zpracovat. Každé nebezpečí má svůj druh odolnosti konstrukce. Odolnost konstrukce při prosté únosnosti se udává se v MPa.

-pro prostou únosnost jde o dovolené napětí odvozené z meze kluzu a pevnosti materiálu ve statistickém zpracování, tj. každé zjištěné velikosti dovoleného napětí v určitém statistickém vzorku je přiřazena určitá četnost.

- pro odolnost konstrukce proti únavě jde o únavovou křivku, kde jsou výsledky zpracované statistickými metodami.

- pro odolnost konstrukce proti creepu jde o křivku, která je udána hodnotami pevnosti R_m pro creep. Hodnoty R_m pro creep jsou tabulkové hodnoty pro určité časy.

Uvažuje se většinou Gaussovo normální rozdělení s rozsahem šestinásobku směrodatné odchylky. Rozdělení pravděpodobnosti pro tuto veličinu je svým parametrem měřítka (tj. směrodatnou odchylkou) i parametrem umístění konstantní, nepohyblivé v čase. Bylo by přínosem, kdyby se uvedená návrhová data udávala jako jedno z dat v materiálovém listu či jiné technické normě.

V dalších kapitolách týkajících se jednotlivých nebezpečí bude odolnost konstrukce podrobněji rozepsána.

3.3.1.2. Druhy odolností konstrukce v závislosti na typech poruch

1. Poruchový model „*píchnutí pneumatiky*“. Pro tento poruchový model odpovídá nejlépe rozdělení rovnoměrné. Tj. bez závislosti na historii, neboť hřebík se může vyskytnout se stejnou pravděpodobností, když je pneumatika na začátku i na konci životnosti.

Příkladem pro oblast potrubí je trhлина na potrubí vlivem jednorázového přetížení. Příčinou může zde být neobjevená vada výroby potrubí anebo vadná funkce pojišťovacího ventilu, který způsobí nárůst tlaku nad dovolenou mez.

2. Poruchový model „*sjetí (opotřebení) pneumatiky*“. Tj. pro poruchový model, který se dá za určitých okolností předvídat.

Jako příklad pro oblast potrubí může být uveden postup koroze anebo eroze na potrubí, kdy je daná a výpočtem ověřená maximální hodnota korozního anebo erozního přírůstku a v případě překročení této korozní přírůstky je potrubí vyřazeno z provozu

3. Poruchový model „*píchnutí na sjeté pneumatice*“. Pneumatika se častěji píchne na sjeté pneumatice. V praxi téměř vždy jde o tuto kombinaci.

Jako příklad pro oblast potrubí můžeme uvést únavu materiálu potrubí. Při únavě se nejprve ztrácí mechanické vlastnosti materiálu (tj. vytváří se imperfekce, mikrotrhlina, trhlina) a potom náhle přijde takové zatížení, které potrubí oslabené trhlinou nevydrží a nastane lom.

3.3.2. Nebezpečí porušení integrity při překročení dovoleného napětí odvozeného z meze kluzu a/nebo pevnosti materiálu

3.3.2.1. Nebezpečí překročení nejvyššího dovoleného tlaku či teploty

Všeobecně platí, při přetížení tlakem hrozí lom v nejvíce namáhaném místě. Zde koresponduje riziko s mezním stavem potrubí, který je nazývaný a počítaný jako kontrola pevnosti.

Po výrobě a montáži a před předáváním technického zařízení do provozu existuje systém kontrol (inspekci), který má za úkol kontrolovat, zda je nově vyrobené zařízení bezpečné. Tento systém je pro potrubí zpracován například v normě ČSN EN 13480-5 Kovová průmyslová potrubí, Část 5. Kontrola a zkoušení. Proto předpokládáme dokonalou výstupní kontrolu, týkající se výroby, montáže i návrhu. Smysl zkoušek po výrobě ještě před předáváním potrubí do provozu je především zvýšení bezpečnosti a spolehlivosti při provozu, které jsou zapříčiněny imperfekcemi při návrhu a výrobě.

Na nejvyšší dovolený tlak či teplotu je seřídána bezpečnostní výstroj (např. pojistňovací ventil, průtržná membrána) tlakové sestavy. Výpočtový tlak či teplota musí být větší či roven nejvyššímu dovolenému tlaku či teplotě. Minimálně na tyto hodnoty tlaku a teploty má být proveden návrh a pevnostní výpočet potrubí.

Dále by se měl způsob kontroly pro odstranění tohoto rizika za provozu orientovat na tlakovou zkoušku. Výpočet zkušební tlaku se provádí podle kapitoly 9.3 „Tlaková zkouška“ ČSN EN 13480-5 Kovová průmyslová potrubí Část 5. Kontrola a zkoušení.

Provozovatel zařízení má pod kontrolou určité druhy poruch, neboť „určuje“ provozní zatížení (samozřejmě předpokládáme v rámci všech norem a předpisů), kdežto projektant potrubní trasy může toto provozní zatížení jen předpokládat a na jeho základě může provést u některých mezních stavů výpočet životnosti.

Příčiny překročení jsou různé, např.

- nefunkčnost bezpečnostního zařízení, ať už mechanického tj. pojistný ventil či průtržná membrána anebo elektronického. Vyjádření pravděpodobnosti poruchy tohoto zařízení by mělo být vyjádřeno pomocí úrovně SILu – viz kapitola 1.2.2.2. této knihy.

- ucpání či zamrznutí potrubí vedoucí k bezpečnostnímu zařízení apod.

3.3.2.2. Nebezpečí překročení korozního přídavku plošnou korozí

Koroze je samovolné, postupné rozrušení kovů či nekovových organických i anorganických materiálů (např. horniny či plasty) vlivem chemické nebo elektrochemické reakce s okolním prostředím. Může probíhat v atmosféře nebo jiných plynech, ve vodě a jiných kapalinách, zeminách a různých chemických látkách, které jsou s materiálem ve styku. Toto rozrušování se může projevovat rozdílně; od změny vzhledu až po úplný rozpad celistvosti. Koroze je způsobena vlivem elektrochemickým. Hlavním činitelem koroze je kyslík, resp. hydroxidová skupina (OH), dále anionty vzniklé z kyselin (CO_3 , Cl, NO_2 , SO_4 apod.) Vodíkové ionty kyselin se nahrazují ionty kovu, čímž vznikají soli. Koroze působí na potrubí z uhlíkové oceli.

Všeobecně platí, že při úbytku stěny potrubí nad dovolenou mez, hrozí lom v nejvíce namáhaném místě. Zde koresponduje riziko s mezním stavem potrubí, který je též nazývaný a počítaný jako kontrola pevnosti.

Korozi se rozumí samovolné vzájemné působení mezi prostředím a materiálem, které má za následek znehodnocování materiálu.

Koroze vnitřní. Je-li uvnitř potrubí přítomná vlhkost, tj. vodní pára či voda smíšená se vzduchem, potom postupuje i koroze vnitřní. Je možné provést ochranu proti vnitřní korozi např. galvanickým pokovováním a je také možné počítat s korozní přírážkou.

V případě, když potrubí dopravuje vodu a je potrubí vodou plně naplněno bez bublinek, nepředstavuje toto korozní prostředí. Korozní prostředí vzniká v případě vypouštění, napouštění anebo ponechání tohoto potrubí bez vody se zbytky vlhkosti ve vzduchu. Tato koroze se projevuje plošným působením a je charakteristická drobnými šupinatými korozními zplodinami či korozním náletem uvnitř ocelového potrubí. Zde v této kapitole však hodnotíme pouze plošnou korozi.

3.3.2.3. Nebezpečí překročení erozního přídavku plošnou erozí

Eroze (tj. druh mechanického opotřebení) působí na potrubí, jestliže je v médiu obsažena též pevná fáze.

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, kdy vzduch dopravuje nějaký sypký materiál. Dalším příkladem je parovod, který bývá opotřebován spoustou drobných kapiček vody. Zde v této kapitole však hodnotíme pouze plošnou erozi.

3.3.2.4. Překročení dovoleného napětí způsobeného vibracemi

Vibrace potrubí působením rezonance může nastat v průběhu provozování potrubí, i když při převzetí zařízení byla vibrace projektem odstraněna. A to protože se hmotnost a tuhost potrubí během jeho životnosti mění. Například postupuje koroze zvenku i zevnitř, izolace se nasákne nějakou tekutinou, kluzná podpěra na své kluzné ploše se zanesse či zkoroduje atd.

Nebezpečí vibrace potrubí je především u potrubního systému, kde je zapojeno pístové čerpadlo či kompresor anebo turbína.

Vibrace může způsobit kromě únavy i tento mezní stav: Napětí od deformace potrubí amplitudou je tak velké, že v potrubí je překročena mez kluzu a následně nastane porucha. Napětí může být ještě zvětšeno koncentrací napětí. Potom odolnost potrubí je dána odolností konstrukce při prosté pevnostní únosnosti určená mezí kluzu či mezí pevnosti popsané v následující kapitole.

3.3.2.5. Překročení dovoleného napětí poklesem podpěry

Pokles podpěry může být jen jednorázový a je zapříčiněn pohybem zeminy, deformací podpěrné ocelové konstrukce anebo zemětřesením. Způsobuje sekundární napětí.

3.3.2.6. Odolnost konstrukce při prosté pevnostní únosnosti určená mezí kluzu či mezí pevnosti

Je to nejběžnější typ odolnosti konstrukce. Je jí možno aplikovat v různých typech nebezpečí. V kapitolách pojednávajících o nebezpečích, kde se dá tato odolnost aplikovat, to vždy bude uvedeno.

Odolnost konstrukce při prosté únosnosti se udává se v MPa. Jde o dovolené napětí odvozené z meze kluzu a pevnosti materiálu ve statistickém zpracování, tj. každé zjištěné velikosti dovoleného napětí v určitém statistickém vzorku je přiřazena určitá četnost. Uvedená odolnost konstrukce je tedy náhodná veličina.

Pokud je dostupný reálný histogram pro mez kluzu či pevnost, je možné použít ho přímo ve výpočtu, je však možné vytvořit jednoduchou úpravou dostatečně přesný návrhový histogram či rozdělení pravděpodobnosti. Uvažuje se většinou Gaussovo normální rozdělení s rozsahem šestinásobku směrodatné odchylky. Rozdělení pravděpodobnosti pro

tuto veličinu je svým parametrem měřítka (tj. směrodatnou odchylkou) i parametrem umístění konstantní, nepohyblivé v čase. Bylo by přínosem, kdyby se uvedená návrhová data udávala jako jedno s dat v materiálovém listu či jiné technické normě. Pouze při vybudování takovéto databáze, bude možné uvedené statistické hodnocení spolehlivosti aplikovat do praxe. U prosté pevnostní únosnosti, o kterou se teď jedná, se s účinky od provozního zatížení porovnává odolnost konstrukce, kterou získáme z meze kluzu a z pevnosti materiálu, získáme ji zkoušením více vzorků stejného materiálu na trhacím stroji a jeho statistickým zpracováním. Dostaneme tak rozdělení pravděpodobnosti dovoleného napětí v závislosti na jeho četnosti.

Některé získané statistické parametry ocelí jsou uvedeny v literatuře uvedené v kapitole 8.1. Odborná literatura, položka [104.] a [105.].

3.3.3. Nebezpečí únavového lomu

3.3.3.1. Únava – společné zákonitosti

Převážná většina strojů a zařízení je při svém provozu podrobena působení časově proměnných sil jinak řečeno cyklickému namáhání, které způsobuje degradaci materiálu, obecně známou jako „únava materiálu“.

Mezi vlivy, které působí na únavovou únosnost, počítáme:

1. rozkmit napětí,
2. koncentrace napětí vyvolaná hlavně vrubovými účinky, které souvisí s konstrukčními detaily
3. počet cyklů na různých úrovních napětí, který je dán zatěžovacím spektrem tvořeným náhodnými provozními zatíženími.

Tyto tři vlivy jsou pro stanovení únosnosti při únavě rozhodující. Vlivy ostatních parametrů jsou podstatně méně významné. Proto většina normalizovaných zavádí poznatek, že šíření trhlin a počátečních defektů, jež se ve skutečném provedení konstrukce vždy vyskytují, je spojeno hlavně s rozkmitem napětí, zatímco vliv maximálního napětí je ve skutečnosti méně významný.

Únavový lom je výsledkem mikroskopických procesů probíhajících ve struktuře materiálu. Cyklická napětí vytváří skluzové čáry v krystalech kovu, které se vyvíjejí do malých trhlin. Tyto malé praskliny se pak rozmnožují, slučují a vedou k případnému lomu, který obvykle zahrnuje malou až žádnou hrubou plastickou deformaci. Postupné rozrušování kovu při proměnlivém zatěžování má nevratný kumulativní charakter, který se navenek projeví až v samotném závěru únavového procesu růstem makroskopické trhliny a končí únavovým lomem. Únavové selhání zahrnuje progresivní, lokalizované, trvalé strukturální změny v

důsledku kolísavých napětí a deformací. Chcete-li přesně odhadnout únavovou životnost (nebo cykly k poruše), je třeba dobře pochopit hnací sílu únavy a parametry odporu. Jako takový je vyžadována přesná charakteristika použitého zatížení a na druhé straně tvar problematického místa a vlastnosti materiálu.

Kromě toho jsou k provádění smysluplných výpočtů zbývajících životnosti zapotřebí také údaje o únavových zkouškách, které popisují chování materiálu jako funkci namáhání nebo velikosti namáhání a počet akumulovaných cyklů (parametry únavové odolnosti).

Podle počtu zatěžovacích cyklů, jež vedou k únavovému lomu, rozlišujeme málocyklovou únavu a mnohocyklovou únavu. Pro mnohocyklovou únavu je charakteristické, že k porušení postačuje relativně nízká úroveň napětí, ale potřebný počet cyklů zatížení je řádově 10^5 a větší. Naopak pro málocyklovou únavu jsou příznačná vysoká napětí přesahující opakovaně mez kluzu, v důsledku čehož vynikají velké plastické deformace. Počet cyklů nepřesahuje počet 10^4 .

3.3.3.2. Únava nízkocyklová – základní pojmy

Nízkocyklová únava je způsobena častým přerušováním provozu potrubí, tj. častým najetím a sjetím zařízení. Nezapočítáme-li vložené cykly, potom maximální počet najetí a sjetí bez provedení únavového výpočtu může být 500. V případě, že se únavový výpočet provádí, měl by být návrh potrubí proveden tak, aby potrubí vydrželo bez úhony plánovanou životnost. Proto předpokládáme dokonalou výstupní kontrolu, týkající se výroby, montáže i návrhu, včetně provedeného výpočtu na únavu. V takovémto případě musí být jasně definována maximální životnost potrubí počtem cyklů.

Všeobecně platí, při překročení dovoleného únavového namáhání hrozí lom v nejvíce namáhaném místě. Zde koresponduje riziko s mezním stavem potrubí, který je nazývaný a počítaný jako únavová únosnost.

3.3.3.3. Únava nízkocyklová - tepelná.

Hlavním rysem degradačního mechanismu tepelné únavy je, že nemá etapu nukleace vad a mikrotrhlíky vznikají během několika málo prvních cyklů. To je způsobeno velkým teplotním a následně deformačním gradientem na povrchu tělesa při teplotních šocích. Významu tento mechanismus nabývá při teplotním rozdílu větším jak 150°C mezi médiem a stěnou. Charakteristickým rysem tepelné únavy je častá změna teploty vyvolávající častou změnu napětí, což může vést až k nukleaci defektu ve velmi krátkém čase. Mezi čtyři nejdůležitější teplotní zatížení patří:

- teplotní rozvrstvení (rozložení) po průřezu na vodorovných úsecích potrubí
- teplotní spád ve směru osy potrubí

- míchání teplého a studeného média v T-kusech
- teplotní šoky a častá změna teploty (odstavení, najíždění)

3.3.3.4. Únava nízkocyklová v důsledku teplotních a tlakových cyklů

Tento typ únavového selhání v materiálu mohou vyvolat teplotní i tlakové cykly dohromady.

Sledování skutečného počtu základních cyklů by mělo být upraveno v provozním řádu. Jedním ze způsobů takového sledování je kontinuální sledování a zápis provozního tlaku a teploty.

3.3.3.5. Únava nízkocyklová, kde spolupůsobí koroze

Vysoce korozivní prostředí může způsobit uvedený typ únavy materiálu. Počáteční trhlinka je obvykle vytvořena lokální korozí, například důlkovou korozí, která také zhoršuje kovový povrch a zvyšuje se tendence k únavě kovu vytváření koncentrátorů napětí.

3.3.3.6. Únava vysokocyklová – základní pojmy

Velice častou příčinou vysokého počtu zatěžovacích cyklů jsou provozní vibrace vznikající v důsledku přítomnosti budícího zdroje, což jsou nejčastěji točivé stroje. Mimo známou otáčkovou frekvenci točivých strojů se mohou v systémech také generovat tlakové pulzace při kmitání vodního sloupce, pokud systém není dokonale odvzdušněn, k vodním rázům při změně skupenství dodávané kapaliny (voda, pára), popřípadě ke kavitaci.

3.3.3.7. Vibrace indukované rotačními stroji

Vibrace potrubí působením rezonance může nastat v průběhu provozování potrubí, i když při převzetí zařízení byla vibrace projektem odstraněna. A to protože se hmotnost a tuhost potrubí během jeho životnosti mění. Například postupuje koroze zvenku i zevnitř, izolace se nasákne nějakou tekutinou, kluzná podpěra na své kluzné ploše se zanesou či zkoroduje atd.

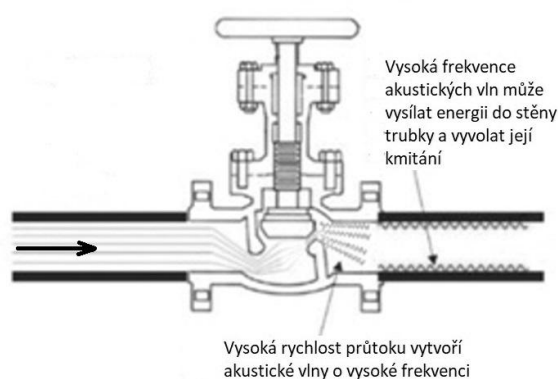
Nebezpečí vibrace potrubí je především u potrubního systému, kde je zapojeno pístové čerpadlo či kompresor anebo turbína.

Vibrace může způsobit mezní stavy dvojího druhu:

1. Napětí od deformace potrubí amplitudou je tak velké, že v potrubí je překročena mez kluzu a následně nastane porucha. Napětí může být ještě zvětšeno koncentrací napětí. Potom odolnost potrubí je dána odolností podle kapitoly 3.3.2.6. Odolnost konstrukce při prosté pevnostní únosnosti určená mezí kluzu či mezí pevnosti.
2. Vibrace způsobí vysokocyklovou únavu. Potom odolnost potrubí je dána odolností podle kapitoly 3.3.3.9. Odolnost konstrukce proti únavě.

3.3.3.8. Akusticky indukované vibrace potrubí

Tento mechanismus vzniku vibrací bývá pozorován až při provozu zařízení. Akusticky indukované vibrace na druhé straně v tlakových potrubích jsou za regulačními ventily těžko identifikovatelné, pokud nejsou ventily otevřeny na úrovni, kdy ventil vibrace indukuje. Akustické vibrace se vyskytují za armaturami redukujícími tlak a nejčastěji v potrubích pro páry a plyny. Akustické vibrace mívají frekvenci 300 až 1 500 Hz, nejsou tak rozeznatelné vizuálně, ale rozeznáme je dotykem a v některých případech mohou být slyšitelné.



Obr. 3.1. Schéma akusticky indukované vibrace

Může tak vzniknout porucha, která nemá zjevnou příčinu. Část akustické energie se přenáší na stěnu potrubí, což způsobuje oscilaci stěny potrubí, jehož stěny mohou mít stejnou či podobnou vlastní frekvenci. Tvary vlastních frekvencí skořepiny potrubí tak způsobují deformaci stěny potrubí. Vibrace stěny skořepiny v bezešvém nebo svařované trubce bez geometrických nespojitostí neumožňují podstatné střídavé namáhání a představují nízké riziko únavového praskání. Střídavé napětí při geometrických nespojitostech, jako jsou odbočné spoje a svařované podpěry potrubí, jsou však zesíleny koncentrací napětí.

Vibrace může způsobit mezní stavy dvojího druhu:

1. Amplituda vibrace stěny potrubí po zesílení koncentrátorem napětí je tak velká, že v potrubí je překročena mez kluzu a následně nastane porucha. Potom odolnost potrubí je dána odolností podle kapitoly 3.3.2.6. Odolnost konstrukce při prosté pevnostní únosnosti určená mezí kluzu či mezí pevnosti.
2. Vibrace způsobí vysokocyklovou únavu, neboť počet cyklů vzhledem k frekvenci narůstá obrovskou rychlostí. Potom odolnost potrubí je dána odolností podle kapitoly 3.3.3.9. Odolnost konstrukce proti únavě uvedené dále.

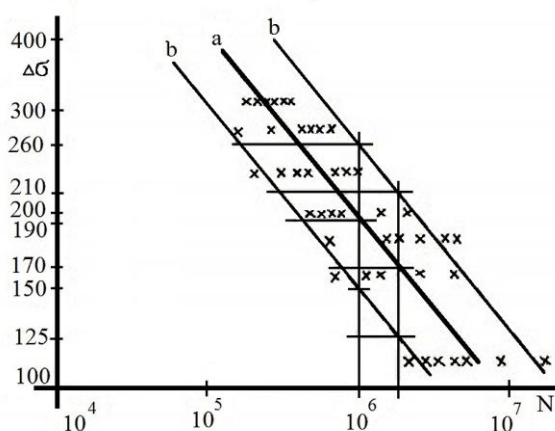
3.3.3.9. Odolnost konstrukce proti únavě

Odolnost konstrukce proti únavě se skládá ze dvou fází. Jde o poruchový model „Píchnutí na sjeté pneumatice“. První část je vlastní odolnost vůči únavě reprezentovaná při projektu výpočtem a je popsána v kapitole. Druhá část je čistě nahodilá a je reprezentována již popsanou odolností při prosté pevnostní únosnosti určené mezí kluzu či mezí pevnosti.

Vlastní odolnost konstrukce proti únavě je daná únavovou křivkou. Je výhradně výsledkem zkoušek. Základní podmínkou hodnocení únavových vlastností je statistické zpracování únavových zkoušek. Souborem dat v logaritmických souřadnicích je proložena pomocí regresní analýzy přímka *a* a dále je určeno horní a dolní omezení oblasti přímkami *b*. viz obr 3.2. V normě ČSN 73 1401 Navrhování ocelových konstrukcí a v ní uveřejněných výkladech reprezentuje přímka *b* pravděpodobnost bezporuchového stavu na úrovni 95%, Gaussova rozdělení pravděpodobnosti to představuje *Bezpečnou výpočtovou životnost* (L_b). My však v této úvaze potřebujeme získat *Střední výpočtová životnost* (L_{50}) a *Maximální výpočtová životnost* (L_m). *Střední výpočtová životnost* (L_{50}) tak odpovídá křivce *a* a *Maximální výpočtová životnost* (L_m) tak odpovídá křivce *b* avšak z druhé strany křivky *a*.

Z rozboru experimentálních hodnot vyplývá:

- Pro počet cyklů 10^4 až 10^6 v grafu v dvoulogaritmickém vyjádření dobře vystihuje závislost veličin přímka.
- Při počtu cyklů větším než 10^6 je pokles únavové křivky standardních vzorků velmi nepatrný. Přitom však rozptyl výsledků zkoušek v této oblasti vysokých počtů cyklů bývá značný, neboť v oblasti malých rozkmitů napětí se vyskytuje mnoho nešířících se únavových trhlin, které sice vznikly, ale nedospěly do labilního stavu. U skutečných těles s větším rozměrem a složitějším obrazcem vlastních pnutí a různým stupněm efektnosti se naopak ukazuje, že mezní křivka životnosti stále klesá i při vysokém počtu cyklů



Obr. 3.2. Zpracování únavových zkoušek

Další informace o únavě je možné najít v kapitole 6.6.2. O použitých únavových křivkách.

3.3.4. Nebezpečí skrývající se za lokálním úbytkem materiálu ve stěně potrubí

3.3.4.1. Všeobecné údaje

Lokální úbytek materiálu může mít poměrně velkou plochu anebo může tvořit naopak důlek či jamku. Může být i několik jamek vedle sebe. Poměrně velká plocha úbytku materiálu může být např. u kolena, kde dochází k erozi, pak v takovémto případě tato plocha je vnější strana kolena, kde je opotřebení vyšší. Anebo to může být i koroze pod izolací, jestliže podmínky pro její vznik nejsou po celé délce potrubí stejné.

Zde musíme posuzovat výpočtem, nejlépe metodou FEA (viz kapitola 6.2.2.), jestli potrubí vydrží s predikcí, jak dlouho ještě vydrží. U důlkové koroze můžeme též vycházet z výpočtů v této kapitole, můžeme zde použít jak lomovou mechaniku, tak speciální v kapitole uvedenou teorii. Všeobecně platí, že při úbytku stěny potrubí nad dovolenou mez, hrozí lom v nejvíce namáhaném místě.

U koroze se zde může uplatňovat:

- a) Již probraná klasická plošná koroze v kapitole 3.3.2.2.
- b) Koroze pod tepelnou izolací. Koroze pod izolací je forma vnější koroze, která může být způsobena zachycenou vodou či vlhkostí na površích potrubí pokrytých izolací. Vzhledem k tomu, že tyto povrchy nejsou obecně přístupné pro vizuální kontrolu, nelze nástup koroze snadno identifikovat a v extrémních případech může dojít k silné korozi s následným poškozením integrity systému.
- c) Důlková koroze. Tato koroze může být způsobena různými způsoby, např. místem vstupu a výstupu bludných proudů, mikrobiální korozí mezi trubkou a izolací a i lokálním rychlejším postupem původně plošné koroze.
- d) Speciální druhy koroze uvedené v kapitole pro potrubí v zemi.

Dále v potrubí působí eroze. Eroze materiálu je opotřebení pevného tělesa působením dalšího pevného tělesa. Eroze působí na potrubí, jestliže je v médiu obsažena též jiná, hustější fáze. Jde o pevnou látku v kapalině anebo v plynu, také může jít o kapalinu v plynu. Erozní opotřebení je ztráta materiálu z důvodu mechanické interakce s dalšími drobnými pevnými objekty, které bývají unášeny kapalinou nebo plynem.

Typickým příkladem je opotřebení potrubí, kdy vzduch dopravuje nějaký sypký materiál. Dalším příkladem je parovod, který bývá opotřebován spoustou drobných kapiček vody. Zde v této kapitole hodnotíme pouze lokální úbytek materiálu ve stěně potrubí, tj např. již zmíněný případ vnější strany kolena při erozi.

V potrubí z vnitřní strany může působit též kavitace. Kavitační je vznik dutin v kapalině při lokálním poklesu tlaku, následovaný jejich implozí. Pokles tlaku může být důsledkem lokálního zvýšení rychlosti, případně průchodu intenzivní akustické vlny v periodách zředění. Při vymizení podtlaku, který kavitační vytvořil, její bublina kolabuje za vzniku rázové vlny s destruktivním účinkem na okolní materiál. Hroustící se bubliny, které implodují v blízkosti kovového povrchu, způsobují cyklické namáhání opakovaným implozí a úbytek materiálu. Uvedené nastává zejména, když je kapalina donucena náhle změnit směr. U potrubí to může nastat např. u čerpadel, u redukčních ventilů, u filtrů a v jejich blízkosti.

3.3.4.2. Odolnost konstrukce při lokálním úbytku materiálu

Odolnost konstrukce proti korozi/erozi se skládá ze dvou fází. Jde o poruchový model „Píchnutí na sjeté pneumatice“ První část je vlastní odolnost vůči korozi/erozi reprezentovaná při projektu korozním/ erozním přídatkem. Tato první část odolnosti konstrukce proti korozi a/nebo opotřebení představuje výpočtem popř. zkouškami stanovená doba T_{al} , za kterou ubude (zmizí) celý přídatek na korozi nebo opotřebení c_{max} . Doba T_{al} , za kterou ubude (zmizí) celý přídatek na korozi/erozi je určená v kapitole životnost potrubí a celý přídatek na korozi/ erozi se určuje zkouškami.

Druhá část je čistě nahodilá a je reprezentována již popsanou odolností při prosté pevnostní únosnosti určené mezí kluzu či mezí pevnosti.

3.3.5. Nebezpečí překročení maximální dovolené deformace způsobené creepem

3.3.5.1. Creep – základní pojmy

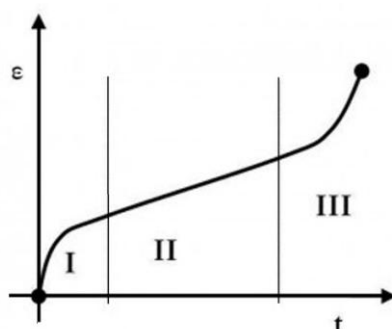
Creep (tečení) je termín, který popisuje pomalý růst deformace pevného materiálu, vznikající pod konstantním zatížením. To nastává následkem dlouhého vystavení napětí, které jsou pod mezí kluzu nebo mezí pevnosti materiálu. Creep (tečení) závisí na napětí v materiálu a na teplotě. Nejhorší jev v materiálech, které byly vystaveny teplotě pro dlouhá období, a to blízko bodu tání. Creep (tečení) je monotónně rostoucí s funkcí teploty.

Creepová deformace je funkce druhu materiálu, doby expozice, teploty a napětí. V závislosti na velikosti napětí a jeho trvání, se deformace může stát tak velkou, že díl konstrukce již nemůže vykonávat svou funkci. Prakticky každý materiál bude mít creepové deformace při teplotách blízkých se teploty jeho tavení.

Stadia creepu:

- I. V počátečním stavu, známém jako primární creep (tečení), je rychlost deformace relativně vysoká, ale zpomaluje se.

- II. Rychlost deformace nakonec dosahuje minimum a stává se konstantní. Toto je známé jako sekundární creep (tečení) ustáleného stavu. Tento stupeň je nejvíce prozkoumán. Pro toto sekundární stadium creepu je charakteristická konstantní creepová deformační rychlost. Závislost napětí a rychlosti deformace závisí na creepovém mechanismu.
- III. Ve třetím stupni creepu se rychlost deformace exponenciálně zvyšuje. Začínají se projevovat lokální poruchy a zmenšuje se plocha průřezu až do lomu



Obr. 3.3. Stadia creepu

Všeobecná rovnice creepu:

$$\frac{d\varepsilon}{dt} = \frac{C\sigma^m}{d^b} e^{\frac{-Q}{kT}}$$

Kde ε je poměrné prodloužení

t je čas

σ je napětí

C, m, b jsou konstanty

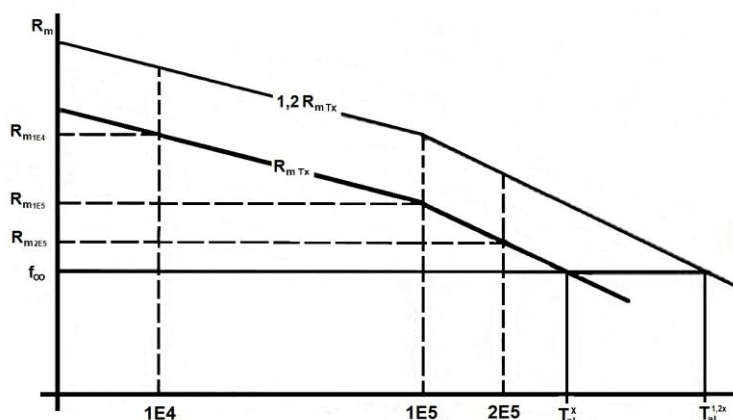
Zjednodušením pro druhé stadium získáme Nortonův vztah:

$$\frac{d\varepsilon}{dt} = A \cdot \sigma^n$$

Způsob kontroly. V materiálových normách jsou obvykle udávány referenční hodnoty meze tečení pro 1% plastického creepového prodloužení, proto právě tuto deformaci hlídáme. Dovolená měření se nejjednodušeji realizují jako opakované měření délky určeného úseku. K tomuto účelu se určuje úsek potrubí, který je v době měření bez izolace a za teploty okolí. Může se měřit i obvod potrubí. Ten však vypovídá pouze o creepové deformaci způsobené vnitřním tlakem. Vhodným zařízením se může provádět i kontinuální sledování a predikce životnosti.

3.3.5.2. Odolnost konstrukce proti creepu

Odolnost konstrukce proti creepu odpovídá modelu sjetí (opotřebování) pneumatiky a udává ji křivka, která je udána hodnotami pevnosti R_m pro creep. Hodnoty R_m pro creep jsou tabulkové hodnoty pro určité časy. Hodnoty R_m jsou vlastní jednotlivým materiálům. Norma ČSN EN 12952-4 „Vodotrubné kotle a pomocná zařízení“ Část 4: „Provozní výpočty očekávané doby života kotle“ udává hodnoty pro výpočet bezpečné životnosti hodnotu 0,8 x pevnost materiálu pro creep. Naopak pro maximální dobu životnosti volíme 1,2 x pevnost materiálu pro creep, viz obr. 3.4 dále.



Obr. 3.4. Zpracování zkoušek creepu

Uvedená odolnost konstrukce při creepové únosnosti se dá označit jako náhodná, pohyblivá v čase (tj. závislá na době působení creepu). Konkrétní rozdělení pravděpodobnosti únavové únosnosti je parametrem měřítka (tj. směrodatnou odchylkou) stejné, ale parametrem umístění je pohyblivé v čase - konkrétně je závislé na době působení creepu - a klesá.

Odolnost konstrukce proti creepu udává křivka, která je udána hodnotami pevnosti R_m pro creep. Hodnoty R_m pro creep jsou tabulkové hodnoty pro určité časy. Hodnoty R_m jsou vlastní jednotlivým materiálům. Zpracovává se pro různé teploty.

Teoretická doba života T_{al} se vypočítá pro každou naměřenou hodnotu dvojice teplota/zatížení. T_{al} se stanoví jako průsečík přímky napětí a dolní mezní křivky meze pevnosti při tečení materiálu při průměrné teplotě jednotlivých teplotních přírůstků. Provozní doby při jednotlivých přírůstcích namáhání od jednotlivých dvojic teploty/zatížení se sečtou, přičemž se zohlední teplotní příspěvky k měření nejistot a teplotním asymetriím.

3.3.6. Nebezpečí vyskytující se u potrubí uložených v zemi

3.3.6.1. Nebezpečí způsobená tlakem nadloží a pohyby podloží

Hlavním rizikem pro potrubí uložená v zemi jsou náhlé anebo i postupné posuny podloží anebo přetížení nadloží.

Přetížení nadloží je způsobeno roztáním zmrzlé zeminy anebo změnou zatížení způsobeným změnou dopravního provozu na povrchu. Jestliže je potrubí uloženo v nezámrazné hloubce, děje se přetvoření nadloží, po zmrznutí a roztání zeminy pouze nad potrubím.

Pohyby podloží jsou způsobeny především:

- Instalace potrubí na nezkonsolidované podloží. Postupné posuny podloží mohou být způsobeny postupným sesedáním podloží, které je tvořeno násypem. Násyp je nestabilizovaná nasypaná zemina, vznikající např. po rekultivaci povrchových dolů.
- Sednutí poddolovaného podloží. Jestliže je potrubí vedeno v oblastech bývalých anebo současných hlubinných dolů, musíme potrubí navrhovat tak, aby se nepoškodilo v případě, že dojde vlivem poddolování k přetvoření zeminy.
- Podemleté podloží vodou – nepředpokládané přetvoření zeminy
- Přetvořením, po zmrznutí a roztání zeminy. Jestliže je potrubí uloženo v nezámrazné hloubce, pohyb podloží se neuskutečňuje.
- Vytvářením dutin (kavern) např. spláchnutím části zeminy např. do kanalizace a následný sesuv, propad ulice.
- Zemětřesením

3.3.6.2. Nebezpečí způsobená speciálními druhy koroze

Koroze vnějšího povrchu. Musí se zde počítat s korozní agresivitou vnějšku potrubí Im3 dle ČSN EN ISO 12944-2.

Protože zde nemáme přístup k údržbě povrchové úpravy vnějšího povrchu, vyskytují se zde různé druhy a typy speciálních korozí. Je to:

e) Prostá půdní koroze se projevuje plošným působením, které však zasahuje do malé hloubky a je charakteristická šupinatými korozními zplodinami, případně korozním náletem. Prostá půdní koroze je výsledkem působení korozních makročlánků a mikročlánků v půdě. Korozní agresivita půdy v okolí potrubí podmiňuje vznik korozních článků a rychlost půdní koroze. Korozní agresivita půdy se dá určit měřením rezistivity půdy Wennerovou metodou podle ČSN 03 8363.

f) Důlková koroze, způsobená stejnosměrnými bludnými proudy, se vyznačuje velkou strmostí stěn oválných důlků, povrch kovu je zcela bez korozních zplodin. Průměr

důlků může dosáhnout až několika centimetrů. Důlky se mohou i spojovat a kopírovat vadu na izolaci. Koroze střídavými bludnými proudy se vyznačuje mnohem menší strmostí stěn důlků, napadení je tvořeno kulatými drobnými otvory, které se spojují.

g) Mikrobiální koroze vzniká v dutinách mezi stěnou ocelového potrubí a izolací za předpokladu, že jsou tyto prostory vyplněny vodou. Anaerobní bakterie zde mohou redukovat sírany rozpuštěné v půdě. Po sejmutí izolace je povrch tvořen krustami s měkkou rezavě hnědou vrstvou. Důlky jsou vyplněny černou hmotou a mají nepravidelně rozeklané okraje.

Koroze vnitřního povrchu probíhá stejně jako u potrubí nadzemního, viz kapitola 3.3.3.2. Nebezpečí překročení korozního přírůstku plošnou korozí.

3.3.6.3. Údržba vnějšku potrubí pro korozní agresivitu - Im3 ponor do půdy

Izolace potrubí proti korozi v zemi

Asfaltové izolace

Stará asfaltová

Asfaltová plus 2x skelná rohož

Asfaltová plus skelná rohož s tapatenem

Asfaltová plus skelná rohož s PVC páskou

Asfaltová plus 3x a více skelná rohož

Plastové izolace

Izolační páska smršťovací PE 2+2 vrstvy

Izolační páska smršťovací PE 3+2 i více vrstev

Izolační páska PVC 2 vrstvy

Tovární izolace sintrovaná

Tovární izolace extrudovaná PE normální

Tovární izolace extrudovaná PE zesílená

Termosetové izolace

Epoxidehtová

Epoxidová

Polyuretanová

Polyuretandehtová

Příklad použití

Potrubí v zemi izolovaná proti zemní vlhkosti. Vnější povrch bude proveden s tovární PE izolací dle DIN 30 670 (Polyetylenová izolace ocelových trubek a tvarovek) vyhovující elektrojiskrové zkoušce. Doizolování továrně zhotovených ohybů 5D bude provedeno

pomocí termosetového nástřiku. Spojování potrubí se provádí zásadně svařováním. Pro použití v zemi se spoj izoluje pomocí třívrstvých smršťovacích PE manžet.

3.3.6.4. Odolnost konstrukce

Odolnost konstrukce při zatížení nadložími či podložími je většinou daná prostou pevnostní únosností, která je popsána v kapitole č. 3.3.2.6. Odolnost konstrukce při prosté pevnostní únosnosti určená mezí kluzu či mezí pevnosti.

Odolnost konstrukce proti korozi vnitřního i vnějšího povrchu odpovídá též kapitole č. 3.3.2.6. Odolnost konstrukce při prosté pevnostní únosnosti určená mezí kluzu či mezí pevnosti.

Odolnost konstrukce proti korozi vnitřního povrchu způsobující na vnějším povrchu potrubí důlky, tj. důlková koroze, je jiná. Výpočet maximální velikosti důlku je v kapitole 6.4. Výpočet limitních rozměrů důlku při poškození důlkovou korozí.

3.3.7. Nebezpečí vyskytující se u plastových potrubí

3.3.7.1. Plastová potrubí – základní pojmy

Plasty jako takové mají řadu společných vlastností, odlišných od kovů. Jedna z hlavních takovýchto vlastností je tečení materiálu i za normálních teplot v rozsahu daleko větším než u kovů. Plastový materiál se na molekulární úrovni skládá z velkého počtu dlouhých řetězců. Když na materiál začne působit síla, tyto řetězce se okamžitě deformují a způsobují tak počáteční deformaci. Je-li materiál vystaven stálému zatížení, řetězce se budou vlivem této síly pohybovat vzájemně vůči sobě a budou způsobovat creep (tj. neustálé rostoucí deformaci). Struktura řetězce se však nemění. Z toho vyplývá, že jestliže se toto stálé zatížení během svého působení zvýší, materiál jeví stejnou okamžitou reakci jako při počátečním zatížení.

Z tohoto důvodu se u plastů určuje srovnávací napětí. Toto napětí je vzhledem k tečení závislé i na životnosti potrubí a na teplotě tekutiny. Toto napětí se určuje z grafu, který vydává výrobce plastu nebo norma. Odečtená hodnota napětí je materiálová konstanta a zohledňuje tak pokles pevnosti v závislosti na teplotě i pokles pevnosti v závislosti na čase.

Další typické vlastnosti plastů jsou dány následujícím výčtem:

- Houževnatost
- Velká tepelná roztažnost (oproti ocelím řádově)
- Malé hodnoty modulu pružnosti (oproti ocelím řádově)
- Velká chemická odolnost
- Nízká teplota maximální použitelnosti. Podle druhu plastu se jedná o 100°C až 190°C.

V kaučukovitém stavu se při působení mechanického napětí řetězce rozvinují snadno, ale potřebují k tomu určitou dobu. Po uvolnění napětí se opět pozvolna vrací do původního neuspořádaného stavu, který je pro ně nejstabilnější. Tato zpožděná elastická deformace se nazývá viskoelastická deformace a je charakteristická právě pro chování plastů.

Z uvedeného trhací zkoušky se odvozují pevnost, mez kluzu, prodloužení a modul pružnosti. Ze vztahu modulu pružnosti v tahu a modulu pružnosti ve smyku je možné určit Poissonovo číslo. Uvedené veličiny se mění s teplotou vzorku: Pevnost i mez kluzu u plastů s rostoucí teplotou klesá, modul pružnosti s rostoucí teplotou klesá, Poissonovo číslo s rostoucí teplotou stoupá.

Viskoelastická. Deformační změny plastu nejsou dány jen napětím, ale i velikostí a dobou působení mechanického namáhání. Tato viskoelastická deformace se projevuje, zejména u plastů v kaučukovitém stavu a nepatrně i ve sklovitém stavu. Tyto deformace jsou příčinou tečení (creepu) a relaxace napětí v plastu.

3.3.7.2. Plastová potrubí – nebezpečí vznikající při provozu

Koroze plastů. Plastová potrubí přicházejí často do styku s ropnými produkty a chemikáliemi, které mohou být ve stavu tuhém, kapalném nebo plynném. Při vzájemném působení těchto především kapalných látek s plasty může dojít k absorpci chemické látky, která může způsobit fyzikální nebo chemické změny plastu. Tomuto jevu říkáme koroze plastů.

Chemické změny v plastu. Dochází k chemické reakci dopravované látky s plastem nebo některou jeho složkou. Změny jsou nevratné a způsobují trvalé změny vlastností plastu, případně až jejich úplnou a nevratnou destrukci. Působí tak především kyseliny, zásady (zásada je protikladem kyseliny) a oxidační látky.

Fyzikální změny v plastu. Dopravovaná chemikálie je absorbována plastem a způsobuje jeho bobtnání, které může pokračovat až k rozpuštění plastu v chemikálii (rozpouštědlo). Tyto změny jsou vratné a po odstranění rozpouštědla (např. vysušením) nabývá plast původních vlastností (příkladem je např. polyamid rozpustný kyselinou mravenčí).

Nebezpečí stárnutí plastů vlivem UV záření. Každý polymer, tedy i plasty, z nichž se vyrábí, potrubí se rozkládá vlivem UV záření. Tomuto lze zabránit takto:

- použitím polybutenu, který je odolnější anebo vhodných aditiv, které se do plastu přidávají.
- použitím tepelné izolace, která nejen že brání úniku tepla, ale i přístupu UV záření anebo jiných způsobů zakrytí

- instalací pod zemí, kde je přístupu UV záření zabráněno zeminou anebo instalací v hale, neboť okna uv záření nepropouštějí.

Nebezpečí vzniku elektrostatického náboje v zónách s nebezpečím výbuchu. V případě, že je potrubí vedeno zónami s nebezpečím výbuchu, je nutné ho chránit proti vzniku elektrostatického náboje, který vzniká na povrchu plastových potrubí např. protékáním média.

Zóna s nebezpečím výbuchu může být vně i uvnitř trubky. Uvnitř trubky vzniká vždy, když médiem je hořlavá tekutina. Zóna s nebezpečím výbuchu dále vzniká okolo přírubového spoje potrubí, kterým protéká hořlavá tekutina. Může sem však zasahovat i zóna, která nemá s potrubím nic společného.

Zabránění rychlosti působení těchto jevů může být provedeno v projektu, avšak provozní pracovníci mají být o hrozících nebezpečích informováni.

3.3.7.3. Odolnost konstrukce

Z uvedeného je jasné, že se s časem u plastových potrubí mění nejen nebezpečí odpovídajícím mezním stavům únosnosti, ale i nebezpečí odpovídajícím mezním stavům použitelnosti. Mění se zde s časem nejen dovolené napětí, ale i modul pružnosti a proto i průhyby a posuny.

U průhybu a posuvy jde o poruchový model „sjetí pneumatiky“, kdy mez udává deformace, která ještě umožňuje vypuštění a odvzdušnění potrubí.

U překročení dovoleného napětí jde o poruchový model „píchnutí sjeté pneumatiky“, kdy v první části jde o snižování dovoleného napětí a poté o část čistě nahodilou a je reprezentována již popsanou odolností při prosté pevnostní únosnosti určené mezí kluzu či mezí pevnosti.

3.3.8. Zanášení potrubí sedimenty

Ve vodovodech se zanáší potrubí trvalým tvrdým sedimentem, který velmi omezuje životnost potrubí. Jde o zanášení vodním kamenem, který je způsobem prouděním tvrdé vody v potrubí. Tvrdá voda obsahuje rozpuštěné chloridy, sírany (např. CaSO_4), dusičnany a křemičitany a zejména obsahuje rozpuštěný $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ (hydrogenuhličitan vápenatý). Po jeho vysrážení vzniká CaCO_3 (uhličitan vápenatý), což je vodní kámen. Proto se voda používaná k tvorbě páry v kotlích upravuje, demineralizuje.

Jsou zde ale i situace, jako třeba v geotermálních elektrárnách, kde vodu předem nelze upravit. Takováto potrubí pak mají krátkou životnost. S krátkou životností se však musí počítat a celé potrubí se pak při odstávce vyměňuje za nové.

V jiných potrubích mohou vznikat sedimenty jiného druhu, které nejsou tak tvrdé a dají se čistit např. prasátkem.

Při zanášení potrubí sedimentem se mění celý návrh proudění tekutiny v potrubí a mění se tak i zatížení potrubí způsobená tímto prouděním.

3.3.9. Nebezpečí úniku tekutiny u přírubového spoje

U přírubového spoje existuje únik tekutiny, který můžeme nazvat jako projektovaný anebo zcela náhodný, při poruše přírubového spoje.

Projektovaný únik znamená, že přes každý přírubový spoj uniká vždy nějaké malé procento média. Únik je možný ve dvou cestách: První je mezi těsněním a těsnicí plochou, druhá průchodem těsnicím materiálem. První závisí na tom, jak těsnění dokáže zaplnit výstupky a prohlubně drsností a vlnitostí těsnicích ploch. Druhá je dána vlastností těsnicího materiálu: je to porézní těleso, které při stlačování těsnění z pórů vytlačuje vzduch, přičemž se póry zmenšují a tím se stává materiál těsnění těsnějším.

Jestliže chceme tyto úniky kontrolovat, použijeme pro výpočet přírubového spoje normu ČSN EN 1591-1. Zdroje emisí by zejména u vybraných anorganických a organických látek neměly překročit předepsané hodnoty. Povolené emise – jinými slovy množství netěsností – jsou tím definovány.

Tři třídy netěsností pro měkká těsnění odpovídají množstvím netěsností:

- a) třída L1,0 (1 mg/s.m): požadavkům pro utěsnění většiny kapalin a nízkotlakých plynů, např. u rozvodů tlakového vzduchu;
- b) třída L0,1 (0,1 mg/s.m): která přibližně kopíruje hodnotu 1 ml/min dusíku a je vhodná pro utěsnění kapalin s nízkým povrchovým napětím (např. naftu) a parám a plynům s vyšším přetlakem a teplotou;
- c) třída L0,01 (0,01 mg/s.m): vhodná pro utěsnění nebezpečných látek, definovaných jako hořlavé, výbušné, jedovaté, toxické apod.)

Z běžných těsnicích materiálů se pro třídu L1,0 a L0,1 hodí vláknitopryžová těsnění a expandovaný grafit v průmyslové čistotě, v třídě L0,01 PTFE nebo grafit v jaderné čistotě nebo kombinované těsnicí materiály a kovová těsnění, která mohou dosáhnout i vyšší těsnosti.

Náhodný únik je způsobený přetížením šroubového spoje v provozu či špatným projektem, který je opřen o špatný anebo žádný výpočet šroubového spoje. Dále je zde možnost materiálové vady u příruby, spojovacího materiálu i u těsnění.

3.4. Řízení rizik provozovatelem potrubí přímo

3.4.1. Snižování potenciálních následků pohromy provozovatelem potrubí

Během provozu má hlavní slovo provozovatel. Proto by měl provádět opatření, aby riziku zabránil nebo ho alespoň zmenšil. V opatřeních a dokumentech vydaných provozovatelem je nutné tedy zajistit:

Pro další minimalizaci rizik provozovatel také provádí a zajišťuje

- snížení počtu zaměstnanců, kteří pracují v oblastech s největším nebezpečím
- provedení kontrol technika bezpečnosti práce a inspekce práce
- provedení kontrol inspektora (revizního technika) tlakových i jiných vybraných zařízení
- provoz a údržbu havarijní kanalizace
- údržbu přístupových cest pro záchranné složky
- a např. udržení a trénink podnikového hasičského záchranného sboru a ostatních bezpečnostních složek

Pro zjištění přijatelnosti rizika se obvykle používá zásada ALARP (as low as reasonably practicable – úroveň rizika je tak nízká, jak je to rozumně možné). Podle této zásady se stanovují dvě úrovně rizika: jestliže je riziko pod dolní mezí všeobecně tolerované oblasti, žádná opatření nejsou nezbytná. Jestliže se riziko nachází nad horní mezí všeobecně tolerované oblasti, riziko se považuje za nepřijatelné. Pokud se riziko nachází mezi horní a dolní mezí, je potřebné vyhledat ekonomicky nejvýhodnější řešení.

3.4.2. Provozní předpisy a řízení provozu podle nich

Nejdůležitějším provozním předpisem je souhrn organizačních opatření vedoucích ke snížení rizika, popsanych v příslušném dokumentu např. v provozním řádu. Souhrn organizačních opatření může být odstupňován podle druhu a velikosti rizika.

Mezi provozní předpisy patří i způsob zajištění inspekcí (technických revizí) tlakových zařízení v předepsaném rozsahu a v předepsaných intervalech, tj. plán inspekcí .

3.5. Řízení rizik ztráty integrity za zásadního přispění technických inspekcí

3.5.1. Závislosti mezi různými druhy ohrožení a uvedenými nebezpečími

Provozovatel zařízení má pod kontrolou určité druhy nebezpečí, neboť „určuje“ provozní zatížení (samozřejmě předpokládáme v rámci všech norem a předpisů), kdežto

projektant technického zařízení může toto provozní zatížení jen předpokládat a na jeho základě provést výpočet životnosti. Vnitřní logiku vzájemných závislostí si představíme v dalším.

Jako vymezení nebezpečí slouží celá kapitola 3.3. této knihy, kde jsou jednotlivá nebezpečí vyjmenována. Samozřejmě se může ukázat, že existují ještě nějaké.

Dále je nebezpečí již částečně kvantifikováno určením kategorie podle PED, kde kategorie závisí na tlaku tekutiny, teplotě tekutiny, objemu tekutiny či průměru trubky, stavu a skupině tekutiny - viz kapitola 3.2. Je nutné dále rozlišovat, zda je tekutina plyn či kapalina, a to z toho důvodu, že při použití plynu hrozí při ztrátě integrity výbuch způsobený nahromaděnou energií a u kapaliny nikoli.

Dále je nutné rozlišovat, zda jde o tekutinu hořlavou, výbušnou či bezpečnou anebo jinak nebezpečnou. Jestliže je přítomna hořlavá či výbušná tekutina a jestliže je přítomen nějaký iniciátor výbuchu (např. mechanická či elektrická jiskra, potřebná teplota apod.), nastane výbuch, který je v tabulce označen jako výbuch chemický. Jestliže jde o jinak nebezpečnou kapalinu a nastane porušení integrity, dojde pouze k úniku kapaliny a k možnému poškození životního prostředí. Jestliže jde o jinak nebezpečný plyn a nastane porušení integrity, dojde pouze k tlakovému výbuchu, který látku rozmetá do okolí a dojde k ohrožení lidských životů či zdraví. Jiné nebezpečné tekutiny jsou definovány v kapitole:

2.4.1.3. Určení skupiny tekutiny

Rozeznáváme zde tedy tato ohrožení: výbuch tlakový, výbuch chemická a únik tekutiny. Tato ohrožení jsou podrobněji uvedena v kapitole 3.1. této knihy.

3.5.2. Odhad velikosti rizika

Velikost rizika je úměrná kategorii podle PED. Ale to nestačí: Velikost rizika závisí také na důležitosti zařízení pro celou výrobu či pro celou tlakovou sestavu. Čili určuje, kam až se mohou rozšířit následky jednoho nebezpečí v jednom zařízení. Zatřídění podle důležitosti zařízení je v kapitole 3.2.1. I zařazení do tříd určuje velikost rizika.

Dále velikost rizika závisí na protirizikové infrastruktuře. Zde jsme z této složité oblasti použili dvě: Jak rychle se mohou dostavit složky integrovaného záchranného systému a zda zde existuje vhodná havarijní kanalizace. Havarijní kanalizace snižuje především zamoření životního prostředí.

Odpovědi na uvedené otázky v této kapitole můžeme při kvantifikaci obodovat. Počet bodů určuje velikost rizika.

3.5.3. Způsoby řízení rizika technickými inspekcemi

3.5.3.1. Nebezpečí a inspekční postupy

Technicko-inspekční opatření je provádění inspekcí potrubí v předepsaném rozsahu a v předepsaných intervalech podle velikosti rizika.

Každý druh nebezpečí by měl mít vypracován speciální druh inspekčního postupu. Každý druh kontrolního postupu by měl být písemně zpracován, vychází se z kapitoly 5.2. této knihy včetně použití adekvátních NDT. Kromě druhu technického postupu se rozlišuje i stupeň technického postupu, který závisí na důkladnosti provedení.

3.5.3.2. Intervaly technické inspekce

Dále se určuje druh intervalu inspekce, a to jako konstantní a progresivní. Podle druhu nebezpečí se pak určuje druh intervalu. Konstantní interval inspekce se provádí např. u těchto nebezpečí: porucha hlídání tlaku, porucha hlídání teploty, netěsnost příruby, vibrace potrubí, rázy a pulzace. Mohou být použity intervaly inspekce ze současných norem a předpisů. Kromě druhu kontrolního či inspekčního postupu se určuje ještě stupeň inspekčního postupu, viz

Progresivní interval inspekce se provádí např. u těchto nebezpečí: nízkocyklová únava, koroze, eroze a creep. To jsou nebezpečí, která jsou závislá na životnosti celého zařízení. V dokumentaci musí být uvedena tato životnost a dále musí být uvedeny limitní hodnoty těchto nebezpečí. U koroze a eroze je to korozní nebo erozní přírážka k tloušťce stěny. U nízkocyklové únavy je to počet cyklů a u creepu je to počet provozních hodin při určené teplotě. Jestliže se blíží konec životnosti celého zařízení anebo jestliže budou vyčerpány uvedené limitní hodnoty, je namístě intervaly inspekce zahusťovat. Progresivní interval inspekce by se měl určit podle kapitoly 4.5.

V případě, že bude nutná kombinace obou druhů intervalů inspekce, bude nutné v závěru životnosti některé termíny doplnit a naopak u intervalů na začátku životnosti bude možné zredukovat obsah a nekontrolovat postup koroze, eroze, vysokocyklové únavy a creepu. Nazvěme to kombinovaný interval inspekce.

3.5.3.3. Vytváření druhů inspekčních postupů

Inspekční postup se skládá z jednotlivých stupňů a jednotlivých druhů. Druh inspekčního postupu by se měl skládat z opatření a z kontrolních scénářů poskytující ochranu proti jednotlivému druhu nebezpečí, např. proti postupu koroze, poruše hlídání tlaku. Možná opatření a druhy kontrolních postupů proti jednotlivým nebezpečím jsou popsána v kapitolách 5.2. Druhy inspekčních postupů - Způsob identifikace jednotlivých nebezpečí

3.5.4. Jednotlivé stupně inspekčních postupů

Kromě druhu inspekčního postupu by se měl určit ještě stupeň inspekčního postupu, Stupeň inspekčního postupu znamená stupeň důkladnosti provedení postupu v závislosti na velikosti rizika.

3.5.4.1. Rozsah a obsah inspekčního postupu při převzetí potrubí do portfolia inspekci

Tato inspekce slouží k seznámení inspektora s potrubím, které převezme do péče. Při tomto by se mělo provádět:

1. Kontrola kompletnosti výrobní dokumentace. Také byla-li provedena analýza rizik při návrhu zařízení a jsou-li zde nějaká zbytková rizika. Zejména:

- je-li určena stanovená životnost
- jaký je přídavek na korozi, je-li nebezpečí koroze
- jaký je dovolený počet únavových cyklů a je-li stanoven, není-li, platí maximální počet cyklů 500.
- jaký je maximální dovolený počet hodin pro creep, je-li zde nebezpečí creepu. Určí se podle použitého materiálu a nejvyšší dovolené teploty.
- existují-li nějaké ostatní nebezpečí zejména ta, která jsou uvedena v seznamu zbytkových rizik.
- seznámí se s provozním řádem.
- zkontroluje, zda byly provedeny všechny předepsané kontroly týkající se konstrukce a výroby např. podle ČSN EN 13480-4 a ČSN EN 13480-5. Jestliže

2. Kontroluje se chování potrubí za provozu:

- kontrola zda neexistuje kmitání buzené rotačními zařízeními či akusticky ventily
- kontrola zda se nevyskytují hydraulické rázy
- kontrola zda netečou příruby

3. Závěrečná činnost:

- vypracuje plán kontrol a nechá ho schválit provozovateli.
- navrhne provozovateli doplňky a změny v provozním řádu
- v případě, že nebyly provedeny všechny předepsané kontroly týkající se kontroly a výroby, provede velkou technickou inspekci podle kapitoly 3.6.3.

3.5.4.2. Stupeň zkráceného inspekčního postupu

Rozsah a obsah zkráceného inspekčního postupu by měl být takovýto:

- vizuální kontrola vnějšku i vnitřku potrubí, potrubí za provozu nesmí kmitat
- prohlídka a kontrola funkce bezpečnostních zařízení (např. pojišťovák, manometry, elektronika)
- v případě postupu koroze či eroze změření tloušťky stěny, např. ultrazvukem
- v případě nebezpečí vzniku únavové trhliny kontrola existence trhlín např. ultrazvukem
- v případě nebezpečí creepu změření creepové deformace

3.5.4.3. Základní stupeň inspekčního postupu

Rozsah a obsah základního stupně inspekčního postupu by měl být takovýto:

- Zkrácený inspekční postup
- alternativně anebo kombinovaně se mohou použít tyto druhy kontrol: tlaková zkouška, akustická emise, podrobná kontrola existence trhlín ultrazvukem ve všech rizikových místech. Výběr jednotlivých druhů kontrol se provádí na základě analýzy rizik.

3.6. Řízení rizik u jednotlivých druhů potrubí v provozu

3.6.1. Nebezpečí u jednotlivých druhů potrubí v provozu

V této kapitole předpokládáme, že byly všechny předprovozní etapy, tj. projekt, výroba a montáž, provedeny řádně bez vad a řádně zkontrolovány, odpovídají platných normám a mají tak všechny předpoklady bezpečného provozu popsané v kapitole 2. Řízení rizik ve fázi návrhu a výroby potrubí.

Následuje tabulka, která shrnuje nebezpečí pro jednotlivá potrubí. V tabulce bereme v úvahu jen ta nebezpečí, která mohou nastat čistě v provozu. U vodovodů mohou být ještě používána potrubí z litiny, v tomto případě hrozí i křehký lom.

Popis nebezpečí	Druh potrubí					
	Vodovod a tlaková kanalizace	Plynovod podzemní	Plynovod nadzemní	Parovod a vedení kondenzátu	Teplovod a horkovod	Průmyslové potrubí
Porucha hlídání tlaku	Ne	Ne	Ne	Ano	Ano	Ano
Porucha hlídání teploty	Ne	Ne	Ne	Ano	Ano	Ano
Nízkocyklová únava	Ne	Ne	Ne	Ano	Ano	Ano
Creep	Ne	Ne	Ne	Ano	Ne	Ano
Eroze	Ano	Ne	Ne	Ano	Ne	Ano
Koroze	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano
Netěsnost	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano

spoje (např. příruby)						
Vibrace, vysokocyklová únava	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ano
Hydraulické rázy a pulzace	Ano	Ne	Ne	Ano	Ano	Ano
Usazování sedimentu	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano
Pohyby podloží	Ano	Ano	Ne	Ne	Ne	Ne
Pohyb podpěry	Ne	Ne	Ano	Ano	Ano	Ano

Tab.3.1. Shrnující tabulka jednotlivých nebezpečí v provozu pro různé druhy potrubí

3.6.2. Nebezpečí a rizika u vodovodů a tlakové kanalizace

Předpokládáme, že všechny předprovozní etapy ,tj. projekt, výroba a montáž, byly provedeny řádně bez vad a řádně zkontrolovány, odpovídají platným normám anebo normám či zvyklostem v době jejich vzniku. Rozebíráme tak jen nebezpečí, která mohou nastat čistě v provozu.

Používání vhodných materiálů. Vhodné používané materiály:

- plast, nejčastěji polyetylén
- ocel
- litina, přežívá z minulosti

Nebezpečí vznikající za provozu:

- a) Koroze vnitřní
- b) Koroze vnější

- porušení vnější izolace
- bludné proudy

- c) Pohyby podloží:

- Instalace potrubí na nezkonsolidované podloží
- Poddolované podloží viz ČSN 73 0039 Navrhování objektů na poddolovaném území
- Podemleté podloží vodou – nepředpokládané přetvoření zeminy
- Přetvořením, po zmrznutí a roztání zeminy. Jestliže je potrubí uloženo

v nezámrazné hloubce, děje se pouze nad potrubím.

- Vytvářením dutin (kavern) např. spláchnutím části zeminy např. do kanalizace a následný sesuv, propad ulice.

- Dopravním provozem, je-li nahoře nad potrubím komunikace.

d) Zanášení sedimenty

e) Křehký lom u litiny

Neexistuje únava materiálu, creep

3.6.3. Nebezpečí a rizika u plynovodů

I zde předpokládáme, že všechny předprovozní etapy ,tj. projekt, výroba a montáž, byly provedeny řádně bez vad a řádně zkontrolovány, odpovídají platným normám anebo normám či zvyklostem v době jejich vzniku. Rozebíráme tak jen nebezpečí, která mohou nastat čistě v provozu.

Používání vhodných materiálů. Vhodné používané materiály:

- plast, nejčastěji polyetylén

- ocel, nejvhodnější je jemnozrnná podle ČSN EN ISO 3183 Naftový a plynárenský průmysl –

Ocelové potrubí pro potrubní přepravní systémy

Nebezpečí vznikající za provozu u nadzemních plynovodů:

a) Pokles podpěry

b) Koroze vnitřní

c) Koroze vnější

- porušení vnější izolace

- bludné proudy

d) Zanášení sedimenty

e) Vrypy, boule, trhliny

Nebezpečí vznikající za provozu u podzemních plynovodů:

a) Koroze vnitřní

b) Koroze vnější

- porušení vnější izolace

- bludné proudy

c) Pohyby podloží:

- Instalace potrubí na nezkonsolidované podloží

- Poddolované podloží viz ČSN 73 0039 Navrhování objektů na poddolovaném území

- Nepředpokládané přetvoření zeminy

- Přetvořením, po zmrznutí a roztání zeminy. Jestliže je potrubí uloženo v nezámrné hloubce, děje se pouze nad potrubím.

- Vytvářením dutin (kavern) např. spláchnutím části zeminy např. do kanalizace a následný sesuv, propad ulice.

- Dopravním provozem, je-li nahoře nad potrubím komunikace.

d) Zanášení sedimenty

e) Vrypy, boule, trhliny

Hodnocení stavu nadzemních i podzemních plynovodů se provádí podle:

TPG 700 02 Stanovení technického stavu nízkotlakých a středotlakých plynovodních sítí z oceli. Diagnostické metody.

TPG 700 04 Stanovení technického stavu vysokotlakých plynovodů. Diagnostické metody

3.6.4. Nebezpečí a rizika u parovodů a vedení kondenzátu

I zde předpokládáme, že všechny předprovozní etapy ,tj. projekt, výroba a montáž, byly provedeny řádně bez vad a řádně zkontrolovány, odpovídají platným normám anebo normám či zvyklostem v době jejich vzniku. Rozebíráme tak jen nebezpečí, která mohou nastat čistě v provozu. Parovody a vedení kondenzátu jsou z důvodu tepelné roztažnosti potrubí vždy vedeny na povrchu, ve štolách anebo v kanálech.

Používání vhodných materiálů. Vhodné používané materiály:

- ocelová potrubí podle ČSN EN 13480-2 Kovová průmyslová potrubí Část 2 Materiály

Nebezpečí vznikající za provozu:

a) Pokles podpěry

b) Koroze vnitřní

c) Koroze vnější

- porušení vnější izolace

- bludné proudy

d) Zanášení sedimenty

e) Vrypy, boule, trhliny

Údržba se provádí podle: ČSN 13 0108 Potrubí. Provoz a údržba potrubí. Technické předpisy

3.6.5. Nebezpečí a rizika u předizolovaných teplovodů a horkovodů

I zde předpokládáme, že všechny předprovozní etapy ,tj. projekt, výroba a montáž, byly provedeny řádně bez vad a řádně zkontrolovány, odpovídají platným normám, tj. ČSN EN13941-1. Vedení vodních tepelných sítí – Navrhování a instalace předizolovaných jednotlivých a dvojitých potrubí pro vodní tepelné sítě ukládaných přímo do země, Část 1 Navrhování a mají tak všechny předpoklady bezpečného provozu popsané v kapitole 2.

Řízení rizik ve fázi návrhu a výroby potrubí. Předpokládáme tak, že jsou ošetřeny mezní stavy uvedené v normě, Rozebíráme tak jen nebezpečí, která mohou nastat čistě v provozu.

Vhodné používané materiály:

- ocel nejmenší jakosti: 1.0345 (P235GH), Tepelná izolace,
- polyuretan: podle ČSN EN 253
- vnější opláštění: PE-100 podle ČSN EN ISO 15494
- poštář pro tepelnou expanzi: polyetylenová pěna

Nebezpečí podle uvedené normy vznikající za provozu

a) Koroze vnitřní

b) Koroze vnější

- porušení vnější izolace
- bludné proudy

c) Pohyby podloží:

- Instalace potrubí na nezkonsolidované podloží
- Poddolované podloží viz ČSN 73 0039 Navrhování objektů na poddolovaném území
- Nepředpokládané přetvoření zeminy
- Přetvořením, po zmrznutí a roztání zeminy. Jestliže je potrubí uloženo

v nezámrazné hloubce, děje se pouze nad potrubím.

- Vytvářením dutin (kavern) např. spláchnutím části zeminy např. do kanalizace a následný sesuv, propad ulice.

- Dopravním provozem, je-li nahoře nad potrubím komunikace.

d) Zanášení sedimenty

3.6.6. Nebezpečí a rizika u průmyslových potrubí

I zde předpokládáme, že všechny předprovozní etapy ,tj. projekt, výroba a montáž, byly provedeny řádně bez vad a řádně zkontrolovány, odpovídají platným normám anebo normám či zvyklostem v době jejich vzniku. Rozebíráme tak jen nebezpečí, která mohou nastat čistě v provozu.

Používání vhodných materiálů. Vhodné používané materiály:

ČSN EN 13480-2 Kovová průmyslová potrubí, Část 2 Materiály

Nebezpečí vznikající za provozu:

a) Pokles podpěry

b) Koroze vnitřní

c) Koroze vnější

- porušení vnější izolace

- bludné proudy

d) Zanášení sedimenty

e) Vrypy, boule, trhliny

Údržba se provádí podle: ČSN 13 0108 Potrubí. Provoz a údržba potrubí. Technické předpisy

4. Pravěpodobnostní přístup k provoznímu zatížení potrubí, k životnosti potrubí a k poruše zařízení

4.1. Veličiny a jednotky v této kapitole

Značka	Zkratka jednotky	Název
F	N	síla (všeobecně)
M	Nm	moment síly (všeobecně)
σ	MPa	napětí (všeobecně)
σ_1, σ_o	MPa	hlavní napětí (osové napětí v trubce)
σ_2, σ_t	MPa	hlavní napětí (obvodové či tečné napětí v trubce)
E	MPa	modul tahové/tlakové pružnosti
p	MPa	vnitřní tlak v potrubí
D_o, D	mm	vnější průměr trubky
d	mm	vnitřní průměr trubky
R	mm; roky	střední poloměr potrubí (trubky); stáří potrubí
$h; s_p$	mm	tloušťka stěny trubky (původní)
s_z	mm	zbývající tloušťka stěny trubky
s_{kr}	mm	kritická tloušťka stěny trubky
B_{zbyt}	roky	předpokládaná zbytková bezpečnost - životnost
k_1	-	koeficient bezpečnosti závislý na počtu měření tloušťky stěny trubky
k_2	-	koeficient pro rozlišení druhů koroze
α	K ⁻¹	součinitel tepelné roztažnosti
Δt	°C	změna teploty
x	-	hodnota náhodné veličiny
t	-	hodnota náhodné veličiny probíhající v čase, zde též doba do poruchy
$f(x), f(t)$	-	funkce hustoty pravděpodobnosti
$F(x)$	-	distribuční funkce
$F(t)$	-	distribuční funkce, zde též pravděpodobnost poruchy
$R(t)$	-	spolehlivost (bezporuchovost, funkční schopnost)
$\lambda(t)$	-	intenzita Sem zadejte rovnici. poruch
μ	-	parametr rozdělení pravděpodobnosti vyjadřující střední polohu hodnot v rozdělení (střední hodnotu).
σ	-	parametr rozdělení pravděpodobnosti vyjadřující rozptýlení hodnot náhodné veličiny
t	dni	doba, po kterou je zařízení v provozu
t_1	dni	čas, za který proběhne velký zatěžovací cyklus
t_{c1}	dni	doba jednoho cyklu, při kterém je prováděno měření creepu
t_{w1}	dni	doba jednoho cyklu, při kterém je prováděno měření koroze
t_{F1}	dni	doba jednoho cyklu, při kterém je prováděno měření vložených cyklů
p	-	maximální dovolená pravděpodobnost poruchy systému

f_{op}	MPa	vypočítaná napětí z naměřených hodnot pro jednotlivé přírůstky namáhání v intervalu/cyklu
T_{op}	dni	doba provozu intervalu či cyklu při provozních podmínkách
T_{al}	dni	doba do dosazení maximálního teoretického porušení
$c(t)$	mm	okamžitý úbytek korozního přídavek
$c(T_{al})$	mm	celý korozní přídavek
c_{max}	mm	maximální původní korozní přídavek
D_w	-	celkové poškození úbytkem materiálu při korozi
ΔD_w	-	nárůst poškození koroze
D_{w1}	-	celkové poškození koroze během jednoho cyklu
D_F	-	celkové poškození únavou
D_{Frse}	-	poškození únavou od zbylé posoupnosti lokálních extrémů (RSE)
ΔD_{Fik}	-	nárůst poškození únavou
D_c	-	celkové poškození creepem
ΔD_{cik}	-	nárůst poškození creepem
D_{c1}	-	celkové poškození creepem během jednoho cyklu
n_1	-	počet cyklů v jednom velkém zatěžovacím cyklu
n_{ik}	-	počet roztříděných cyklů účinků zatížení ve třídě i, k
N_{ik}	-	dovolený počet cyklů účinků zatížení ve třídě i, k z únavové křivky
L_s	roky	stanovená životnost
L_b	roky	bezpečná (minimální) životnost
L_{50}	roky	střední životnost
L_m	roky	maximální životnost
S	MPa*)	účinky zatížení
R_o	MPa*)	odolnost konstrukce
G	MPa*)	rezerva spolehlivosti $G=R_o-S \geq 0$
$f_{rs}(R_o, S)$	-	sdílená funkce hustoty nezávislých náhodných proměnných R_o a S
$f_d(R_o, S)$	-	funkce hustoty pravděpodobnosti poruch
$f_s(S)$	-	funkce hustoty náhodných účinků provozního zatížení
$f_R(R_o)$	-	funkce hustoty náhodné odolnosti konstrukce
$F(S; R_o)$	-	pravděpodobnost poruchy celého systému
$R(S; R_o)$	-	spolehlivost celého systému

*) bližší informace jsou uvedeny v textu

Tab. 4.1. Veličiny a jednotky všeobecné

4.2. Provozní zatížení potrubí

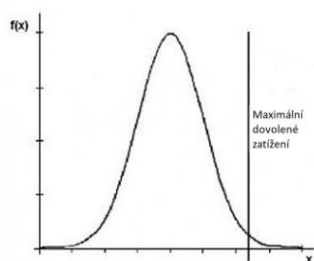
4.2.1. Náhodná provozní zatížení a maximální dovolená zatížení

Maximální dovolené zatížení. Při návrhu tlakového zařízení se bere nejprve v úvahu jeho statická (nebo i dynamická) odolnost na maximální dovolená zatížení. Toto zatížení je udáváno v různých jednotkách odvozených od jednotky síly, je to v N (Newton-síla), Nm (Newtonmetr – moment síly), MPa (Megapascal – tlak) nebo i *stupeň Celsia* (teplota). U tlakového zařízení včetně potrubí se bere za maximální dovolená zatížení

maximální dovolený tlak (který je kontrolován pojišťovacím ventilem) a maximální dovolená teplota (tj. maximálně dosažitelná).

Další náhodná zatížení u potrubí jsou: zatížení od vlastní hmotnosti a klimatická zatížení. Jako maximální dovolená zatížení se berou zatížení na horní hranici, jde-li o omezení dané výrobní tolerancí (odvození hmotnosti z geometrických rozměrů) anebo normou (klimatická zatížení, hustota izolace) anebo střední hodnotou (hustota oceli, média).

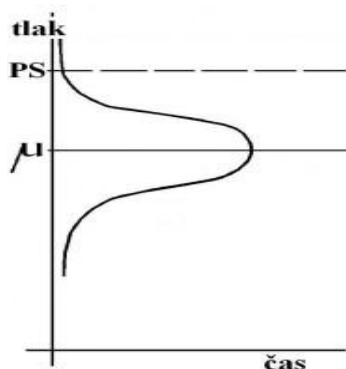
Předpokládáme, že náhodná provozní zatížení při funkci nějakého zatížení je tvořena normálním rozdělením (Gaussovým). V takovémto případě se vyskytují zatížení, které je větší než zatížení maximální dovolená avšak ve velmi malé pravděpodobnosti. Znázornění vztahu maximálního dovoleného zatížení a náhodného provozního zatížení je potom takovéto:



Obr. 4.1. Znázornění maximálního dovoleného zatížení

4.2.2. Zatížení tlakem a teplotou jako náhodným zatížením

Náhodné provozní zatížení je reálné zatížení mající určitý náhodný průběh v čase. Má určitý rozsah a četnost v téže jednotkách jako u maximální dovolené zatížení. Lze ho statisticky zpracovat. Je závislá na podmínkách a vůli provozovatele systému. Předpokládáme-li rozdělení normální, pak statistickou stabilitu charakterizují dva jeho parametry μ a σ . Parametr μ vyjadřuje polohu hodnot v rozdělení (střední hodnotu). Parametr σ (směrodatná odchylka) je charakteristikou rozptýlení hodnot.



Obr. 4.2. Normální rozdělení tlaku a umístění maximálního dovoleného tlaku PS, na který je nastaven pojišťovací ventil

Provozní zatížení teplotou je též podrobena stejnému základnímu cyklu, vložené cykly jsou však pouze podobné (např. na teplotu nepůsobí hydraulický ráz). Změna teploty způsobuje změnu napětí v potrubí s určitým zpožděním způsobeným tepelnou setrvačností, tj. postupným ohříváním a chladnutím. Předpokládáme-li rozdělení pravděpodobnosti provozní teploty normální, pak statistickou stabilitu charakterizují dva jeho parametry μ a σ , které mají stejný význam jako u zatížení provozním tlakem.

4.2.3. Zatížení vlastní hmotností potrubí, média a izolace jako náhodná veličina

Zatížení vlastní hmotností potrubí je stálé a nemá nulovou složku. Toto zatížení má normální rozdělení pravděpodobnosti a závisí na statistických parametrech průřezu trubky a délky potrubí na jedné straně a na statistických parametrech hustoty materiálu potrubí na straně druhé.

Zatížení vlastní hmotností izolace je stálé a nemá nulovou složku. Toto zatížení má normální rozdělení pravděpodobnosti a závisí na statistických parametrech průřezu izolace a její délky na jedné straně a na statistických parametrech hustoty izolace na straně druhé. Zde by měl též započítat součinitel pro stlačení izolace. Dobré by bylo vytvořit normalizované tabulky statistických parametrů rozdělení pravděpodobnosti tloušťky izolace.

Zatížení potrubí tekutinou (médii). Toto zatížení závisí nejen statistických parametrech vnitřního průměru trubky a délky (tj. objemu trubky) na jedné straně a na statistických parametrech hustoty média na straně druhé. Důležité je též procento "naplnění objemu" potrubí v případě kapaliny a teplota média v případě plynu.

Hustota jako náhodná veličina

Ke specifikaci zatížení, a to zejména vlastní hmotnosti, slouží *hustota potrubí, hustota média a hustota izolace*.

Náhodná proměnlivost hustoty materiálu potrubí je oproti změnám tlaku, teploty, sněhu a větru zanedbatelná. Parametr σ (směrodatná odchylka) je tak oproti vyjmenovaným zatížením zanedbatelně malá.

Hustota izolace včetně oplechování. U izolací z vláknitých materiálů tvořících stlačitelný objem například rohože, je třeba vzít též v úvahu reálné stlačení materiálu po montáži na potrubí. A proto by bylo dobré vytvořit normalizované normové rozdělení hustoty pravděpodobnosti pro celkovou hustotu izolací včetně stlačení a oplechování.

Médium tvoří též homogenní látky anebo směsi. Jestliže je médium kapalina, pak náhodná proměnlivost hustoty kapaliny v potrubí je oproti změnám tlaku, teploty, sněhu a větru zanedbatelná. Parametr σ (směrodatná odchylka) je tak oproti vyjmenovaným zatížením zanedbatelně malá.

Jestliže je médium plyn, potom je hustota plynu závislá též na tlaku v potrubí a jeho nahodilostem. V takovémto případě je získání rozdělení hustoty pravděpodobnosti (popřípadě i jeho parametrů) velice složité. K prospěchu nám však slouží, že hustota plynu je řádově menší než u kapaliny a jeho vliv na celkové namáhání potrubí od vlastní hmotnosti je potom v mnoha případech zanedbatelný.

Rozměry potrubí jako náhodná veličina

Rozměry potrubí slouží buď k převodu zatížení na účinky zatížení v transformačních vzorcích anebo k určení zatížení, např. klimatických nebo k zatížení vlastní hmotností.

Rozměry potrubních dílů (strojírenských součástí všeobecně) se vzhledem k nevyhnutelným nahodilým odchylkám ve výrobě chovají jako náhodné veličiny. Tuto skutečnost vyjadřuje tolerance, která je rozdílem největšího a nejmenšího přípustného mezního rozměru. V technické dokumentaci (tj. výkresu, rozměrové normě, technických dodacích podmínkách) je určen nebo vyznačen jmenovitý rozměr společně s mezními úchytkami (horní a dolní), které jsou dány rozdíly mezních rozměrů od jmenovitého rozměru. Součet mezních odchylek tedy představuje toleranci. Stanovení tolerance je nutný kompromis mezi požadavky na maximální přesnost a možnostmi výroby tuto přesnost dodržet.

Na výrobní operace můžeme pohlížet jako na náhodný pokus, který se opakuje za stálých podmínek. Na jeho výsledek působí jak náhodné, tak systematické vlivy. Pokud to jsou pouze náhodné vlivy, pak je výrazem jejich působení některý z modelů rozdělení pravděpodobnosti, nejčastěji je to rozdělení normální. Přidruží-li se navíc i systematické vlivy (např. opotřebování nějakého nástroje), pak celkový výsledek působení v čase vyjadřuje smíšené rozdělení.

Statistická analýza výrobního procesu. Úkolem statické analýzy výrobního procesu je charakterizovat jeho stabilitu parametry rozdělení pravděpodobnosti náhodné veličiny, v našem případě jde o rozměry potrubních dílců. Stabilitu výrobního procesu ze statistického hlediska chápeme jako schopnost udržet po určitou dobu parametry rozdělení na konstantní úrovni. Výrobní proces je statisticky stabilní, působí-li na něj ve sledovaném časovém úseku pouze náhodné vlivy. V takovém případě říkáme, že výrobní proces je statisticky kontrolován.

Předpokládáme-li rozdělení normální, a to je u geometrických rozměrů velmi častý případ, pak statistickou stabilitu charakterizují dva jeho parametry μ a σ .

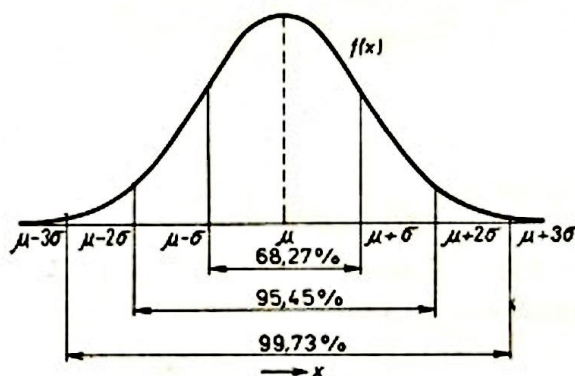
Parametr μ vyjadřuje polohu hodnot v rozdělení (střední hodnotu) a představuje hodnotu, na níž je výrobní zařízení ve výrobní operaci nastaveno. Parametr σ (směrodatná odchylka) je charakteristikou rozptýlení hodnot a vyjadřuje výrobní přesnost, s níž pracuje výrobní zařízení ve výrobním procesu.

Výrobní proces může být regulován pomocí nástroje nazvaného statistická regulace. Jako nástroj statistické regulace procesu se používá regulační diagram. Regulační diagram je graf, který se používá ke znázornění změn procesu. Regulační diagramy jsou normalizovány.

Určení parametrů rozdělení geometrických rozměrů. Abychom mohli využívat uvedeného ve výpočtech životnosti a spolehlivosti, musíme znát parametry rozdělení pravděpodobnosti geometrických rozměrů.

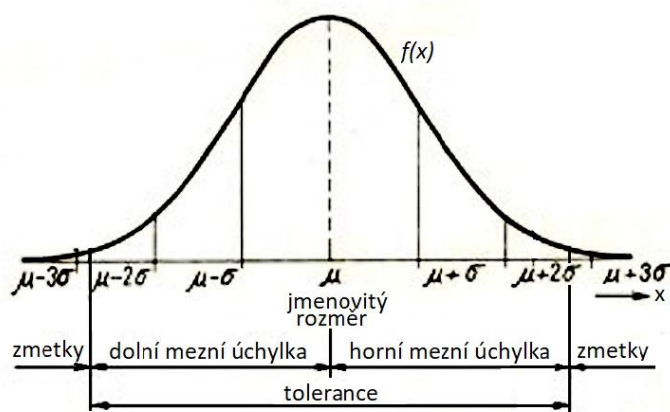
Jak již bylo napsáno, parametr μ vyjadřuje polohu hodnot v rozdělení (střední hodnotu) a představuje hodnotu, na níž je výrobní zařízení ve výrobní operaci nastaveno. Tento parametr je tedy jmenovitý rozměr, který je vždy určen nebo vyznačen v technické dokumentaci (tj. výkresu, rozměrové normě, technických dodacích podmínkách) potrubního dílu (komponenty).

Parametr σ (směrodatná odchylka) je charakteristikou rozptýlení hodnot a vyjadřuje výrobní přesnost, s níž pracuje výrobní zařízení ve výrobním procesu. Jeho hodnotu nám pomůže určit fakt, že z norem pro regulaci procesu lze odvodit, že proces je regulován tak, že hodnota regulovaného geometrického rozměru se ocitne vně intervalu $\mu \pm 3\sigma$ s pravděpodobností 0,0027.



Obr. 4.3. Význam parametru μ a σ v normálním rozdělení

V technické dokumentaci (tj. výkresu, rozměrové normě, technických dodacích podmínkách) jsou určeny nebo vyznačeny také mezní úchytky (horní a dolní), které jsou dány jako rozdíly mezních rozměrů od jmenovitého rozměru. Výrobky s většími úchytkami, než jsou mezní, bývají technickou kontrolou vyřazeny jako zmetky.



Obr. 4.4. Vyznačení mezních odchylek a tolerance v normálním rozdělení

Mezní úchylky průměru a tloušťky stěny potrubí podle jednotlivých technických norem. Jak již bylo napsáno v předešlé kapitole, parametr μ normálního rozdělení pravděpodobnosti vyjadřuje polohu hodnot v rozdělení (střední hodnotu) a představuje jmenovitý rozměr vnějšího průměru trubky (pozor neplést s PN) a tloušťky stěny trubky. Parametr σ (směrodatná odchylka) je charakteristikou rozptýlení hodnot a vyjadřuje výrobní přesnost, s níž pracuje výrobní zařízení ve výrobním procesu. Jako nejhorší případ, při němž je výroba ještě ekonomická bereme, že hodnota regulovaného geometrického rozměru se ocitne vně intervalu $\mu \pm 3\sigma$ s pravděpodobností 0,0027. Hodnota 3σ je tak hodnota mezní úchylky udávané v dalším textu. Výrobky s většími úchylkami, než jsou tyto, jsou technickou kontrolou vyřazeny jako zmetky.

Tolerance rozměry potrubí podle jednotlivých norem

Bezešvé ocelové trubky.

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

Mezní úchylky vnějšího průměru: $\pm 1\%$ nebo $\pm 0,5\text{mm}$ platí větší hodnota

Mezní úchylky tloušťky stěny trubky:

do DN200 včetně: $\pm 12,5\%$ nebo $\pm 0,4\text{mm}$ platí větší hodnota
nad DN200: rozdílné pro hodnoty poměru tloušťka stěny/vnější průměr
do 0,025 včetně: $\pm 20\%$
od 0,025 do 0,05 včetně: $\pm 15\%$
od 0,05 do 0,1 včetně: $\pm 12,5\%$
od 0,1 a výš: $\pm 10\%$

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

Mezní úchytky vnějšího průměru:

do DN200 včetně: $\pm 1\%$ nebo $\pm 0,5\text{mm}$ platí větší hodnota

nad DN200: $\pm 0,75\%$ nebo $\pm 6\text{mm}$ platí menší hodnota

Mezní úchytky tloušťky stěny trubky: rozdílné pro hodnoty různou tloušťku stěny

do 5mm včetně: $\pm 10\%$ nebo $\pm 0,3\text{mm}$ platí větší hodnota

od 5mm do 40mm včetně: $\pm 8\%$ nebo $\pm 2\text{mm}$ platí menší hodnota

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

Mezní úchytky vnějšího průměru:

do DN200 včetně: $\pm 1\%$ nebo $\pm 0,5\text{mm}$ platí větší hodnota

nad DN200: $\pm 0,75\%$

Mezní úchytky tloušťky stěny trubky: rozdílné pro hodnoty různou tloušťku stěny

do 5mm včetně: $\pm 10\%$ nebo $\pm 0,3\text{mm}$ platí větší hodnota

od 5mm do 16mm včetně: $\pm 8\%$

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 obloukově svařované trubky z nelegovaných ocelí se zaručenými vlastnostmi při nízkých teplotách

Mezní úchytky vnějšího průměru: $\pm 0,75\%$ nebo $\pm 6\text{mm}$ platí menší hodnota

Mezní úchytky tloušťky stěny trubky: rozdílné pro hodnoty různou tloušťku stěny

do 5mm včetně: $\pm 10\%$ nebo $\pm 0,3\text{mm}$ platí větší hodnota

od 5mm do 40mm včetně: $\pm 8\%$ nebo $\pm 2\text{mm}$ platí menší hodnota

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 vnějšího průměru:

do DN150 včetně: $\pm 0,75\%$ nebo $\pm 0,3\text{mm}$ platí větší hodnota

nad DN150: $\pm 1,0\%$

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 (421907) Naftový a plynárenský průmysl - Ocelové potrubí pro potrubní přepravní systémy

Bezešvá trubka

Mezní úchytky vnějšího průměru:

do DN600 včetně: $\pm 0,75\%$

nad DN600: $\pm 1,0\%$

Mezní úchytky tloušťky stěny trubky: podle různé tloušťky stěny

do 4mm včetně: od $+0,6$ do $-0,5\text{mm}$

od 4mm do 25mm včetně: od $+15\%$ do $-12,5\%$

od 25mm: od $+10\%$ nebo $+3,7\text{mm}$ platí větší hodnota

do -10% nebo $-3,0\text{mm}$ platí větší absolutní hodnota

Svařovaná trubka

Mezní úchytky vnějšího průměru:

do DN150 včetně: $\pm 0,75\%$

od DN150 do DN600 včetně: $\pm 0,75\%$ nebo $\pm 3,2\text{ mm}$ platí větší hodnota

nad DN600: $\pm 0,5\%$ nebo $\pm 4,0\text{ mm}$ platí větší hodnota

Mezní úchytky tloušťky stěny trubky: rozdílné pro hodnoty různou tloušťku stěny

do 5mm včetně: $\pm 0,5\text{mm}$

od 5mm do 15mm včetně: $\pm 10\%$

od 15mm: $\pm 1,5\text{mm}$

Délkové rozměry potrubí. Mezní úchytky délky dosahované při výrobě a montáži potrubí. Mezní úchytky charakteru délky dosahované při montáži či výrobě potrubí se řídí normou ČSN ISO 2768-1. Jestliže je třeba dosáhnout jiných hodnot, musí být tyto uvedeny na výkrese. Dle tabulky z uvedené normy je třeba dodržet tyto nepředepsané mezní úchytky délkových rozměrů.

Třída přesnosti	od 120 do 400	od 400 do 1000	od 1000 do 2000	od 2000 do 4000
f	±0,2	±0,3	±0,5	-
m	±0,5	±0,8	±1,2	±2
c	±1,2	±2	±3	±4
v	±2,5	±4	±6	±8

Tab. 4.2. Nepředepsané mezní úchytky délkových rozměrů

Normy, kde je možno se dozvědět více

ČSN EN ISO 2768-1 Všeobecné tolerance - Část 1: Nepředepsané mezní úchytky délkových a úhlových rozměrů

ČSN EN ISO 2768-2 Všeobecné tolerance - Část 2: Nepředepsané geometrické tolerance

4.2.4. Klimatická zatížení

Klimatická zatížení tj. u nás zatížení větrem a zatížení sněhem, mají typicky náhodný (tj. stochastický) charakter.

Zatížení větrem. Náhodné chování zatížení větrem vyplývá z náhodné proměnlivosti rychlosti a směru větru. Rychlost větru je veličina, která je náhodně proměnná v čase, a je tedy popsitelná náhodnou funkcí. Většinou se předpokládá, že jde o funkci stacionární, tzn., že průběh kolísání rychlosti v čase má ustálenou povahu.

Proměnlivost rychlosti v určitém časovém intervalu se vyjadřuje dvěma složkami: stálou složkou v čase neproměnnou a složkou pulzující v čase proměnnou, která se může vyjádřit statistickými parametry. Statistické soubory se sestavují z dlouhodobých záznamů rychlosti větru. Soubory mohou být uspořádány v závislosti na směru větru. Statistické charakteristiky rychlostí větrů pro některá místa v ČR a SR jsou publikovány například v knize uvedené v kapitole 8.1. Ostatní doporučená literatura, položka [82.].

Zatížení sněhem je nahodilé zatížení krátkodobé, přechodné, vyskytující se v zimním období, má tedy nulovou složku. Náhodnost chování se uplatňuje jen u tíhy sněhu. Náhodná proměnlivost tíhy sněhu se vyšetřuje na statistických souborech dlouhodobých záznamů. Ze statistických údajů se určují jejich charakteristiky. Rozdělení pravděpodobnosti bývá logaritmickomormální. Statistické charakteristiky tíhy sněhu na meteorologických stanicích v

ČR a SR jsou publikovány například v knize uvedené v kapitole 8.1. Ostatní doporučená literatura, položka [82.].

4.3. Účinky zatížení a jejich získávání

4.3.1. Co jsou to účinky zatížení

Účinky provozního zatížení „S“ je transformované náhodné provozní zatížení do rizikového místa konstrukce. Tato transformace je ovlivněna konkrétním návrhem technického zařízení, a to hlavně způsobem převedení zatížení do rizikového místa. Náhodné účinky provozního zatížení mají též náhodný průběh v čase a lze ho statisticky zpracovat. Tyto účinky jsou obvykle uváděny v MPa (mechanické napětí), tj. v jednotkách odolnosti konstrukce zařízení. Výstupní hodnoty jsou např. napětí, které jsou též zpracovány do rozdělení pravděpodobnosti, což jsou účinky zatížení.

4.3.2. Materiálové konstanty a veličiny, které slouží k převodu zatížení na účinky zatížení

K převodu zatížení na účinky zatížení, jestliže je potrubí uloženo tak, že tvoří staticky neurčitou konstrukci, slouží modul pružnosti - v tahu i ve smyku - a Poissonovo číslo. Účinky zatížení jsou zde chápány jako skutečné napětí v potrubí.

Pro převod teplotního rozdílu na napětí slouží též koeficient tepelné roztažnosti. A proto sem též patří.

Náhodná proměnlivost těchto hodnot u kovů je zanedbatelná. Jiná je situace u jiných materiálů zejména u kompozitů (laminátů a betonu) a u materiálů, kde materiál potrubí tvoří směsi (např. keramika). Je potom věcí výrobce, aby určil rozdělení hustoty pravděpodobnosti této nahodilé veličiny a její parametry.

Transformační vzorce. Transformační vzorce slouží k převedení Zatížení potrubí na účinky zatížení. Jako transformační vzorce pro potrubí (anebo pro ostatní tlaková zařízení) se dají využít prakticky všechny vzorce z kapitoly "Pevnostní výpočty potrubí", a to tam, kde se převádí zatížení na napětí. Jestliže je však nutné zjednodušení, pak je možné využít pouze podkapitolu "Tenkostěnné potrubní komponenty a membránový stav napětí".

A to zejména vzorce pro válec:

Tvar válce se v potrubí používá jako: trubka - potrubí přímé.

Membránová napětí mají velikost:

- hlavní napětí ve stěně potrubí ve směru osy potrubí (osové napětí):

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

Kde σ_1 je hlavní osové napětí

p je vnitřní tlak

R je střední poloměr trubky

h je tloušťka stěny trubky

- hlavní napětí ve stěně potrubí ve směru tečny k povrchu potrubí (obvodové napětí):

$$\sigma_2 = \frac{pR}{h}$$

kde tlak p , střední poloměr trubky R , a tloušťka stěny h jsou všechny veličiny náhodně proměnné se svým rozdělením pravděpodobnosti.

Co se týká vlivu teploty, tak transformační vzorce převodu vlivu teploty na napětí při zabráněné tepelné expansi jsou popsány v kapitole "Tepelná roztažnost - základní vztahy", kde se osově napětí od teplotního rozdílu vypočítá podle vzorce:

$$\sigma = E.\varepsilon = E\alpha.\Delta t$$

kde Δt je změna teploty

E je modul pružnosti,

α je součinitel tepelné roztažnosti

Všechny tyto veličiny jsou náhodně proměnné se svým rozdělením pravděpodobnosti.

Úbytek tloušťky stěny potrubí v čase. Úbytek tloušťky stěny potrubí v čase nastává působením koroze anebo eroze. Jak je vidět ze vzorců v druhé kapitole této stránky, při změně tloušťky stěny potrubí se mění napětí v potrubí, a to nepřímo úměrně. Korozním nebo erozním působením (tj. zeslabováním stěny) se tedy pravděpodobnostní rozdělení účinků zatížení mění tak, že se zvyšuje hodnota parametru umístění. Ostatní parametry ve velké většině zůstávají stejné.

4.3.3. Účinky zatížení způsobující houževnatý lom

U prosté pevnostní únosnosti se s účinky provozního zatížení porovnává odolnost konstrukce, kterou získáme z meze kluzu a z pevnosti materiálu, získáme ji zkoušením více vzorků stejného materiálu na trhacím stroji a jeho statistickým zpracováním. Dostaneme tak rozdělení pravděpodobnosti dovoleného napětí v závislosti na jeho četnosti.

Jako účinky provozního zatížení bereme statistické zpracování skutečných účinků provozního zatížení v jednom zatěžovacím cyklu. Dostaneme tak rozdělení pravděpodobnosti skutečného napětí v závislosti na jeho četnosti.

4.3.4. Účinky zatížení způsobující poškození nízkocyklovou únavou

Získání a zpracování provozního zatížení a jeho účinků je v této publikaci uvedeno v kapitole 6.2. Získání a zpracování dat pro výpočty limitních velikostí vad za provozu. Zde jenom ve zkratce. Získání a zpracování provozního zatížení má tyto fáze:

1. Vstupní údaje, tj. naměřených hodnotách teploty, rozdílu teploty, tlaku, poměrné deformace, posuvu atd., tedy hodnot, z nichž lze přímo vypočítat hodnoty skutečného namáhání.
2. Definování a ukládání extrémů: vhodným programem z naměřených hodnot vypočítá namáhání ve vytypovaných rizikových bodech, a to pro časový úsek například pro jeden velký cyklus.
3. Vyloučení extrémů souvisejících s cykly malých zatížení
4. Určení cyklů zatížení, je např. použita metoda párových rozkmitů (range pair). Na této metodě je založena metoda stékání deště (rain flow method), tato metoda může být použita také.
5. Zbylá posloupnost lokálních extrémů (RSE), tj. posloupnost, která obsahuje neuzavřené cykly zatížení. Únava materiálu způsobená RSE nemůže být započtena stejným způsobem jako únava celými cykly zatížení. Může být i zanedbána.

Jako výsledek dostaneme tabulku hodnot rozkmitu napětí v jednotlivých stupních velikosti napětí, ke kterým jsou přiřazeny jejich četnosti (n_i). Mohou být přiřazeny i v jednotlivých skupinách podle teploty. A vytvořit tak tabulku či graf o třech rozměrech.

4.3.5. Účinky zatížení způsobující poškození vysokocyklovou únavou

Tyto účinky, které způsobují vysokocyklovou únavu jsou vibrace. Tento jev potrubí může nastat v průběhu provozování potrubí, i když při převzetí zařízení byla vibrace projektem odstraněna. A to protože se hmotnost a tuhost potrubí během jeho životnosti mění. Například postupuje koroze zvenku i zevnitř, izolace se nasákne nějakou tekutinou, kluzná podpěra na své kluzné ploše se zanesse či zkoroduje atd.

4.3.6. Účinky zatížení způsobující poškození creepem

Získání a zpracování provozního zatížení a jeho účinků. Výpočet je založen na naměřených hodnotách provozního zatížení tedy teploty materiálu a zatížení. Nebo se měří veličiny, z nichž lze provozní zatížení vypočítat. Tyto hodnoty se měří v krátkých časových krocích v rizikových bodech a zpracovávají se pomocí automatizovaného záznamu dat. Podobně jako v předchozí kapitole.

Aby se omezil počet požadovaných výpočtů, má se změnit rozsah zatížení a teplot, při nichž součásti pracují, rozdělit do jednotlivých přírůstků. Neměří-li se průběžně provozní zatížení, není rozdělení do jednotlivých přírůstků odůvodněné a za těchto okolností se může provozní zatížení použít jako zatížení normové či jmenovité, čímž lze dosáhnout konzervativnějších výsledků.

Z uvedených naměřených dat vypočítává napětí f_{op} a to průběžně pro každý přírůstek naměřených hodnot. Průběžně též probíhá odečítání T_{al} a průběžně se také vypočítávají přírůstky poškození.

Konečné zpracování spočívá ve vypracování tabulky, která v závislosti na provozní teplotě (tj. intervalu provozní teploty) a zatížení udává dobu provozu v tomto intervalu T_{op} , vypočítané napětí f_{op} z uvedené teploty a zatížení a dobu do dosazení teoretického porušení při tečení T_{al} . Je možné vytvořit tabulku či graf o třech rozměrech. Z tabulky se vypočítávají přírůstky poškození a poté celkové poškození konstrukce při creepu.

4.3.7. Účinky zatížení způsobující poškození korozí

Výpočet je založen na naměřených hodnotách úbytku materiálu korozí nebo opotřebením za určitý čas (tj. rychlost úbytku materiálu za provozu).

Úbytek tloušťky stěny potrubí v čase. Úbytek tloušťky stěny potrubí v čase nastává působením koroze anebo eroze. Jak je vidět ze vzorců v druhé kapitole této stránky, při změně tloušťky stěny potrubí se mění napětí v potrubí, a to nepřímo úměrně. Korozním nebo erozním působením (tj. zeslabováním stěny) se tedy pravděpodobnostní rozdělení účinků zatížení mění tak, že se zvyšuje hodnota parametru umístění. Ostatní parametry ve velké většině zůstávají stejné.

Změna parametrů pravděpodobnostního normálového rozdělení tloušťky stěny potrubí působením koroze/eroze. Působením koroze anebo eroze (tj. zeslabováním stěny v čase) se mění spolehlivost, která je na začátku provozu, tedy při nulovém korozním úbytku, jistě vyšší než na konci provozu při maximálním korozním úbytku. Korozním a erozním působením se pravděpodobnostní rozdělení účinků zatížení mění, určitě se zvyšuje hodnota parametru umístění (μ).

Při určitém zjednodušujícím výpočtu se nabízí předpoklad, že se mění pouze tento parametr umístění (μ), parametr měřítka (σ) zůstává od výroby stále stejný. Parametr umístění (μ) se v tomto předpokladu mění v rozsahu korozní/erozní přídavku tloušťky stěny trubky.

4.4. Životnosti zařízení

4.4.1. Životnosti zařízení- všeobecně

Životnost zařízení se určuje ze předpokládaného provozního zatížení. Kromě životnosti stanovené jde o hodnotu, která má určité rozdělení pravděpodobnosti, jde tedy o stochastickou veličinu.

Stanovená životnost (L_s) celého potrubního systému je minimální životnost celého systému určená všeobecnými podmínkami, normou nebo smluvně mezi výrobcem a

odběratelem. Hodnota bezpečných výpočtových životností jednotlivých kritických míst na zařízení musí být vždy vyšší než minimální životnost celého systému. Není-li takto životnost stanovena pracuje projekt dále s životností obvyklou, což je u potrubí 20 let.

Bezpečná (minimální) životnost (L_b) – je životnost všeobecného systému určená výpočtem na základě určeného degradačního mechanismu za působení systému provozního zatížení působících v čase, platící pro určité rizikové místo konstrukce, při které se pravděpodobnost ztráty funkční schopnosti všeobecného systému v tomto rizikovém místě blíží k nule

Střední životnost (L_{50}) – je životnost všeobecného systému určená výpočtem na základě určeného degradačního mechanismu za působení systému provozního zatížení působících v čase, platící pro určité rizikové místo konstrukce, při které je padesátiprocentní jistota ztráty funkční schopnosti všeobecného systému v tomto rizikovém místě

Maximální životnost (L_m) – je životnost všeobecného systému určená výpočtem na základě určeného degradačního mechanismu za působení systému provozního zatížení působících v čase, platící pro určité rizikové místo konstrukce, při které je stoprocentní jistota ztráty funkční schopnosti všeobecného objektu v tomto rizikovém místě

4.4.2. Životnost potrubí daná korozi

Většina potrubí, které je instalováno v zemi, není namáháno tepelně (viz plynovody, vodovody). Vyjímkou jsou teplovody a parovody, které však mívají dvoutrubkovou konstrukci (vnější trubka, která se stýká s půdou, je polyetylénová). Systém výpočtu zbytkové životnosti je v tomto případě úplně jiný.

Teoretická doba života T_{al} je doba života dokud koroze nevypotřebuje celý korozní přírůstek a nedosáhne minimálních hodnot tloušťky materiálu určených výpočtem nebo zkouškami. A je rovná střední životnosti (L_{50}). Okamžitá velikost tohoto přírůstku je závislá na čase (tj. s časem se přírůstek spotřebovává). Budeme předpokládat, že koroze probíhá lineárně s dobou života. Okamžitý úbytek korozního přírůstku tedy budeme označovat $c(t)$. Celý korozní přírůstek označme $c(T_{al})$. Maximální přírůstek je ihned po vyrobení, nulový je na konci života.

Platí tedy předpokládaný vztah:

$$c(t) = c_{\max} t / T_{al}$$

Celkové poškození v daném okamžiku t úbytkem materiálu při korozi D_w je potom:

$$D_w = \frac{c(t)}{c(T_{al})} = \frac{t}{T_{al}}$$

Jestliže jsme spočítali celkové poškození při korozi materiálu D_w v jednom velkém zatěžovacím cyklu a víme čas, za jaký tento velký zatěžovací cyklus proběhne, můžeme vypočítat střední výpočtovou životnost už po prvním provozním cyklu. Čili:

$$L_{50} = T_{al} = \frac{t_1}{D_w} = \frac{c_{max}}{c(t_1)} \cdot t_1$$

kde t_1 je doba jednoho cyklu, při kterém je prováděno měření

D_w je celkové poškození při korozi během uvedeného jednoho cyklu.

c_{max} je maximální původní korozní přírůstek

$c(t)$ je okamžitý úbytek

Pro výpočet maximální výpočtové životnosti L_m uvádíme, že zatím nejsou známy autorovy žádné zdroje literatury, které by rychlost postupu koroze či opotřebení měly zpracovány statisticky.

Na stejném principu je v normě TPG 700 02 udán vzorec pro stanovení technického stavu nízkotlakých a středotlakých plynovodních sítí z oceli. Tato předpokládaná zbytková bezpečnost B_{zbyt} je udávána v rocích, takže má charakter zbytkové životnosti.

$$B_{zbyt} = \frac{(s_z - s_{kr}) \cdot R}{(s_p - s_z) \cdot k_1 \cdot k_2}$$

Kde s_z je zbývající tloušťka stěny trubky

s_{kr} je kritická tloušťka stěny trubky

s_p je původní tloušťka stěny trubky

R je stáří potrubí v rocích

k_1 je koeficient bezpečnosti závislý na počtu měření tloušťky stěny trubky

k_2 je koeficient pro rozlišení druhů koroze

Abychom propojili původní odvození s uvedeným v TPG 700 02 musíme doplnit, že $B_{zbyt} = L_{50} - c_{max} \cdot (T_{al} - t) / c(T_{al} - t)$, když zároveň platí $t = R$.

4.4.3. Životnost potrubí daná únavou

Získání a zpracování provozního zatížení a jeho účinků. Potřebujeme vypočítat jak dlouho a s jakou pravděpodobností vydrží určité rizikové místo na únavové namáhání. Potřebujeme určit bezpečnou střední a maximální výpočtovou životnost uvedeného rizikového místa.

Celkové poškození únavou. Norma ČSN EN12953-4 se zabývá výpočty životnosti z hodnot získaných při provozu zařízení. Provedeme tedy měření zatížení a napětí během jednoho cyklu. Jako výsledek měření jednoho velkého cyklu dostaneme tabulku hodnot rozkmitu napětí v jednotlivých stupních velikosti napětí, ke kterým jsou přiřazeny jejich

četnosti (n_i). Mohou být přiřazeny i v jednotlivých skupinách podle teploty. A vytvořit tak tabulku či graf o třech rozměrech.

Uvedená norma uvádí odpovídající poškození únavou pro každou třídu i, k cyklů zatížení. Tedy nárůst poškození únavou je

$$\Delta D_{fik} = \frac{n_{ik}}{N_{ik}}$$

Kde n_{ik} je počet roztríděných cyklů účinků provozního zatížení ve třídě i, k

N_{ik} je dovolený počet cyklů účinků zatížení ve třídě i, k odvozené z únavové křivky pro křivku odpovídající požadované výpočtové životnosti.

Celkové poškození od únavy je

$$D_F = D_{Frse} + \sum \sum \Delta D_{fik}$$

Kde D_{Frse} je poškození únavou způsobené zbylou posloupností lokálních extrémů (RSE)

Jestliže jsme naměřili počty cyklů v jednom velkém zatěžovacím cyklu n_1 a víme čas, za jaký tento velký zatěžovací cyklus proběhne a máme zároveň celkový počet cyklů N . Celkové poškození únavou materiálu pro jeden výrobní cyklus D_F je potom:

$$D_F = \frac{n_1}{N}$$

Jestliže jsme spočítali celkové poškození při únavě D_F v jednom zatěžovacím cyklu a víme čas, za jaký čas tento velký zatěžovací cyklus proběhne, můžeme vypočítat střední výpočtovou životnost. Čili:

$$L_{50} = \frac{t_1}{D_F}$$

kde t_1 je doba jednoho cyklu, při kterém je prováděno měření či výpočet

D_F je celkové poškození únavou během uvedeného jednoho cyklu.

Pro výpočet L_m použijeme odpovídající hodnoty zlomu únavové křivky, která je zřejmá na obrázku v kapitole 3.3.3.9. Odolnost konstrukce proti únavě.

4.4.4. Životnost potrubí daná creepem

Výpočet je založen na naměřených hodnotách provozního zatížení tedy teploty materiálu a zatížení. Mohou se též měřit veličiny z nich lze zatížení vypočítat.

Teoretická doba života T_{al} se vypočítá pro každou naměřenou hodnotu dvojice teplota a zatížení. T_{al} se stanoví jako průsečík přímky napětí a dolní mezní křivky meze pevnosti při tečení materiálu při průměrné teplotě jednotlivých teplotních přírůstků. Provozní doby při jednotlivých přírůstcích namáhání od jednotlivých dvojic teploty/ zatížení se sečtou, přičemž se zohlední teplotní příspěvky k měření nejistot a teplotním asymetriím. Také se

mohou měřit veličiny, z nichž lze provozní zatížení vypočítat. Přírůstek poškození pro každý přírůstek teploty/ zatížení je dán vztahem:

$$\Delta D_{cik} = \frac{T_{op}}{T_{al}}$$

Kde T_{op} je doba provozu při provozních podmínkách

T_{al} je doba do dosazení nadměrné deformace při tečení

Celkové poškození při tečení materiálu D_c za hodnocené období se stanoví pomocí pravidla lineárního poškození součtem hodnot ΔD_{cik} pro všechny teplotní přírůstky a přírůstky zatížení:

$$D_c = \sum_i \sum_k \Delta D_{cik}$$

Jestliže jsme spočítali celkové poškození při tečení materiálu D_c v jednom velkém zatěžovacím cyklu a víme čas, za jaký tento velký zatěžovací cyklus proběhne, můžeme vypočítat střední i maximální výpočtovou životnost. Čili:

$$L_{50} = \frac{t_{c1}}{D_{c1}}$$

kde t_{c1} je doba jednoho cyklu, při kterém je prováděno měření, čili pro jeden cyklus

D_{c1} je celkové poškození při tečení během uvedeného jednoho cyklu.

Obdobným způsobem se vypočte maximální výpočtová životnost L_m , avšak teoretická doba života pro jednotlivé přírůstky namáhání f_{op} . T_{al} se odečtou z křivky označené na obrázku č. 3.4 zpracování zkoušek creepu pro $1,2R_{mTtc}$ v kapitole 3.3.5.2. Odolnost konstrukce proti creepu.

4.5. Určení pravděpodobnosti poruchy zařízení

4.5.1. Pravděpodobnost poruchy zařízení a metody jejího získávání

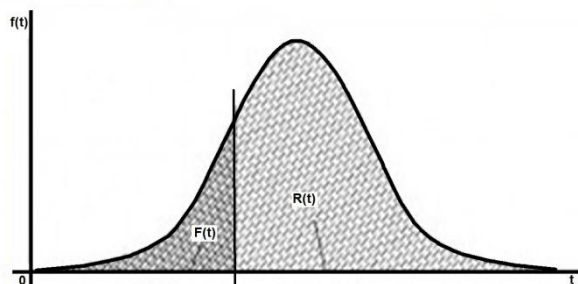
4.5.1.1. Pravděpodobnost poruchy a spolehlivost

Porucha zařízení je jev spočívající v ukončení schopnosti potrubí plnit požadovanou funkci

Pravděpodobnost poruchy $F(t)$ je pravděpodobnost, že na zařízení v určeném čase dojde k poruše. Průběh pravděpodobnost poruchy je též roven distribuční funkci použitého rozdělení pravděpodobnosti poruch. Je-li dáno nějaké rozdělení pravděpodobnosti poruchy, pak tuto pravděpodobnost určuje distribuční funkce tohoto rozdělení. Uvedené se získává porovnáním odolnosti konstrukce se stochastickými účinky zatížení pomocí již uvedené sdružené funkce hustoty pravděpodobnosti či pravidlem násobení částečných pravděpodobností.

Maximální dovolená pravděpodobnost poruchy systému (p) je pravděpodobnost poruchy systému, která může být určena autoritou přímo anebo postup jejího získání je určen autoritou anebo smlouvou či dohodou mezi stranami.

Spolehlivost $R(t)$ je pravděpodobnost s jakou systém (a tedy i potrubí) plní požadované funkce za stanovených podmínek a přežije okamžik t . Jiný název je též bezporuchovost anebo funkční schopnost.



Obr. 4.5. Vztah pravděpodobnosti poruchy (plocha $F(t)$) a spolehlivosti (plocha $R(t)$)

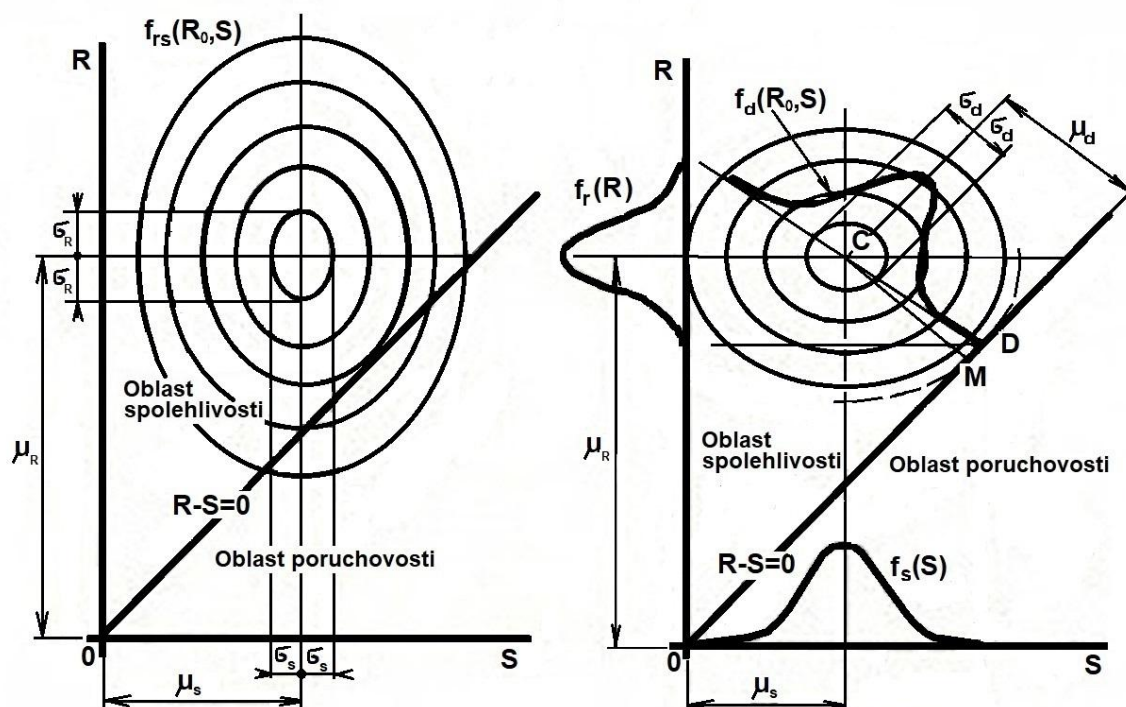
Funkce hustoty pravděpodobnosti $f(t)$ je funkce, vyjadřující rozdělení pravděpodobnosti náhodné veličiny, že náhodná veličina T nabude hodnoty z nekonečně malého intervalu dt . Udává pravděpodobnost, že se porucha vyskytne v okamžiku t . Pokud známe pro námi sledovanou dobu do poruchy tzv. funkci hustoty pravděpodobnosti, můžeme určit, jaká je pravděpodobnost, že v určitém časovém intervalu nastane porucha.

Intenzita poruch (λ) udává *pravděpodobnost poruchy za jednotku času* po určitém okamžiku t . Například hodnota udává, že během následující jedné hodiny provozu nastane porucha s

pravděpodobností jedné setiny. $\lambda = \frac{f(t)}{R(t)}$

4.5.1.2. Sdružená funkce hustoty pravděpodobnosti

Sdružená funkce hustoty $f_{rs}(R_o, S)$ nezávislých náhodných proměnných R_o, S . Necht' má zvonovitý povrch rozdělení podle obrázku a znázorňuje funkci normálního rozdělení. Přímka $R_o \cdot S = 0$ znázorňuje nulovou rezervu spolehlivosti $G=0$ dělí křivku povrch rozdělení na část $G>0$ ležící v oblasti spolehlivosti a na část $G<0$ oblast poruchovosti.



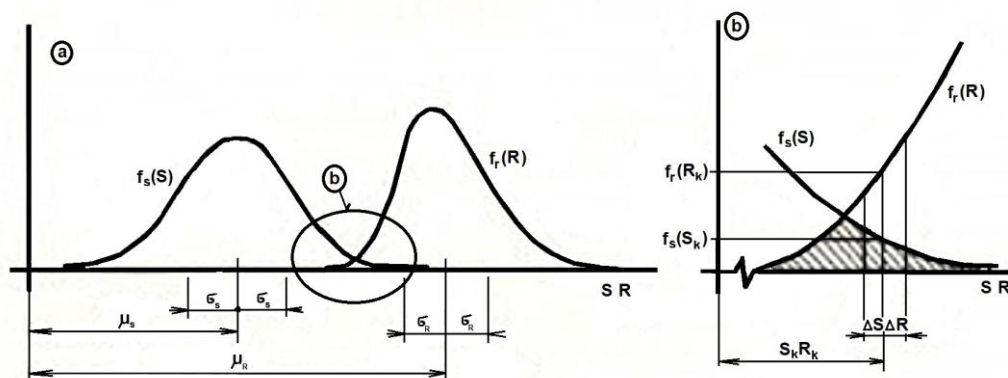
Obr. 4.6. Sdružená funkce hustoty pravděpodobnosti

Dále je na uvedeném obrázku uvedena možnost odvození návrhového bodu D a funkce hustoty pravděpodobnosti poruch $f_d(R_0, S)$. Bližší vysvětlení tohoto postupu lze nalézt v literatuře uvedené v kapitole 8.1. Odborná literatura, položka 71.

Sdružená funkce hustoty $f_{rs}(R_0, S)$ je funkce nezávislých náhodných proměnných R_0, S . Nechť má zvonovitý povrch rozdělení podle obrázku a znázorňuje funkci normálního rozdělení. Přímka $R_0 \cdot S = 0$ znázorňuje nulovou rezervu spolehlivosti $G=0$ dělí křivku povrch rozdělení na část $G>0$ ležící v oblasti spolehlivosti a na část $G<0$ oblast poruchovosti. Dále je na uvedeném obrázku uvedena možnost odvození návrhového bodu D a funkce hustoty pravděpodobnosti poruch $f_d(R_0, S)$.

4.5.1.3. Pravidlo násobení částečných pravděpodobností

Pro vzájemně nezávislé veličiny R_0, S možno pro určení pravděpodobnosti vzniku jevu současného splnění dvou podmínek využít pravidlo násobení dvou pravděpodobností.



Obr. 4.7. Křivka funkce náhodných účinků zátěže $f_s(S)$ a náhodné odolnosti systému $f_R(R)$ znázorněná na jedné ose s jejich vzájemným prolínáním

Obrázek detailu prolínání křivky funkce náhodných účinků provozního zatížení $f_s(S)$ a náhodné odolnosti konstrukce $f_R(R_0)$ znázorňuje pravděpodobnost výskytu veličiny S v intervalu ΔS zobrazená plochou $\Delta S f_s(S_K)$ a pravděpodobnost výskytu veličiny R_0 ve stejném intervalu $\Delta R_0 f_R(R_0)$.

Pravidlo násobení částečných pravděpodobností zajišťuje současné splnění obou podmínek pro vzájemně nezávislé veličiny R_0, S .

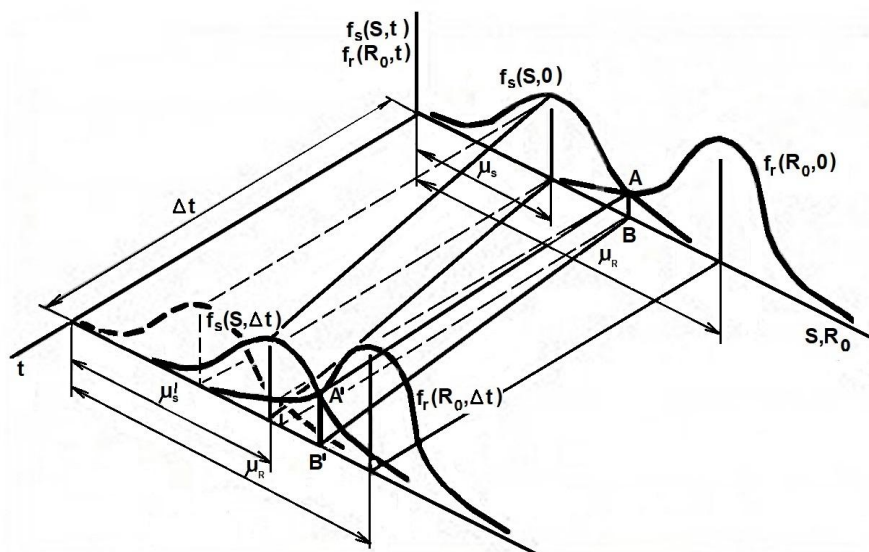
Podle uvedeného bude pravděpodobnost poruchy systému (tj. distribuční funkce uvedeného prolnutí):

$$F(S, R_0) = \int_{-\infty}^{\infty} f_s(S) \left[\int_{-\infty}^{\infty} f_R(R_0) dR_0 \right] dS = \int_{-\infty}^{\infty} f_R(R_0) \left[\int_{-\infty}^{\infty} f_s(S) dS \right] dR_0$$

Spolehlivost (tj. spolehlivost) bude tedy:

$$R(S, R_0) = \int_{-\infty}^{\infty} f_s(S) \left[\int_{-\infty}^{\infty} f_R(R_0) dR_0 \right] dS = \int_{-\infty}^{\infty} f_R(R_0) \left[\int_{-\infty}^{\infty} f_s(S) dS \right] dR_0$$

Obrázky v uvedené literatuře je možno dopracovat a doplnit časovou osu, je to možné z důvodu toho, že parametry rozdělení náhodných účinků zátěže se mohou měnit v čase vlivem degradace materiálu (jde například o μ při znázorněném normálním rozdělení), tj. například zeštíhlováním konstrukčních prvků vlivem koroze nebo opotřebení, které se v náhodných účincích provozního zatížení projeví vlivem zmenšování nosného profilu a zvětšování náhodných účinků zátěže.



Obr. 4.8. Vzájemný pohyb křivky funkce náhodných účinků zátěže $f_s(S)$ a náhodné odolnosti systému $f_r(R_0)$ v čase

4.5.2. Klasický konkrétní příklad výpočtu pravděpodobnosti poruchy zařízení pro potrubí i válcová tlaková zařízení

4.5.2.1. Obvodové napětí válce způsobené tlakem:

Výpočet účinků zatížení. Hlavní napětí ve stěně potrubí ve směru tečny k povrchu potrubí (obvodové napětí):

$$\sigma_2 = \frac{pR}{h}$$

kde tlak p , střední poloměr trubky R , a tloušťka stěny h jsou všechny veličiny náhodně proměnné se svým rozdělením pravděpodobnosti.

$$D_0 = 2R + h \quad \text{z toho } R = (D_0 - h)/2$$

dosadíme a vyjde vzorec pro napětí: $\sigma = p \cdot (D_0 - h)/2h$

4.5.2.2. Mezní úchyly průměru D_0 a tloušťky stěny h potrubí podle jednotlivých norem

Jako příklad vezmeme normu ČSN EN 10217-3 Svařované ocelové trubky pro tlakové nádoby a zařízení. Technické dodací podmínky. Část 3: Trubky z legovaných jemnozrnných ocelí – norma udává:

Mezní úchyly vnějšího průměru:

do DN200 včetně: $\pm 1\%$ nebo $\pm 0,5\text{mm}$ platí větší hodnota

nad DN200: $\pm 0,75\%$ nebo $\pm 6\text{mm}$ platí menší hodnota

Mezní úchytky tloušťky stěny trubky: rozdílné pro hodnoty různou tloušťku stěny
do 5mm včetně: $\pm 10\%$ nebo $\pm 0,3\text{mm}$ platí větší hodnota
od 5mm do 40mm včetně: $\pm 8\%$ nebo $\pm 2\text{mm}$ platí menší hodnota

Parametr σ (směrodatná odchylka) je charakteristikou rozptýlení hodnot a vyjadřuje výrobní přesnost, s níž pracuje výrobní zařízení ve výrobním procesu. Jako nejhorší případ, při níž je výroba ještě ekonomicky výhodná, že hodnota regulovaného geometrického rozměru se ocitne vně intervalu $\mu \pm 3\sigma$ s pravděpodobností 0,0027. Hodnota 3σ je tak hodnota mezní úchytky udávané v dalším textu. Výrobky s většími úchytkami, než jsou tyto, jsou technickou kontrolou vyřazeny jako zmetky.

4.5.2.3. Výpočet stochastických účinků zatížení

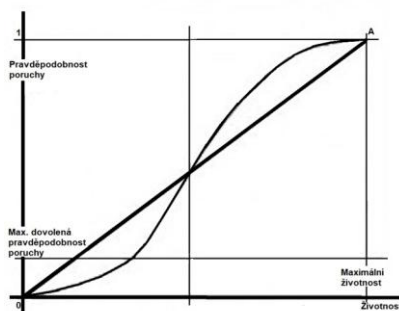
Výpočet využívá již uvedeného vzorce pro výpočet obvodového napětí. Výpočet provedeme s využitím sdružené funkce hustoty pravděpodobnosti spolehlivosti. Metoda SBRA, která je založena na metodě Monte Carlo a může být provedena např. programem Anthill.

4.6. Výpočet progresivního intervalu pro provádění technické inspekce

4.6.1. Křivka teoretické degradace

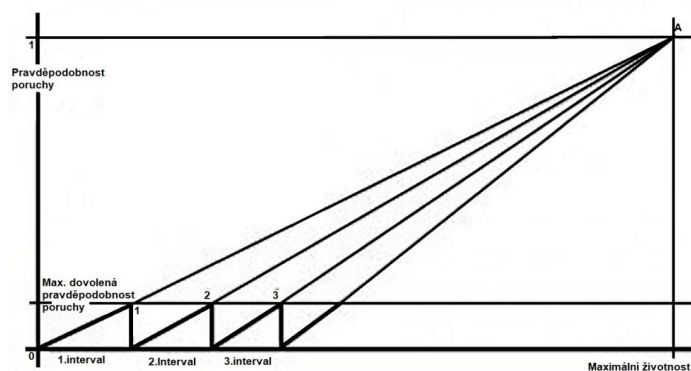
Maximální systémové životnosti potrubí tedy odpovídá pravděpodobnost poruchy rovná 1. Jestliže je potrubní systém řádně vyroben a zkontrolován, pak v době uvedení do provozu je rovna pravděpodobnost poruchy 0. Čímž vznikne základní ohraničení pro následující graf a úsečka spojující počáteční bod (tj. bod 0) a bod určený teoretickou životností a pravděpodobností poruchy rovnající se 1 (tj. bod A). Tato úsečka může být nazvána *úsečkou (ve všeobecnosti křivkou) teoretické degradace*.

Křivka teoretické degradace je vlastně distribuční funkce určitého rozdělení pravděpodobnosti vzniklé spolupůsobením statistického rozdělení zátěží a materiálu, které se pohybuje v čase. Distribuční funkce jednotlivých výše citovaných rozdělení jsou na přiložených obrázcích. Z těchto obrázků je vidět, že právě rovnoměrné rozdělení je v oblasti pravděpodobnosti do 0,5 konzervativnější než Weibullovo rozdělení pro parametr gama větší než 2, a musí s ním být v tomto případě počítáno.



Obr. 4.9. Křivka teoretické degradace

Jestliže je potrubní systém odzkoušen výstupní kontrolou, pravděpodobnost poruchy je rovna 0 nebo se jí blíží. Po uvedení systému do provozu se tato pravděpodobnost poruchy začne zvyšovat. Pravděpodobnost poruchy se pohybuje po přímce (křivce) 0 až A. Tuto přímku (křivku) můžeme brát jako primární neboli apriorní. Při kontrole nedestruktivními defektoskopickými metodami se pravděpodobnost ztráty integrity sníží a při dokonalé prohlídce se sníží až k nule. Z tohoto bodu se pravděpodobnost poruchy pohybuje opět k bodu A. Této křivce můžeme říkat sekundární, další pak bude terciální atd. Tyto křivky společně jsou aposteriorní přímky/křivky teoretické degradace. Touto metodou se dají určit lhůty mezi revizemi tak, aby nebyla překročena maximální dovolená pravděpodobnost poruchy zařízení.



Obr. 4.10. Apriorní a aposteriorní přímky teoretické degradace

Určení intervalu technické inspekce všeobecného systému se provede porovnáním maximální dovolené pravděpodobnosti poruchy s velikostí okamžité hodnoty pravděpodobnosti poruchy systému. K tomuto využijeme opět přiložený obrázek takto: Na svislou osu vyneseme maximální dovolenou pravděpodobnost poruchy a tímto bodem uděláme rovnoběžku s vodorovnou osou. Označíme bod, kde se protíná tato rovnoběžka

s úsečkou teoretické degradace (tj. bod č.1). Promítnutí tohoto bodu na vodorovnou časovou osu určuje interval první technická inspekce tlakového systému.

Předpokládejme, že počáteční pravděpodobnost ztráty funkčnosti se rovná 0, a též každá další technická inspekce odhalí všechny vady tak, že po kontrole se pravděpodobnost ztráty funkčnosti opět rovná 0. Tuto nulu označíme spuštěním přímky z bodu č.1 a z ní vedeme novou úsečku teoretické degradace do bodu A. Opakováním postupu určíme vždy nový a nový interval technické inspekce, který je vždy kratší než předchozí. Takto pokračujeme až do doby stanovené životnosti celého systému.

4.6.2. Výpočet progresivních intervalů pro provádění technické inspekce

Výpočet se provede z obrázku porovnáním trojúhelníků $0, A, L_m$ a $0, 1, I_1$. Z toho se dá odvodit $I_1/p = L_m/1$, dále $I_1 = p L_m$. Druhý interval údržby se dá vypočítat též porovnáním trojúhelníků $I_2/p = (L_m - I_1)/1$.

$$\text{Tedy } I_2 = p (L_m - I_1) = p L_m (1 - p).$$

A podobně i další intervaly:

$$I_3 = p L_m (1 - 2 p + p^2)$$

$$I_4 = p L_m (1 - 3 p + 3 p^2 - p^3)$$

$$I_5 = p L_m (1 - 4 p + 6 p^2 - 4 p^3 + p^4)$$

$$I_6 = p L_m (1 - 5 p + 10 p^2 - 10 p^3 + 5 p^4 - p^5)$$

atd., atd.

5. Způsoby identifikace jednotlivých nebezpečí

5.1. Výčet používaných metod

5.1.1. Nedestruktivní zkoušky - NDT

5.1.1.1. Používání NDT metod

Nedestruktivní testování (NDT), nebo také defektoskopie zahrnuje soubor metod, které jsou na základě měřitelných, nebo sledovatelných fyzikálních jevů schopny odhalit vady ve výrobku bez jeho porušení nebo poškození. Úlohou a cílem defektoskopie (NDT) je prokázat a potvrdit, že zkoušený výrobek nemá nepřípustné vady. Pokud se během NDT prokáže přítomnost nepřípustných vad/defektů, potom výrobek není možné použít.

Nedestruktivní testování (NDT) je široká skupina analytických technik používaných ve vědeckém a technologickém průmyslu k vyhodnocení vlastností materiálu, součásti nebo systému bez způsobení poškození. K popisu této technologie se také běžně používají termíny nedestruktivní zkoumání (NDE), nedestruktivní kontrola (NDI) a nedestruktivní hodnocení (NDA). Vzhledem k tomu, že NDT trvale nemění kontrolovaný předmět, jedná se o vysoce cennou techniku, která může ušetřit peníze i čas při hodnocení produktů, odstraňování problémů a výzkumu.

Metody NDT spoléhají na použití elektromagnetického záření, zvukových a jiných konverzí signálu ke zkoumání široké škály předmětů (kovové a nekovové, potravinářské výrobky, artefakty a starožitnosti, infrastruktura) pro integritu, složení nebo stav bez změny předmětu, který prochází zkoumáním.

Některé z NDT metod zkoušení potrubí jsou vhodné pro kontrolu potrubí v provozu, jedná se o manuální zkoušení. Některé metody jsou zautomatizované a ty se hodí pro výrobu částí potrubí, zejména trubek. Dále se budeme zabývat jen metodami vhodnými pro provoz potrubí. Každá NDT metoda má své výhody a nevýhody, proto je vhodná jejich kombinace.

Základní rozdělení NDT metod je na povrchové a prostorové. Povrchové zkoumají jen vnější a vnitřní povrch potrubí a svárů na potrubí provedených. Prostorové dokáží rozeznat i vady svaru i základního materiálu pod povrchem. Mezi hlavní povrchové NDT patří vizuální kontrola, kapilární metoda a magnetická metoda prášková mezi hlavní prostorové metody patří radiografická metoda a ultrazvuková metoda.

Pro provoz potrubí by mohli tedy být využitelné některé části normy ČSN EN ISO 10893 Nedestruktivní zkoušení ocelových trubek, týkající se zjišťování povrchových

necelistvostí kapilární metodou, magnetickou metodou práškovou, radiografické zkoušení a digitální radiografické zkoušení.

5.1.1.2. Vizualní kontrola

Vizuální kontrola (VT), nejčastěji používaná metoda NDT a je běžnou metodou kontroly kvality a získávání dat pro analýzu. Vizuální prohlídkou používanou při údržbě zařízení se rozumí kontrola zařízení a konstrukcí za použití jednoho nebo všech lidských smyslů, jako je zrak, sluch, dotek a pach a jakékoli kontrolní zařízení, které tyto smysly přímo umocňuje jako je použití lupa, endoskop, televizní řetězec apod. Vizuální kontrolou se zjišťují výhradně povrchové vady zkoušeného předmětu. Povrch se kontroluje zrakem, případně za použití již vyjmenovaných optických pomůcek

Vizuální zkoušení se používá na vnějšek i vnitřek potrubí (též někdy zváno vnitřní revize). Pro vizuální zkoušení platí norma ČSN EN 13018 Nedestruktivní zkoušení. Vizuální zkoušení. Obecné zásady.

5.1.1.3. Magnetická prášková metoda

Magnetická prášková metoda (MT) je způsob nedestruktivního testování kovových feromagnetických materiálů (funguje tedy jen na feromagnetických ocelích) za účelem zjištění povrchových vad, nebo vad nacházejících se těsně pod povrchem. Touto metodou lze za dobrých podmínek zjišťovat i vady délky pod 1 mm a šířky od 10 μm .

Během zkoušky je díl zmagnetován buď přímo (průchodem elektrického proudu), nebo nepřímo (vnějším zdrojem magnetického pole) například v cívice, nebo pomocí elektromagnetu. V místě, kde se nachází vada, nemůže být pole koncentrované v takové míře, jako v základním feromagnetickém materiálu. Magnetické pole proto vystupuje nad povrch. Tvoří takzvaný magnetický rozptylový tok. Místo, kde magnetické siločáry opouštějí základní materiál, a kde do něj opět vstupují, nazýváme magnetický pól. V místě vady se tak vytvoří malý magnet. Na povrch zkoušeného dílu se nanese detekční prostředek ve formě feromagnetického prášku. Zrnka detekčního prostředku jsou přitahována rozptylovým tokem nad vadami a tvoří viditelnou indikaci. Indikace je následně operátorem vyhodnocena dle kritérií přípustnosti

Druhy magnetizačních proudů:

Střídavý proud se vyznačuje tak zvaným skin-efektem. Proud teče téměř výhradně v tenké svrchní povrchové vrstvě. Použitím střídavého proudu je tedy magnetován pouze povrch součástí. AC je tedy vhodný pro zjišťování vad otevřených k povrchu, nebo vad nacházejících se těsně pod povrchem. Hloubka magnetizace roste s klesající frekvencí.

Stejnoseměrný proud se používá k hledání vad ležících hlouběji pod povrchem. Vliv skin-efektu je zanedbatelný a proto je materiál zmagnetíván téměř rovnoměrně v celém svém objemu. V závislosti na vlastnostech povrchu (čistota, členitost, drsnost, atd.) a velikosti vady, lze detekovat i vady v hloubce 10 mm. Citlivost zkoušky a ostrost indikace s hloubkou vady klesá.

Stejnoseměrný proud. Jednocestným nebo dvoucestným usměrněním střídavého proudu lze kombinovat vlastnosti, které má magnetizace střídavým a stejnoseměrným proudem. Čím větší je stejnoseměrná složka magnetizačního proudu, tím hlouběji je materiál zmagnetován. Mezery mezi pulzy v jednocestně usměrněném proudu zas zvětšují pohyblivost částeczek detekčního prostředku po povrchu. Kombinace suchého prášku a jednocestně usměrněného proudu je nejvhodnější pro hledání podpovrchových (hlouběji položených) vad.

Metoda používaná na železné materiály zahrnuje aplikaci jemných železných částic (suspendovaných v kapalném nebo suchém prášku – fluorescenčních nebo barevných), které se aplikují na část, když je magnetizována, a to buď kontinuálně, nebo zbytkově. Částice budou přitahovány k únikovým polím magnetismu na zkušební objektu nebo v něm a vytvoří indikace (sběr částic) na povrchu objektu, které jsou vizuálně vyhodnoceny.

Patří mezi metody povrchové, vhodné pro zjišťování povrchových nebo těsně pod povrchem ležících vad. Zkoušený materiál musí být feromagnetický. Zde platí například tato norma: ČSN EN ISO 10893-5. Nedestruktivní zkoušení ocelových trubek. Část 5: Zkoušení bezešvých a svařovaných trubek z feromagnetických ocelí magnetickou metodou práškovou pro zjišťování povrchových necelistvostí

5.1.1.4. Kapilární metoda

Penetrační kapilární metoda (PT), je široce používaná a nízkonákladová kontrolní metoda používaná ke kontrole povrchových vad ve všech neporézních materiálech (kovech, plastech nebo keramice).

Metoda je založena na kapilárním působení, kde kapalina (penetrant) proniká do čistých a suchých povrchových nespojitostí. Penetrant lze na zkušební složku aplikovat namáčením, postřikem nebo kartáčováním. Po povolené přiměřené době průniku se přebytek penetrantu odstraní a použije se vývojka (barvivo). Vývojka (barvivo) pomáhá zviditelnit penetrant v trhlině. Kontrola se provádí pod ultrafialovým nebo bílým světlem, v závislosti na typu použitého barviva - fluorescenční nebo ne fluorescenční (viditelné).

Metoda se používá k detekci odlévacích, kovacích a svařovacích povrchových vad, jako jsou vlasové trhliny, povrchová pórovitost, netěsnosti v nových produktech a únavové trhliny na součástech v provozu.

Kapilární kontrola patří mezi metody povrchové, vhodné pro zjišťování vad souvisejících s povrchem zkoušeného předmětu. Zkoušený materiál může být feromagnetický i neferomagnetický, ale nesmí být porézní. Ke zkoušce se využívá penetračních vlastností kapalin. Vytvořené indikace se vyhodnocují zrakem. Viz například tato norma: ČSN EN ISO 10893-4. Nedestruktivní zkoušení ocelových trubek. Část 4: Zkoušení bezešvých a svařovaných ocelových trubek pro zjišťování povrchových necelistvostí kapilární metodou.

5.1.1.5. Metoda zkoušení těsností

Prostřednictvím metody zkoušení těsností (LT) se zjišťuje těsnost svarových spojů nádrží, zásobníků, van, potrubí apod. Jedná se o zkoušky těsnosti vakuovou komůrkou, kontroly těsnosti svarových spojů kapilární zkouškou průsakovou, kontroly těsnosti svarových spojů metodou zkušebního plynu.

5.1.1.6. Radiografická metoda

Vnitřní strukturu vzorku lze zkoumat pro kontrolu celého objemu pronikavým zářením (RT - metoda prozařováním), jako jsou rentgenové záření, neutrony nebo gama záření. Průmyslová radiografie používá ionizující záření ke kontrole materiálů a komponent s cílem lokalizovat a kvantifikovat vady a degradaci vlastností materiálu. Průmyslová radiografie používá buď rentgenové záření, vyrobené pomocí rentgenových generátorů nebo gama paprsky generované přirozenou radioaktivitou uzavřených zdrojů radionuklidů.

Po průchodu záření stěnou potrubí jsou fotony zachyceny detektorem, jako je halogenidová fólie stříbra, fosforová deska, detektor plochého panelu nebo detektor CdTe. Vyšetření lze provést ve statickém 2D nebo ve 3D a potom obraz rekonstruovat (počítačová tomografie - CT).

Průmyslová radiografie se používá při svařování, kontrole odlévání dílů nebo kompozitních kusů, atd.

Patří mezi metody objemové, to znamená, že zjišťuje vady v celém objemu zkoušeného materiálu. Objemové vady svarů (bubliny, plynové dutiny, vměsky) jsou touto metodou dobře zjistitelné. Vady plošné (trhliny, studené spoje) jsou zjistitelné v omezené míře, záleží na jejich velikosti a orientaci vzhledem k ose svazku záření. Zde platí například tyto normy: ČSN EN ISO 10893-6. Nedestruktivní zkoušení ocelových trubek. Část 6: Radiografické zkoušení svarových spojů svařovaných ocelových trubek pro zjišťování necelistvostí, ČSN EN ISO 10893-7. Nedestruktivní zkoušení ocelových trubek. Část 7: Digitální radiografické zkoušení svarových spojů svařovaných ocelových trubek pro zjišťování necelistvostí

5.1.1.7. Ultrazvuková metoda

Zkoušení ultrazvukem (UT). Zvukové vlny se používají v případě ultrazvukového testování, další objemové metody NDT - ultrazvukový signál, který se odráží podmínkami ve zkušebním článku a vyhodnocuje amplitudu a vzdálenost od vyhledávací jednotky (snímač). Ultrazvukové testování je rodina nedestruktivních zkušebních technik založených na šíření ultrazvukových vln v testovaném objektu nebo materiálu. Ve většině běžných aplikací UT jsou velmi krátké ultrazvukové pulzní vlny se středovými frekvencemi v rozmezí od 0,1 do 15 MHz a příležitostně až 50 MHz přenášeny do materiálů k detekci vnitřních vad nebo k charakterizaci materiálů. Běžným příkladem je ultrazvukové měření tloušťky, které testuje tloušťku zkušebního objektu, například za sledování koroze potrubí.

Ultrazvukové testování se často provádí na oceli a jiných kovech a slitinách, i když může být také použit na beton, dřevo a kompozity, i když s menším rozlišením. Používá se v mnoha průmyslových odvětvích, včetně ocelové a hliníkové konstrukce, metalurgie, výroby, letectví, automobilového průmyslu a dalších dopravních odvětví.

Na staveništi technik testuje potrubní svar na vady pomocí ultrazvukového fázového přístroje. Skener, který se skládá z rámu s magnetickými koly, drží sondu v kontaktu s trubicí pružinou. Mokrý oblast je ultrazvukový kuplant, který umožňuje průchod zvuku do stěny potrubí.

Při ultrazvukovém testování je ultrazvukový snímač připojený k diagnostickému stroji předán přes kontrolovaný objekt. Snímač je obvykle oddělen od zkušebního objektu kuplantem (jako je olej) nebo vodou, jako při ponorné zkoušce. Nicméně když je ultrazvukové testování prováděno s elektromagnetickým akustickým snímačem (EMAT), použití kuplantu není nutné.

Existují dvě metody příjmu ultrazvukové průběhové formy: odraz a útlum. V režimu odrazu (nebo pulzní ozvěny) snímač provádí odesílání i přijímání pulzních vln, protože "zvuk" se odráží zpět do zařízení. Odražený ultrazvuk pochází z rozhraní, jako je zadní stěna objektu nebo z nedokonalosti uvnitř objektu. Diagnostický stroj zobrazuje tyto výsledky ve formě signálu s amplitudou představující intenzitu odrazu a vzdálenost, představující čas příjezdu odrazu. V režimu útlumu (nebo přenosu) vysílá vysílač ultrazvuk přes jeden povrch a samostatný přijímač detekuje množství, které dosáhlo na jiném povrchu po cestě médii. Nedokonalosti nebo jiné podmínky v prostoru mezi vysílačem a přijímačem snižují množství přenášeného zvuku, čímž odhalují jejich přítomnost. Použití kuplantu zvyšuje účinnost procesu snížením ztrát v ultrazvukové vlnové energii v důsledku oddělení mezi povrchy. Ke zkoušení se nejčastěji používá impulsní odrazová metoda.

Dále se hojně využívá ultrazvukové metody a to ke zjišťování vnitřních vad a k měření tloušťky stěny potrubí. Tyto metody však v nedávné minulosti zažívaly a ještě zažívají velmi rychlý technický rozvoj.

Ultrazvuková kontrola patří také mezi metody objemové, to znamená, že zjišťuje vady v celém objemu zkoušeného materiálu. Zde platí například tyto normy: ČSN EN ISO 16809 Nedestruktivní zkoušení. Měření tloušťky ultrazvukem, ČSN EN ISO 16826 Nedestruktivní zkoušení. Zkoušení ultrazvukem. Zjišťování diskontinuit kolmých k povrchu, ČSN EN 17290 Nedestruktivní zkoušení - Zkoušení ultrazvukem - Měření úbytku tloušťky v důsledku eroze a/nebo koroze pomocí techniky TOFD

5.1.1.8. Metoda vířivých proudů

Metoda vířivých proudů (ET). Vířivý proud (taktéž Foucaultův proud) je elektrický proud vznikající v plošných a objemových vodičích, když se v jejich okolí mění magnetický indukční tok. Indukované proudy mají v takových případech charakter proudových smyček. Důsledky jsou stejné jako u každého indukovaného proudu, snaží se svým polem zabránit změně, která je vyvolala. Zeslabují tak budící magnetický tok. Největší zeslabení nastane uprostřed průřezu, protože ten obepínají všechny indukované proudy.

Metoda vířivých proudů se řadí mezi metody povrchové a používá se nejčastěji pro zkoušení elektricky vodivých materiálů, hutních polotovarů, při provozních kontrolách trubkových tepelných výměníků.

5.1.1.9. Infračervená metoda

Aktivní termografie, jejíž součástí je i infračervené nedestruktivní testování materiálů (IRT), je moderní metoda pro inspekci povrchových vrstev a tenkých dílů z nejrůznějších materiálů. Tato metoda využívá aktivní vybuzení (excitaci) materiálu, které v něm iniciuje požadovaný tepelný proces. Tento tepelný proces je pak sledován a na základě jeho chování, nehomogenit a časových průběhů jsou analyzovány jeho tepelné a tepelně-mechanické vlastnosti nebo defekty v materiálu. Pro analýzu tepelného procesu se přitom využívají nástroje pro standardní, neboli pasivní, termografii, tedy termovizní kamery.

Na termografickou inspekci materiálu je možné pohlížet jako na metodu infračervené defektoskopie, která je schopná odhalit vnitřní vady materiálu, např. trhliny, defekty, dutiny a další nehomogenity. Tyto termografické zkoušky lze provádět na jednotlivých dílech i na technologických celcích v provozu. Pro potrubí je velmi málo používána.

5.1.1.10. Akustická emise

Akustická emise (AE) je záření akustických elastických vln v pevných látkách, ke kterému dochází, když materiál prochází nevratnými změnami ve své vnitřní struktuře, například v důsledku tvorby trhlin nebo plastické deformace v důsledku stárnutí, teplotních gradientů nebo vnějších mechanických sil.

Akustickou emisi způsobují přechodné elastické vlny v materiálu, které jsou způsobeny rychlým uvolňováním lokalizované energie napětí. Jde o efekt, který uvolňuje elastickou energii do materiálu a který se pak šíří jako elastická vlna. Akustické emise mohou být detekovány ve frekvenčních rozsazích pod 1 kHz až 1 MHz. Rychlé události uvolňující napětí generují spektrum napěťových vln začínajících na 0 Hz a obvykle končících na několika MHz. Pro nás nejdůležitější aplikace je sledování bezpečného provozu potrubí.

Monitorování úrovně aktivity AE během více cyklů zatížení tvoří základ pro mnoho metod bezpečnostní kontroly AE, které umožňují, aby části, které jsou pod kontrolou, zůstaly v provozu. Skupina snímačů také může být použita k záznamu signálů a pak lokalizovat přesnou oblast jejich původu měřením doby, po kterou se zvuk dostane k různým snímačům. Tato technika je cenná pro detekci trhlin tvořících se v tlakových nádobách a potrubích přepravujících kapalinu pod vysokým tlakem.

Metoda akustické emise se dnes běžně používá pro určení vzniku a rozšiřování prasklin, změnu poddajnosti, k odhalování tvorby plastické zóny před prasknutím, vzniku únavy, koroze, tečení, rázového lomu apod. Zde platí například tato norma: ČSN EN 14584 Nedestruktivní zkoušení. Zkoušení akustickou emisí. Zkoušení kovových tlakových zařízení během přejímací zkoušky. Planární lokalizace zdrojů akustické emise.

5.1.2. Zkoušky potrubí v zemi a jinak nedostupných úseků potrubí

5.1.2.1. Sledování pohybů samotného nezkonsolidovaného podloží

Pomocí zabudovaných čidel v nezkonsolidovaném podloží je možné sledovat pohyb tohoto podloží. Protože toto podloží strhává sebou potrubí, použijeme konzervativní předpoklad, že podloží s sebou strhává potrubí a pohyb podloží znamená průhyb potrubí. Musíme však mít výpočet, který udává, jaký maximální průhyb potrubí je maximální, aby nebylo překročeno dovolené napětí.

5.1.2.2. Sledování napětí na trubce pomocí tenzometrů

Před zasypáním se instalují v dané vzdálenosti na potrubí vždy trojice tenzometrů a to ze strany způsobující tah od předpokládaného posunu nezkonsolidovaného podloží. Hlídá

se, zda není překročeno dovolené primární a sekundární napětí v trubce. Protože primární a sekundární napětí mají normou určené jiné dovolené napětí, musí se dále výpočtem tato napětí vyhodnotit.

5.1.2.3. Kontrola vnitřního povrchu potrubí ježkem

Ježek (či jinak prasátko) bývá pro toto použití opatřen kamerami a vhodnými čidly pro provádění metod NDT (např. ultrazvukovými) a pamětí. Ježek nekomunikuje s operátorem žádným spojením a pracuje v režimu off line. Pro lokalizaci deformací potrubí bývá použit měřicí geometrický (kalibrovací) ježek (prasátko). Ježek bývá unášen proudem přepravovaného anebo náhradního média.

5.1.2.4. Použití geofyzikálního radaru

Jednou z možností monitoringu je použití geofyzikálního radaru na celou délku potrubní trasy. Měření je prováděno z povrchu terénu a výsledkem je nález porušení podloží únikem vody a mokřých míst kolem potrubí.

Dále je možno použít odporovou tomografii, která je založena na zjišťování měrného elektrického odporu hornin pomocí stejnosměrného proudu. Ten se dozemě zavádí párem elektrod a jiným párem elektrod se snímá rozdíl potenciálů. Oba páry elektrod na profilu jsou stále ve stejné vzdálenosti, čímž je zajištěn stálý hloubkový dosah měření. Výsledkem je křivka změn měrného odporu po profilu, která ukazuje na změny ve složení a fyzikálním stavu hornin. Lze využít i efektivnější měření mnohonásobným kabelem s podporou software.

Akustické metody v podstatě představují měření citlivým mikrofonom. Jsou hledány zvukové vlny vyvolané disipací energie vytékající kapaliny. U potrubí v zemi je odhadována citlivost měření úniků zhruba od vteřinových litrů a více.

5.1.2.5. Elektromagnetická metoda metalických trub (metoda EDMET)

Pro měření se využívá znalostí o šíření elektrického proudu na rozhraní vodiče a dielektrika. Rychlost šíření elektrického proudu se v tomto případě dá měřit speciálními přístroji a podle vztahů změny elektrické rezistence a její souvislost s úbytkem průřezu vodiče, v tomto případě kovového potrubí. Jedná se o velmi přesná měření a o srovnávací metodu. Dále je to měření proudové hustoty při napájení střídavými proudy. Využívá se tzv. skin efektu, který se projevuje vyšší proudovou hustotou u vnějšího povrchu měřeného tělesa při vyšších frekvencích. Se znalostí původní geometrie měřeného kovového tělesa lze určit průměrnou tloušťku mezi měřicími elektrodami. Kombinací jednotlivých metod bude možno získat soubor výsledných hodnot speciálním algoritmem.

Metoda EDMET se řadí mezi NDT, je aplikovatelná za provozu a nevyžaduje vypouštění media. Je též aplikovatelná na různé průměry a tloušťky stěn a umožňuje diagnostiku potrubí v zemi o délce 20 až 100 m. Její výsledky nemají pouze lokální charakter a umožňují predikci poruch a predikci zbytkové životnosti trubek na základě výsledků měření a matematického modelu. Umožňuje vyhledat poruchy i jen poruchy izolace

5.1.2.6. Metoda DCVG

Diagnostická metoda DCVG (Direct current voltage gradient – metoda stejnosměrného spádu potenciálu). Při vyhledávání vady je zapojeno do obvodu s potrubím improvizovaný systém katodické ochrany. Do něj je zapojen přerušovač proudu, který vytváří proudové impulzy s charakteristickou periodou o frekvenci 1 Hz. A tak odlišuje hledaný signál od ostatních zdrojů stejnosměrného napětí. Na povrchu terénu nad trasou potrubí je měřicím přístrojem snímán napěťový rozdíl vytvářeným průchodem proudu do místa poškození izolace. Měření velikosti a směru proudu, tekoucího směrem k epicentru defektu, se provádí citlivým milivoltmetrem, zapojeným mezi dvě snímací elektrody. Asymetričnost pulsu umožňuje určit směr, kterým se vada nachází. Krokováním tohoto měření a opakováním v obou osách lze lokalizovat epicentrum vady. Pro vlastní proměření nalezené vady je použita velikost gradientu v místě vady proti vzdálené zemi odečtená z přístroje. Tato hodnota se procentuálně porovnává s předpokládanou hodnotou rozdílu potenciálů při zapnuté a vypnuté katodické ochrany.

Vyhledání vady. K vyhledání vady je použita základní technika DCVG. Při vyhledávání je zapojen do obvodu katodické ochrany (KAO) přerušovač proudu, který vytváří proudové impulsy s charakteristickou periodou a tak odlišuje hledaný signál od ostatních zdrojů stejnosměrného napětí (jiné systémy KAO, bludné proudy a podobně). Na povrchu terénu nad trasou potrubí nebo podzemním zařízením je měřicím přístrojem snímán napěťový rozdíl vytvářený průchodem proudu do místa poškození izolace. Měření velikosti a směru proudu, tekoucího směrem k epicentru defektu, se provádí citlivým milivoltmetrem, zapojeným mezi dvě snímací elektrody Cu/CuSO₄. Asymetričnost pulsu umožňuje určit směr, kterým se vada nachází. Krokováním tohoto měření a opakováním v obou osách (podél a napříč potrubí) lze pak lokalizovat epicentrum vady.

V případě, že na potrubí není instalována katodická ochrana (KAO), úsek potrubí je napájen přenosným zdrojem s elektrocentrálou. V případě přítomnosti KAO je přenosný zdroj zapojován do zdroje KAO (SKAO – stanice katodické ochrany), aby nedošlo k nechtěnému poškození zákaznickova zdroje. V případě vlivu více KAO na úsek jsou ostatní známé zdroje pokud možno vypnuty (jestliže nejsou prováděna potenciálová měření – viz níže).

Proměření vady. Pro prvotní hodnocení vady je použita velikost gradientu v místě vady proti vzdálené zemi, odečtená z přístroje DCVG. Tato hodnota se procentuálně porovnává s předpokládanou hodnotou potenciálu na potrubí v místě vady, čímž se určí hrubá hodnota %IR. Tato hodnota se vztahuje na elektrickou velikost defektu v izolaci, která nemusí být vždy úměrná velikosti fyzické.

Zpracování výsledků měření. Výstupem z měření je protokol o měření, který vždy obsahuje slovní popis použitých metod, závažných zjištění a návrh opatření. Dále protokol obsahuje tabulku se všemi naměřenými daty a zpracovanými hodnotami. V příloze dále mohou být grafy naměřených hodnot nebo statistických vyhodnocení. Další částí protokolu je mapová část, ve které jsou nalezené vady izolace orientačně zakresleny do poskytnutých podkladů (orientačně proto, že licenční smlouvy zpravidla zákazníkovi nedovolují poskytovat třetí straně soubory GIS pro přesné zakreslení). V neposlední řadě protokol obsahuje fotodokumentaci případných závad trasy (vegetace, stavby, výkopy, poškozené objekty protikoroze ochrany, ...)

Doplňková měření. Základní měření metodou DCVG může být dle požadavků zákazníka rozšířeno o doplňková měření, která slouží k přesnější interpretaci výsledků měření, k jejich doplnění anebo umožní data zaneść do jednotného informačního systému.

Pro zpřesnění interpretace výsledků jsou používány tyto měření:

- **Měření potenciálu.** Měření potenciálu je používáno jak k ohodnocení účinnosti KAO, tak jednotlivých defektů. V případě, že není KAO instalovaná, měří se tzv. přirozený potenciál E_n jako součást korozního průzkumu. K ohodnocení účinnosti KAO jsou měřeny standardní hodnoty dané normou, v rozsahu dle konkrétního požadavku.
- **Zdánlivý měrný odpor půdy.** Toto měření přispívá k přesnější interpretaci výsledků tím, že k určené velikosti vady přidá údaj o korozivitě prostředí, ve kterém je vada nalezena. Dále se toto měření provádí při korozním průzkumu před výstavbou potrubí nebo před instalací KAO. Měření se pak provádí s jednotným krokem (10, 50, 100 m dle požadavku). Měření je možné buď Wennerovou metodou (bodová měření) nebo bezkontaktně metodou DEMP (Dipólové elektromagnetické profilování), které používá aktivní zdroj elektromagnetických vln, který vysílá směrovaný signál do země a přijímá jeho odezvu) v případě liniového nebo plošného měření.
- **Hloubka uložení potrubí.** Hloubka je snímána jako vedlejší veličina při trasování potrubí. Na základě této hodnoty lze navrhnout úpravy na trase potrubí tak, aby nemohlo dojít k nechtěnému poškození izolace či samotného potrubí.

5.1.2.7. Metoda MMM

Metoda MMM (Metal magnetic memory) je založena na snímání zbytkových magnetických polí v materiálu, které vznikly v procesu výroby a během provozu. Pomocí vysoce citlivého skenovacího zařízení lze zaznamenat intenzitu magnetického pole a její gradient po délce zakopané potrubní trasy do takzvaného magnetogramu. Zaznamenané změny magnetického pole ukazují na změny v materiálu, například na místa s koncentrací napětí.

Metoda MMM se využívá pro určení (SCZ – Stress Concentration Zones), poruch a heterogenity v mikrostruktuře materiálu a svarových spojů. Skenovacího zařízení je více typů a liší se hlavně počtem a umístěním sond. Speciální citlivé skenovací zařízení je určeno pro potrubí v zemi v hloubce 1 až 2 m. Skenovacího zařízení je spojeno kabelem s měřičem koncentrací napětí, který umožňuje sejmутá data graficky zobrazit na displeji, uložit do paměti a později přenést do PC, ve kterém je instalován speciální software pro analýzu dat.

Měření probíhá tak, že se snímačem přejíždí přes kontrolované místo. Objeví-li se při scanování místa s vysokou koncentrací SZC, lze se k nim vrátit a detailně je prozkoumat.

5.1.2.8. Využití satelitního dálkového průzkumu Země

K vyhledávání skrytých úniků z potrubí např. s vodou lze využít satelitní dálkový průzkum Země. Tento systém byl prvně využit při hledání vody na Marsu. Lze využít zařízení na principu Synthetic Aperture Radar (SAR).

5.1.3. Zkoušky různě vysokým vnitřním tlakem

5.1.3.1. Zkouška těsnosti, tlaková zkouška

Mezi NDT metody nepatří zkouška těsnosti a tlaková zkouška, které však při diagnostice potrubí mohou být též využity. Nejčastěji se provádí vodou, vzduchem anebo dusíkem.

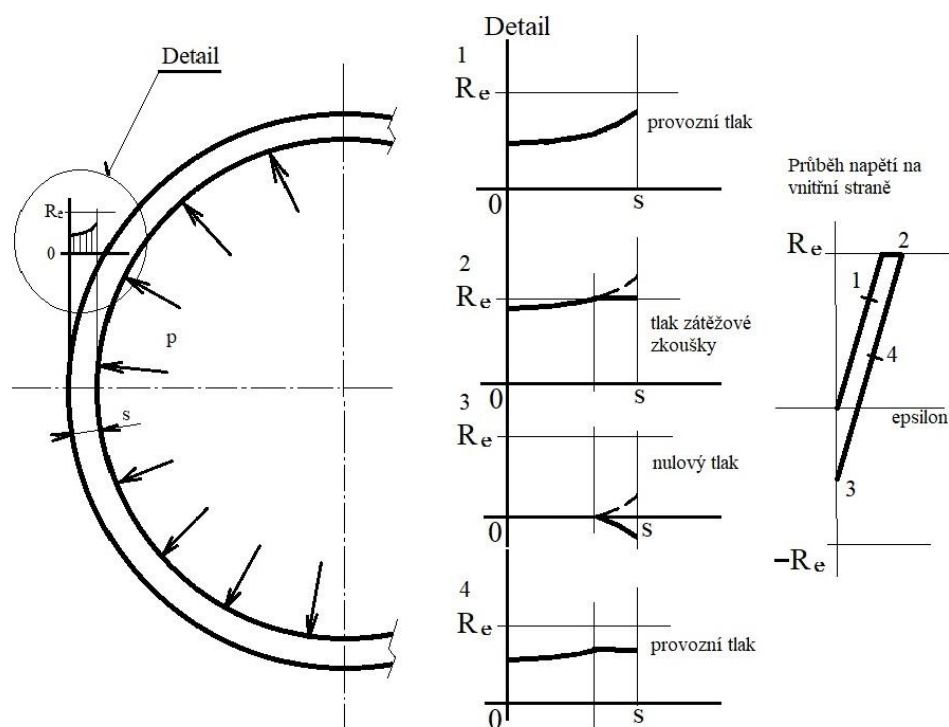
Při zkoušce těsnosti se sleduje těsnost, zejména přírubových spojů. Při tlakové zkoušce se sleduje povrch potrubí, zda se zde nezačali objevovat nadměrné deformace či trhliny.

Provádění těchto zkoušek včetně zkušebních tlaků, určuje vždy příslušný předpis či norma, např. ČSN EN 13480-5 Kovová průmyslová potrubí – Část 5 Kontrola a zkoušení.

Dále je nutné uvést, že některé EN normy (např. ČSN EN 13480-5, kapitola 9.3.4.) povolují provádět jako náhradu tlakové zkoušky stoprocentní prostorovou NDT (RT anebo UT) doplněnou 100% povrchovou (PT anebo MT).

5.1.3.2. Napěťová (či zátěžová) zkouška (stresstest)

Potrubí musí být pro stresstest konstruováno, například zde nesmí být žádný výrazný koncentrátor napětí, který by zamezil, aby se meze kluzu materiálu dosáhlo plošně. Potrubí však musí být na použití napěťové zkoušky navrženo již v době stavby.



Obr. 5.1. Průběh obvodového napětí při napěťové zkoušce

Podstatou stresstestu je řízené tlakování zkoušeného potrubí vodou, při kterém tlak vody ve stěně potrubí vyvolá napětí na úrovni meze kluzu materiálu. Z podmínky tenkostěnnosti trubky vyplývá, že obvodové napětí v trubce je po celém průběhu tloušťky stěny stejně velké. Avšak odhlédneme-li od této podmínky tenkostěnnosti (která je zjednodušující), vyplne, že průběh obvodového napětí je na vnitřní straně stěny trubky o trochu větší, než na vnější – viz graf 1 na obrázku 5.1. Zvětšujeme-li vnitřní tlak až k úrovni meze kluzu v materiálu stěny, ve skutečnosti na vnitřní straně stěny trubky se dostaneme za mez kluzu do oblasti plasticity viz graf 2 na obrázku 5.1. Jestliže vnitřní tlak v potrubí opětovně snížíme, vytvoří se v oblasti, která byla zplastizována předpětí s obráceným znaménkem než jaké vytváří vnitřní tlak. Toto předpětí stahuje tak materiál trubky k sobě – viz graf 3 na obrázku 5.1. Při dalším zatížení vnitřním tlakem se sníží špička napětí na vnitřní straně stěny trubky – viz graf 4 na obrázku 5.1.

Vytvořené předpětí popsané v předchozím odstavci stahující podrubí k sobě tak zablokuje růst podkritických vad. Plošné vady podkritické velikosti se přeformují do tvaru,

který je vzhledem k dalším podmínkám růstu trhliny příznivější. Naopak nadritické trhliny se projeví poruchou už při zvýšení tlaku podle grafu 2.

Zvýšené namáhání stěny potrubí dále způsobuje významné snížení špiček napětí v důsledku rovnoměrného přerozdělení zbytkových napětí v potrubí. A řez trubkou se zformuje do tvaru ideálního kruhu.

Pozitivní účinky stresstestu na potrubí pak jsou:

- odstranění lokálních špiček napětí v místech geometrických imperfekcí
- odstranění zbytkových napětí z výroby trub, sváření a pokládky potrubí
- odhalení kritických vad
- zablokování růstu podkritických vad (zejména trhlin)

5.2. Druhy inspekčních postupů - Způsob identifikace jednotlivých nebezpečí

5.2.1. Definování mezí přijatelnosti vad v provozu

Definování mezí přijatelnosti vad v provozu (FFS - fitness-for-service) je racionální základ pro definování mezí přijatelnosti vad v provozu a umožňuje rozlišovat mezi přijatelnými a nepřijatelnými nedostatky a vadami na základě obecně uznávané správné technické praxe. FFS je také osvědčený standardizovaný postup používaný v ropných, plynových a chemických zařízeních a tedy i pro potrubí k určení jeho vhodnosti pro nepřetržitý provoz.

Většina zařízení může pokračovat v provozu i přes malé nedostatky a oprava nebo výměna zařízení, které lze stále používat, by bylo zbytečným a nákladným nákladem. Navíc zbytečné opravy svarů mohou v mnoha případech způsobit více škody než užitku a způsobit zbytečná rizika pro personál.

API RP 579-1 / ASME FFS-1, Fitness-For-Service je jedním z příkladů metodiky FFS, kterou v současné době používají odborníci v oboru. Obecně je většina standardů hodnocení FFS rozdělena do několika úrovní. Každá následná úroveň (např. Úroveň 1, 2 a 3 referenčního standardu API 579-1 / ASME FFS-1) vyžaduje rostoucí množství dat, výpočtů, úsilí a nákladů, aby bylo dosaženo co nejpřesnějších výsledků a možného delšího zbytku životnosti zařízení. Kromě výpočtů zahrnuje FFS také zohlednění dalších údajů (např. Vzory a hloubky důlků, morfologie nebo tvar a hloubka koroze, hloubky a délky trhlin, provozní podmínky, vlastnosti materiálů atd.). Inspekční informace jsou často kritickým vstupem pro hodnocení FFS.

Další americké normy pro FFS jsou API 570 Piping Inspection. Code Inspection, Repair, Alteration and Rerating of In-service Piping Systems a API 574 Inspection Practices for Piping System Components.

V ČR můžeme používat pro tuto oblast např.: ČSN EN 12952-4 Vodotrubné kotle a pomocná zařízení – Část 4: Provozní výpočty očekávané doby života kotle. Anebo plynářská technická pravidla TPG 700 02 Stanovení technického stavu nízkotlakých a středotlakých plynovodních sítí z oceli. Diagnostické metody a TPG 700 04 Stanovení technického stavu vysokotlakých plynovodů. Diagnostické metody.

V naší publikaci se uvedeným zabýváme v kapitole 6. Výpočet maximálních rozměrů vad (fitness for service)

5.2.2. Překročení nejvyššího dovoleného tlaku či teploty

Způsob kontroly za provozu se proto orientuje na zkoušku funkčnosti bezpečnostní výstroje. Proto musí být předepsaná pravidelná kontrola funkčnosti bezpečnostní výstroje. Kontrola zařízení se vztahem k bezpečnostní výstroji: např.: přívodní potrubí k pojistnému ventilu nesmí mít ztrátu funkčnosti např. zacpáno, zamrzuto apod.

Dále by se měl způsob kontroly pro odstranění tohoto rizika za provozu orientovat na tlakovou zkoušku.

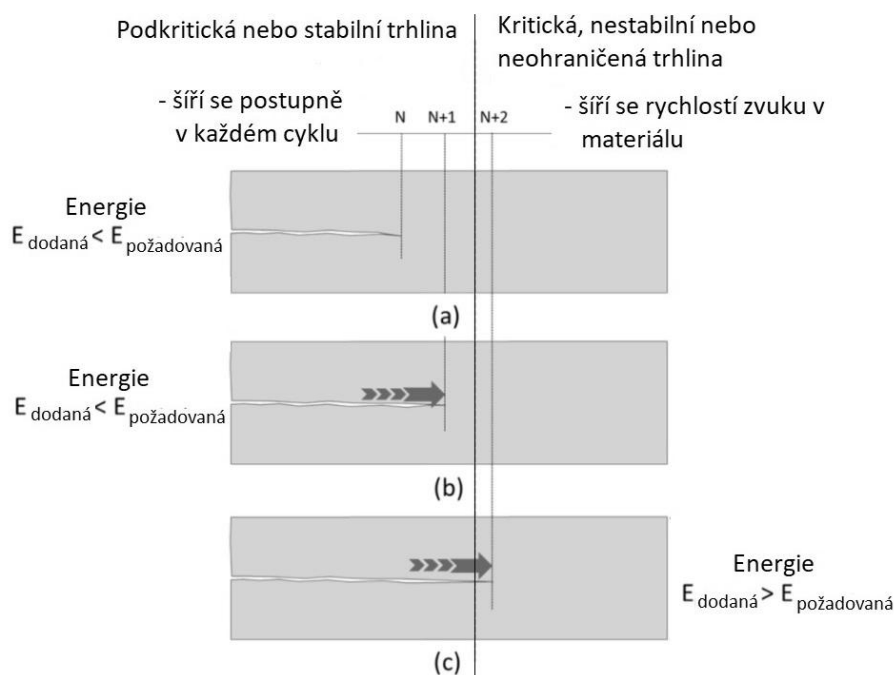
5.2.3. Lom málocyklovou únavou

Pro málocyklovou únavu jsou příznačná vysoká napětí přesahující opakovaně mez kluzu, v důsledku čehož vynikají velké plastické deformace. Počet cyklů nepřesahuje počet 10^4 .

Únavový lom je výsledkem mikroskopických procesů probíhajících ve struktuře materiálu. Únavové porušení začíná v místě koncentrace napětí, tj. v místě svárů a na tvarovkách potrubí či hrdlech tlakových nádob. Postupné rozrušování kovu při proměnlivém zatěžování má nevratný kumulativní charakter, který se navenek projeví růstem makroskopické trhliny a končí únavovým lomem. Trhliny se někdy označují jako „lineární vady“, protože na rentgenovém záření vypadají jako čára. Trhlina má obvykle délku a šířku, ale prakticky žádnou hloubku. Je to považováno za dvourozměrnou vadu. Trhlina je vada, která má na každém konci velmi malý (téměř nulový) poloměr špičky trhliny.

Mějme rostoucí únavovou trhlinu, která je dlouhá asi 20mm. Při každém cyklu zatížení se trhlina mírně prodlužuje. Také však můžeme mít takovou trhlinu, jejíž růst se po určitém počtu zatěžovacích cyklů zastaví. Když konstrukci odlehčíme a poté ji znovu zatížíme v dalším cyklu, trhlina se rozšíří o další malý přírůstek a opět se zastaví. Toto je stabilní nebo

podkritický růst chyb. Na obrázku 5.2 je tento stabilní, podkritický růst reprezentován prvními dvěma obrazy: (a) v N cyklech a (b) v N + 1 cyklech.



Obr. 5.2. Růst trhliny

Svislá tenká nepřerušovaná čára představuje kritickou velikost trhliny. Předpokládejme, že přesnou kritickou velikost pro tuto trhlinu známe. V cyklech N a N + 1 byla trhlina pod kritickou velikostí, ale při příštím použití zatížení, cyklu N + 2, chyba rostla těsně za kritickou velikostí. Tentokrát po zatížení nenaroste a nezastaví se. Tentokrát roste neomezeně, velmi rychle a rozevíná konstrukci až do lomu.

Jestliže se počet cyklů blíží predikované životnosti, můžeme případný rozvoj samotného únavového lomu kontrolovat metodami NDT. K dispozici je několik metod, jak zjistit, že počínající únavu materiálu:

- Vizuální kontrola, kapitola 5.1.1.2.: Detekci trhlin nebo jiných deformací lze vizuálně zkontrolovat po určité době.
- Akustická emise, kapitola 5.1.1.10.: Obzvláště vhodná pro zjištění a kontrolu rozvíjejícího se únavového lomu je metoda akustickou emisí. Pravděpodobnost únavy kovu může být také pochopena analýzou hluku. Poškozený kov obvykle vydává specifický chrastící zvuk.
- Ultrazvuková, kapitola 5.1.1.7. a rentgenová kontrola, kapitola 9.1.5.: Nedestruktivní ultrazvuková a rentgenová kontrola je nejlepší způsob, jak zjistit důkazy o jakékoli trhlíně.
- Kapilární metoda, kapitola 5.1.1.4.: Zviditelní praskliny a to naznačuje zahájení únavy.

- Magnetická prášková metoda, kapitola 5.1.1.3.: Kontrola magnetických částic může být použita pro železné materiály, aby se zjistilo zahájení růstu trhliny.

Při existenci trhlín můžeme vypočítat lomovou mechanikou jejich vlastnosti, jestli roste, rychlost růstu a předepsat kontrolu růstu prostorovými i plošnými vhodnými metodami NDT.

Lomová mechanika zahrnuje analýzu diskrétní, identifikovatelné, makroskopické trhliny, které se někdy říká trhlina technické velikosti, tj. trhlina o velikosti řádově 1 mm. Pod touto velikostí neplatí lomová mechanika. Například ve středních fázích únavy může existovat mikrotrhlina, která by však byla viditelná pouze pod mikroskopem a nebyla by blízka trhlíně technické velikosti. Potom by posouzení lomovou mechanikou neplatilo, protože by vady byly stále ve fázi iniciace, což je oblast klasické únavové analýzy. Jakmile se vytvoří trhlina technické velikosti a vady budou ve fázi šíření, může se uplatnit lomová mechanika. Pokud znáte kritickou velikost trhliny, může lomová mechanika pomoci při rozhodování o velikosti trhliny, kterou je možné po nějakou dobu (tj. po nějaký počet cyklů) ponechat bez opravy.

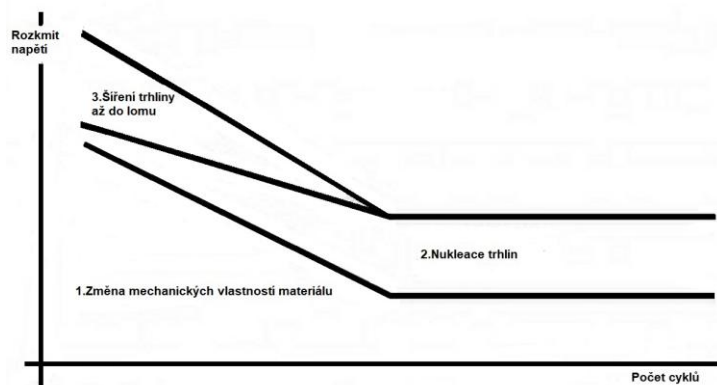
5.2.4. Lom vysokocyklovou únavou

Podle počtu zatěžovacích cyklů, jež vedou k únavovému lomu, rozlišujeme málocyklovou únavu a mnohocyklovou únavu. Pro mnohocyklovou únavu je charakteristické, že k porušení postačuje relativně nízká úroveň napětí, ale potřebný počet cyklů zatížení je řádově 10^5 a větší.

Velice častou příčinou vysokého počtu zatěžovacích cyklů jsou provozní vibrace vznikající v důsledku přítomnosti budícího zdroje, což jsou nejčastěji točivé stroje. Mimo známou otáčkovou frekvenci točivých strojů se mohou v systémech také generovat tlakové pulzace při kmitání vodního sloupce, pokud systém není dokonale odvzdušněn, k vodním rázům při změně skupenství dodávané kapaliny (voda, pára), popřípadě ke kavitaci.

Na uvedeném obrázku jsou znázorněna všechna tři stadia porušení materiálu vysokocyklovou únavou:

- i. Stadium změny mechanických vlastností materiálu
- ii. Stadium nukleace trhlín
- iii. Stadium šíření trhlín až do lomu



Obr. 5.3. Znázornění všech stádií porušení materiálu únavou

V případě kmitání, může potrubí plnit svoji základní funkci dál, potrubí stále kmitá, ale samotné výrazné škody anebo ztráty na lidských životech pouhým kmitáním nevzniknou, i když to chyba samozřejmě je.

V případě, že se nepodaří kmitání vyřešit odladěním anebo zatlumením je možné vzít na vědomí, že samotné kmitání potrubí není na příčinu neplnění základních funkcí potrubí za těchto podmínek:

1. Kmitání se však nesmí zvětšovat, tj. musí být ustálené anebo zatlumené.
2. Je nutné výpočtem ověřit, zda nenastane rozvoj vysokocyklové únavy až k lomu, tj. životnost kmitáním není omezena. I zde můžeme porovnáním dosaženého napětí v potrubí při kmitání porovnáním na únavové křivce získat maximální dovolený počet kmitů pro rizikové místo.

Způsob kontroly, zda teoretické předpoklady fungují, může být takovýto: Je nutné kontrolovat podmínku nezvětšování amplitudy a frekvence kmitání, dá se to poznat i vizuálně.

Další postup je zapojení NDT, vhodné jsou prostorové i plošné metody NDT. Únavový lom začíná v místě koncentrace napětí, tj. v místě svárů a na tvarovkách potrubí či hrdlech tlakových nádob. A opět používáme již uvedené metody:

- Vizuální kontrola,
- Akustická emise,
- Ultrazvuková,
- Radiografická kontrola,
- Kapilární metoda,
- Magnetická prášková metoda.

5.2.5. Nadměrná deformace způsobené creepem

Creepová deformace je funkce druhu materiálu, doby expozice, teploty a napětí. V závislosti na velikosti napětí a jeho trvání, se deformace může stát tak velkou, že díl konstrukce již nemůže vykonávat svou funkci. Prakticky každý materiál bude mít creepové deformace při teplotách blížících se teploty jeho tavení. Je zde tedy závislost na počtu provozních hodin (tedy životnosti) při určité teplotě.

V případech, kde je životnost specifikována pro méně než 100 000 h, se použije jedna z následujících metod podle toho, je-li zajištěn monitorovací systém životnosti.

a) Není-li zajištěn, musí být součinitel bezpečnosti SF_{cr} roven 1,5

b) Je-li zajištěn, může se specifikovat součinitel bezpečnosti SF_{cr} 1,25,

Monitorovací systém bezpečnosti sleduje, aby nebyla překročena creepová deformace 1% (střední hodnota) pro 100 000 h. Čili na existenci monitorovacího zatížení je závislý bezpečnostní koeficient pro creepový výpočet do 100 000 provozních hodin. Nad tuto hodnotu provozních hodin není bezpečnostní koeficient na existenci monitorovacího systému závislý.

U stárnutí na creepem, je nutné s ohledem na plánovanou životnost, určit předpokládaný počet provozních hodin pro tuto životnost při předpokládané teplotě. Ke konci životnosti by se mělo sledovat, zda creepová deformace nepřesahuje 1% při 100 000 hod. provozu.

Způsob kontroly. V materiálových normách jsou obvykle udávány referenční hodnoty meze tečení pro 1% plastického creepového prodloužení, proto právě tuto deformaci hlídáme. Dovolená měření se nejjednodušeji realizují jako opakované měření délky určeného úseku. K tomuto účelu se určuje úsek potrubí, který je v době měření bez izolace a za teploty okolí. Může se měřit i obvod potrubí. Ten však vypovídá pouze o creepové deformaci způsobené vnitřním tlakem. Vhodným zařízením se může provádět i kontinuální sledování a predikce životnosti.

Může se měřit i obvod potrubí. Ten však vypovídá pouze o creepové deformaci způsobené vnitřním tlakem, proto k tomuto saháme tehdy, jsou-li ostatní trvalá zatížení zanedbatelná.

5.2.6. Překročení korozního přídavku

Možnosti kontroly postupu koroze. Všeobecně platí, že při úbytku stěny potrubí nad dovolenou mez, hrozí lom v nejvíce namáhaném místě.

Maximální dovolená hodnota korozního či erozního přídavku se určuje v projektu a ověřuje ve výpočtu z požadované životnosti zařízení a z korozní anebo erozní agresivity dopravovaného média. Hodnota maximálního dovoleného korozního přídavku a okamžité

naměřené hodnoty v určených místech musí být uváděny v provozních dokumentech např. v inspekčních (revizních) zprávách apod.

Způsob kontroly. Nejvhodnější způsob kontroly je vnitřní revize a měření tloušťky stěny potrubí ultrazvukovou sondou. Při překročení maximální dovolené hodnoty korozního přídavku, se musí potrubí vyřadit z provozu.

Pro kontrolu koroze na vnitřním povrchu je možné použít inspekčního inteligentního ježka.

Dále zde je problém nerovnoměrného postupu koroze. Další příklad nerovnoměrného opotřebení je důlková koroze. Může se též vypočítat, zda současný úbytek plošné či důlkové koroze je vyhovující. Výpočet maximálních rozměrů vad, dále se problémem nerovnoměrného korozního opotřebení se zabývá například plynářská norma: TPG 700 02 – Stanovení technického stavu nízkotlakých a středotlakých plynovodních sítí z oceli. Diagnostické metody, Příloha 2 Pevnostní výpočet tloušťky stěny plynovodu při korozním napadení.

5.2.7. Překročení erozního přídavku

Možnosti kontroly postupu eroze. Všeobecně platí, že při úbytku stěny potrubí nad dovolenou mez, hrozí lom v nejvíce namáhaném místě. Dále je zde problém nerovnoměrného postupu eroze. Zde je nejčastější možnost rychlého erozního opotřebení u kolen v případě výskytu pevné fáze v plynu anebo kapalině.

Maximální dovolená hodnota erozního přídavku se určuje v projektu a ověřuje ve výpočtu z požadované životnosti zařízení a z erozní agresivity dopravovaného vícefázového média. Hodnota maximálního dovoleného erozního přídavku a okamžité naměřené hodnoty v určených místech musí být uváděny v provozních dokumentech např. v inspekčních (revizních) zprávách apod.

Způsob kontroly. Nejvhodnější způsob kontroly je vnitřní revize a měření tloušťky stěny potrubí ultrazvukovou sondou. Při překročení maximální dovolené hodnoty korozního přídavku, se musí potrubí vyřadit z provozu. Může se též vypočítat, zda současný úbytek plošné či důlkové koroze je vyhovující- viz kapitola 11. Výpočet maximálních rozměrů vad. Pro kontrolu koroze na vnitřním povrchu je možné použít inspekčního inteligentního ježka.

5.2.8. Zanášení potrubí trvalým tvrdým sedimentem

Zanášení potrubí trvalým tvrdým sedimentem velmi omezuje životnost potrubí. Jde o zanášení vodním kamenem, který je způsobem prouděním tvrdé vody v potrubí. Tvrdá voda obsahuje rozpuštěné chloridy, sírany (např. CaSO_4), dusičnany a křemičitany a zejména obsahuje rozpuštěný $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ (hydrogenuhličitan vápenatý). Po jeho vysrážení vzniká

CaCO_3 (uhličitan vápenatý), což je vodní kámen. Proto se voda používaná k tvorbě páry v kotlích upravuje, demineralizuje.

Jsou zde ale i možnosti, jako třeba v geotermálních elektrárnách, kde vodu předem nelze upravit. Takováto potrubí pak mají krátkou životnost. S krátkou životností se však musí počítat a potrubí se při odstávce vyměňuje za nové.

Při technické inspekci je nutné znát, jaký je minimální průtok potrubím, aby zařízení bezpečně a bezchybně fungovalo. Z tohoto se může odvodit minimální průtočný průřez potrubím a též maximální dovolenou tloušťku sedimentu. Jestliže je tloušťka sedimentu překročena, musí se potrubí vyčistit, jestliže to nejde, musí se celé vyměnit.

5.2.9. Speciální nebezpečí/rizika v případě potrubí v zemi

Způsob kontroly vnitřního povrchu trubky je stejný, jako bylo popsáno v kapitole zabývající se korozi a erozi.

Jiná je situace u vnějšího povrchu v případě, že není celé potrubí vykopáno. Zde se musí vybrat optimální varianta NTD z kapitoly zabývající se NTD nepřístupných potrubí. Nebezpečí pro potrubí uložené v zemi je porušení protikorozní izolace a tím možnost plného působení korozní agresivity zeminy a koroze způsobená podzemními bludnými proudy. V těchto případech se musíme obrátit na kapitolu. Provádění technické inspekce v případě nebezpečí koroze - viz kapitola 3.3.2.2. Nebezpečí překročení korozního přírůstku plošnou korozi.

Dále je zde výrazné nebezpečí na základě tlaku nadloží a případného pohybu podloží. V případě tlaku nadloží se potrubí deformuje ve svém průřezu, deformace se dá zjistit kalibračním ježkem. Ale i při pohybu podloží se potrubí nejprve deformuje, i to se dá zjistit kalibračním ježkem. V případě velkého pohybu podloží se může potrubí porušit, metody na zjišťování místa úniku média jsou popsány v kapitole 9.2. Diagnostika potrubí v zemi a jinak nedostupných úseků potrubí.

5.2.10. Speciální nebezpečí/rizika v případě potrubí z plastů

Zde si musíme vystačit s vizuální kontrolou a měřením postupu deformací (např. průhybu) na potrubí. Vizuální kontrolou zkontrolujeme stav povrchu, stabilitu proti vzpěru (možnost vytváření hada), stabilitu stěny proti boulení (např. inklinace ke „zlomení“ potrubí). Posuvy a průhyby mohou zapříčinit to, že potrubí bude neodvzdušnitelné anebo vzniknou místa z nichž nebude možno potrubí vypustit.

5.2.11. Porucha a nesprávná funkce vlnovcových kompenzátorů

Předpokládáme správné umístění kompenzátorů. Jestliže je kompenzátor natažený a nevrací se do původní polohy, je to zapříčiněno špatným umístěním podpěr, zejména pevných

bodů v okolí kompenzátoru. Zde si budeme muset vystačit s vizuální kontrolou. Kompenzátor tedy nesmí být nevratně zmáčknutý anebo natažený.

Každý kompenzátor je navržený na určitý počet cyklů. Počet uvedených cyklů má být v souladu s plánovanou životností celého potrubí. Jestliže je počet cyklů překročen, může se na vlnovci objevit únavový lom, kolmý na osu potrubí. Změnou vlastností kompenzátorů způsobené jejich stárnutím se mění základní statické uspořádání potrubí.

Vlnovec nesmí být deformován a vlny promáčknuty. Jde především o narušení, prohnutí vlnovce impaktem. Takovýto vlnovec se poruší dříve, než je plánovaný počet cyklů. Na kompenzátoru tedy nesmí být viditelné praskliny, ani vlasové.

U angulárních kompenzátorů, které musí být v potrubí osazeny tak, že tvoří mechanismus, čili většinou minimálně tři kusy angulárních kompenzátorů v jedné potrubní větvi. Čepy, které umožňují angulární pohyb, nesmí být extrémně zkorodované ani opotřebované.

5.2.12. Nesprávná funkce uložení, podpěr a závěsů

Zde si budeme muset vystačit též s vizuální kontrolou: Kluzné podpěry se musí na základně dobře pohybovat. Pružné podpěry musí zůstat pružné a ručička sledující stlačení musí být na stupnici vždy mezi značkami.

Uložení musí dobře fungovat podle projektu, nic nesmí bránit v pohybu v případě tepelné dilatace. V tomto smyslu mezi nejhorší změny podpěr patří postupující koroze mezi třecími ocelovými plochami u všech druhů a poddruhů kluzných podpěr. Tím se totiž mění samotný koeficient tření a může být i velmi významně. Ale jsou různé druhy koroze a teoreticky může dojít až ke „slepení“ třecích plechů. Ještě nebezpečnější je situace, kdy jsou předepsány různé konstrukce snižující tření níž, např. použití PTFE, válečku kuliček, mosazných destiček s mazáním grafitem apod. Je tedy potřeba tyto podpěry pravidelně kontrolovat a případně očistit třecí plochy.

Dále jsou také z tohoto hlediska nebezpečné pružné závěsy a pružné podpěry či jiné druhy podpěr obsahující pružiny. Tyto pružiny se časem unaví a mění se jejich tuhost i zde je nutné po čase kontrolovat, zda jejich tuhost má předepsanou hodnotu.

Dalším nebezpečím je pokles některé podpěry, může to být způsobeno např. dodatečným zatížením zeminy pod betonovou patkou, nedokončenou konsolidací zeminy či zemětřesením. Zde je nutné provést výpočet, zda není nebezpečí poruchy potrubí.

5.2.13. Porucha přírubového spoje

Přírubový spoj nesmí mezi přírubami téci. V případě, že je médium neviditelný plyn je nutné použít zařízení pro identifikaci tohoto plynu, zda se v oblasti okolo přírubového spoje nevyskytuje. I zde si většinou vystačíme s vizuální kontrolou.

Při provozu se nejčastěji vyskytují tyto nedostatky:

1. u šroubů:
 - chybné utahovací momenty a následně uvolněné šrouby,
 - nestejně rozměry nebo různé materiály šroubů na jednom přírubovém spoji,
 - užití nevhodných podložek (tvrdost),
 - nedostatečné mazání šroubů a jejich dosedacích ploch hlav a matic,
 - neočištěné šrouby.
2. u těsnění:
 - špatně vystředěná těsnění,
 - nevratná deformace (zmáčknutí) těsnění při montáži
 - chybějící těsnění

5.2.14. Porucha a nesprávná funkce průmyslových armatur

Příklady typů průmyslových armatur: Šoupátka, Ventily, Kulové kohouty, Kuželové kohouty, Uzavírací klapky, Membránové ventily, Hadicové ventily. I zde si většinou vystačíme s vizuální kontrolou.

Při provozu se nejčastěji vyskytují tyto nedostatky:

- špatné nastavení otevíracích tlaků u pojistných ventilů
- armatura netěsní, je možné vyzkoušet, jak těsní vůči tlaku na druhé straně potrubí
- armatura se „zapeče“ a je nepohyblivá, musí se vyzkoušet, jak snadno se dá s vřetenem otáčet
- špatně provedená těsnění, mezi jednotlivými částmi armatury
- chybné utahovací momenty a následně uvolněné šrouby, na šroubových spojích spojující jednotlivé části armatury
- užití nevhodných podložek (tvrdost), na šroubových spojích spojující jednotlivé části armatury
- nedostatečné mazání šroubů a jejich dosedacích ploch hlav a matic, na šroubových spojích spojující jednotlivé části armatury

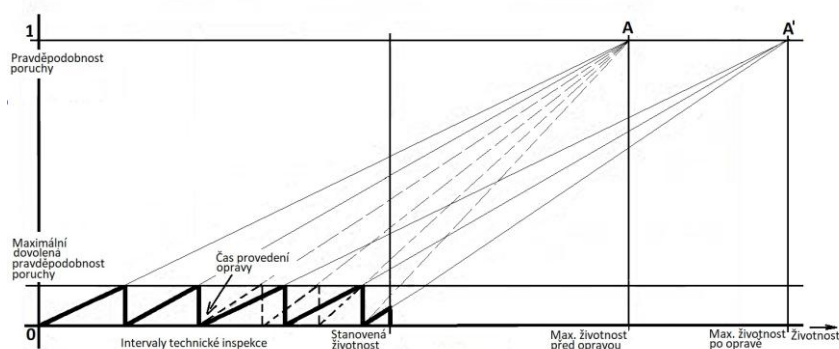
6. Vypořádání rizik odstraněním identifikovaných nebezpečí

6.1. Společná opatření

Jako „Předcházení rizik odstraněním identifikovaných nebezpečí“ můžeme nazvat údržbu a opravy. Technická inspekce určí i druh opravy, který můžeme rozdělit na dva základní typy popsané dále:

Údržba s opravou porušeného rizikového místa, bez opravy stupně degradace materiálu a se zastavením anebo zpomalením degradace. Při určování životnosti se takovýto souhrn oprav do určení životnosti započítává. V tomto případě se jedná o opravu vady, kdy degradace pokračuje podle původních představ. Stanovená životnost se neprodlouží. Samotný degradovaný materiál se však nijak nevylepší. Interval další technické inspekce se neprodlužuje, pravděpodobnost vzniku poruchy okamžitě po takovéto opravě klesne, avšak okamžitě začne růst původní rychlostí. Některé dále vyjmenované činnosti údržby se do tohoto druhu započítávají, je to například oprava nátěrů, promazání třecích ploch podpěr atd.

Údržba s opravou degradace materiálu, což můžeme získat spíše výměnou celých dílů. Na základě zjištění stavu při technické inspekci se provádí údržba s opravou degradace. V takovémto případě se prodlužuje životnost rizikového místa, viz obrázek 7.1. Stanovená životnost celého systému se v případě údržby s opravou degradace, např. do rizikového místa (např. kolena poničeného erozí) se instaluje celý nový prvek (např. celé koleno), dále jde o jakoukoli výměnu celé součástky. Tímto opatřením se prodlužuje životnost zařízení a tím i budoucí intervaly.



Obr. 7.1. Údržba s opravou degradace materiálu

6.2. Čištění vnitřku potrubí

6.2.1. Druhy čištění vnitřku potrubí

V případě, že je technickou inspekci předepsáno čištění potrubí, musí se provést například následujícími způsoby:

Hlavní rozdělení různých metod čištění je podle toho, zda se dají dělat za provozu anebo při zastavení provozu. Mezi čištění, které se dá provádět za provozu, patří čištění zvukem či ultrazvukem a čištění chemické.

Ostatní čištění patří mezi ta, která se dají provádět mimo provoz potrubí. Jsou to například manuální mechanické čištění, lehké tryskání, čištění vysokotlakou vodou, projektilové čištění apod.

Technologie lehkého tryskání využívá jako abrazivum různé materiály, např. jedlá soda, suchý led, jemné frakce písků atd. Používá se tlak vzduchu od 0,5 až 2,5 baru.

Po vyčištění se pak snadněji odečítá korozní či erozní úbytek stěny potrubí.

6.2.2. Čištění plynovodů a ropovodů

Mezi projektilové čištění patří např. používání ježků či prasátek při čištění ropovodů či plynovodů. Nečistoty v potrubí způsobují vzrůst hydraulického odporu, pokles přepravní kapacity a růst přepravních nákladů. Pravidelné čištění potrubí snižuje možnost vnitřní koroze potrubí.

6.2.3. Čištění vodovodů a kanalizací

Čištění stok se provádí různými způsoby podle toho, jestli je stoka průlezná anebo neprůlezná.

U průlezných stok je zde možnost čištění pomocí různých zařízení a čistících aparátů. Pohon čistícího aparátu může být proveden tlakem vody, která se hromadí na jedné straně aparátu anebo protaženým lanem či řetězem, který je tažen přes kladky vrátkem umístěným na povrchu.

Pro neprůlezné stoky a vodovody je možné čištění pomocí kornoutu anebo kartáče. Tato zařízení jsou ve stoce taženy lany anebo řetězy, které se stokou musí nejprve protáhnout.

Pro průchozí i neprůchozí stoky je možné použít vysokotlaké proplachovací soupravy. U tohoto nejmodernějšího způsobu čištění je nutné umístit buben s vysokotlakou hadicí tak, aby byl přímo nad vstupní šachtou. Po zavedení hadice a spuštění čerpadla hadice sama zajíždí do potrubí, je hnána proudem z trysek umístěných na hadici.

6.3. Obnova povrchové úpravy vnějšího povrchu

6.3.1. Obnova povrchové úpravy vnějšího povrchu nadzemního potrubí

V projektu se podle klasifikace vnějšího prostředí potrubí navrhne nátěrový systém. Při jeho poškození v průběhu provozu se musí opravit či obnovit. Nátěrový systém zvyšuje

odolnost potrubí proti korozi. Při jeho poškození v průběhu provozu se musí opravit či obnovit.

Podmínkou aplikace na stavbě je střídání výrazných odstínů jednotlivých vrstev tak, aby byla umožněna jednoduchá první kontrola počtu vrstev nátěrů:

- základní nátěr: červený/odstín 50630 doporučený odstín
- podkladový nátěr: olivově zelený/odstín 49980 doporučený odstín
- vrchní nátěr: vrchní ochranný nátěr potrubí se volí v barvách pastelových, zpravidla v odstínu šedém - šedá světlá / RAL 7035.

Barevné označování potrubí podle tekutiny dle ČSN 130072.

Podmínky obnovu aplikace nátěrů musí odpovídat ČSN EN ISO 8502:

- relativní vlhkost vzduchu při nanášení musí být < 85%
- teplota natíraného povrchu musí být min. 3 °C nad teplotou ros. Bodu
- povrchová teplota upravovaného materiálu nesmí být vyšší než 35 °C

Podrobné podmínky aplikace jednotlivých nátěrových hmot jsou uvedeny v technických listech dodavatele nátěrových hmot a jsou nedílnou součástí dokumentace nátěrů (této dokumentace).

6.3.2. Obnova povrchové úpravy vnějšího povrchu podzemního potrubí

Vnější povrch bývá u starších podzemních potrubí izolován asfaltovou izolací doplněnou skelnou rohoží. Novější bývá izolován plastovou smršťovací izolační páskou. např. dle DIN 30 670 (Polyetylenová izolace ocelových trubek a tvarovek) vyhovující elektrojiskrové zkoušce. Oprava anebo nový svarový spoj se izoluje pomocí třívrstevných smršťovacích PE manžet. Nejnověji se izolace proti zemní vlhkosti provádí pomocí termosetových izolací (epoxidehtová, epoxidová, polyuretanová, polyuretandehtová).

6.4. Nedestruktivní opravy potrubí

6.4.1. Napěťová zkouška (stresstest)

Napěťová zkouška je zařazena též do této kapitoly o vypořádávání rizik z důvodů, že zablokovává růst podkritických vad (zejména trhlin), které se „zatáhnou“. Odhalí kritické vady, které se musí opravit jednou z metod v této kapitole uvedených. Odstraní lokální napěťové špičky, způsobené geometrickými imperfekcemi vzniklými při výrobě i při skladování a při manipulaci na stavbě a odstraní zbytkové napětí vzniklé při sváření svařovaných trubek.

6.4.2. Instalace rukávce u podzemního potrubí vodovodů a kanalizací

Pozemní potrubí vodovodů a kanalizací bývají relativně velmi stará a dokonce i vodovody bývají provedeny ještě z litiny. Odstranění nebezpečí ztráty integrity tak zde může spočívat pouze v jediném: Ve zjištění jestli původní potrubí je v takovém stavu, že je schopné instalace vnitřního plastového rukávce a plastový vnitřní rukávec instalovat.

Tyto rukávce pak mohou být odolné relativně vysokému tlaku, běžně kolem 6 bar g. Výhoda tohoto řešení nad instalací nového potrubí je především úspora týkající se výkopových prací a možné následné přerušení dopravy.

Nejprve je nutné vyčištění původního potrubí, tomuto se věnovaly předešlé kapitoly. Jako další bod v postupu je nutné natvarování vlastních rukávců do tvaru C. Dále se v případě více poškozených původních potrubím navléká opletení rukávce a poté je již možné rukávec natáhnout do původního potrubí

Vlastní staré potrubí, typicky ještě litinové, se vyvložkovává plastovými rukávci, krajní části jsou pouze ocelové díly s různými armaturami za účelem výpočtu kotvení těchto dílů. Další postup spočívá v instalaci koncových přírub a natlakování rukávce tak, aby se rukávec rozevřel a z vnitřku přilnul k původnímu potrubí.

6.4.3. Opravy potrubí ocelovými objímkami

Ocelové objímky se mohou používat na vysokotlakých potrubích pro přepravu plynu, ropy a dalších chemických látek za provozu. Objímky jsou kompletovány mechanicky, bez potřeby svařování, což umožňuje instalaci objímky i v prostředí s nebezpečím výbuchu.

Mezi výhody použití objímek patří instalace bez zastavení průtoku tekutiny v potrubí a bez přivařování (a tím jsou vhodné i do výbušné atmosféry). Jsou vhodné i pro potrubí s velkou ovalitou, místa s ohyby a chybnými svary. Dále je můžeme instalovat jako ochranu proti vyduť a otevření defektu, snížení statického a cyklického namáhání vady od zatížení vnitřním přetlakem na dlouhodobě bezpečnou úroveň.

6.4.4. Opravy potrubí přelaminováním

Na ocelové potrubí je však možné instalovat laminátové objímky anebo vadu opravit přelaminováním.

6.5. Sváření trhliny a odstranění poškozeného dílu a vevaření nového

Údržba ocelového potrubí napadeného korozí. V případě, že technická inspekce předepíše, že všechny korozní přídavky byly vyčerpány a výpočet fitness for servis ukazuje, že další provoz není možný, musí se celé anebo jen nevyhovující část vyměnit.

Údržba kovového potrubí napadeného únavou. V případě, že technická inspekce zjistí, že na potrubí jsou nadkritické trhliny a výpočet fitness for servis ukazuje, že není možný další provoz, musí se vyměnit celý úsek potrubí, je-li trhlina málo, je možné je opravit jednotlivě svarem, jsou-li v pořádku i další předpoklady. Únavová trhlina by se neměla opravovat svarem, neboť svar může vytvořit závažnější vrubové namáhání, než bylo původně. Též je v principu možné použít objímku.

Údržba kovového potrubí napadeného creepem. V případě, že technická inspekce zjistí, že na potrubí je nadkritická deformace, je nutné celý úsek potrubí s deformací vyměnit vevařením nového úseku potrubí.

Přímé svařování trhliny je pak možné jen u trhlín vzniklých vadou materiálu nebo technologickým zásahem a které jsou v podkritické fázi růstu. Všechny uvedené svary je nutné provádět a kontrolovat podle stejných norem, jako by šlo potrubí nové.

U litinového potrubí, ať již bylo instalováno v minulosti, z důvodu tehdejší technické úrovně (např. vodovody ze začátku 20. stol. a starší) anebo i v dnešní době, kdy bylo instalováno z důvodů zvláštních požadavků a vlastností tekutiny (např. tekutina je H_2SO_4), se tento postup se uplatnit nedá a vevařování je zakázáno. Při vzniku trhliny je nutné vyměnit celý díl mezi přírubami anebo použít objímku.

Údržba potrubí z plastů. Svařování plastů se provádí natupo, polyfúzí anebo elektrotvarovkami. Při údržbě se vady na plastových potrubí svařují většinou polyfúzně, případně se mohou použít plastové objímky, které se pak mohou svařovat všemi výrobcem povolenými metodami.

6.6. Údržba a opravy jednotlivých potrubních zařízení

6.6.1. Údržba a opravy přírubového spoje

Oprava přírubových spojů. V případě zjištění netěsnosti přírubového spoje je nutné vyměnit těsnění a spojovací materiál. Také je nutné šroubový spoj přepočítat a určit nové utahovací momenty šroubů a matic. Jsou možné dva způsoby: tj. metoda Forge - Taylora a metoda pevnostně-těsnostní podle ČSN EN 1591-1. Při použití obou metod se vymění u přírubového spoje nové těsnění a nový kompletní spojovací materiál. Pro aplikaci metody ČSN EN 1591-1 je nutné, aby těsnění mělo certifikát a aby šroubový spoj prováděli pracovníci vyškolení podle ČSN EN 1591-4 „Kvalifikace personálu odpovědného za montáž šroubových spojů na zařízeních podléhajících směrnici pro tlakové nádoby“. Na závěr se provede těsnostní či tlakovou zkouška celého úseku.

Pro šroubový spoj na důležitém potrubí, je nutné do výpočtu též zjistit zatížení šroubového spoje (tj. zatěžovací síla a momenty) nejlépe výpočtem potrubí, a to vždy mezi pevnými body, které jsou na potrubí.

6.6.2. Údržba armatur

Údržba opravou či výměnou armatur. Provede setměna celé armatury a na vadné armatuře se provede repase (je-li to možné) Na repasovaných armaturách je prováděna těsnostní a tlaková zkouška. Tyto činnosti se provádějí na tlakovací stoličce pro zkoušení opravovaných armatur, nastavení otevíracích tlaků u pojistných ventilů a tlakové zkoušky.

6.6.3. Údržba kompenzátorů

Údržba opravou či výměnou vlnovcových kompenzátorů. V případě, že technická inspekce zjistí, že je kompenzátor nevyhovující, je nutné vyměnit celý kompenzátor. Vyjimka platí u angulárních kompenzátorů, které mají spojené obě krajní příruby čepem, který povoluje jen angulární pohyb. Tento čep může být společně s ostatním potrubím napaden korozí a začne špatně fungovat. Musíme ho tedy rozebrat a namazat, ostatní části kloubu můžeme i natřít.

6.6.4. Údržba uložení, podpěr a závěsů

Údržba opravou či výměnou podpěr. V případě, že technická inspekce zjistí, že kluzné plochy kluzných podpěr je třeba vyčistit, je nutné toto udělat a opatřit vhodnou povrchovou úpravou, která by neměnila koeficient tření. V případě, že technická inspekce zjistí, že pružné podpěry či závěsy nejsou správně seřizeny, je nutné toto opravit. V případě, že technická inspekce zjistí, že pružné podpěry či závěsy mají unavené pružiny, je nutné tyto vyměnit.

7. Použitá literatura a literatura pro další studium

7.1. Odborná literatura

1. Achilides S., Gecelovská G., Gehre J.: Nebezpečí spojená s výbuchy, Identifikace a hodnocení rizik, Navrhovaná opatření, VÚBP Praha, 2016
2. Aguda A., Mikkelsen K.: Basis blast stress, guidelines, Fabricom, 2010
3. Bielak O.: Životnost a spolehlivost tlakových a energetických systémů, Sborník referátů TLAK 2007
4. Boháč M.: Základy statistického myšlení, Qualisys Brno, 1996
5. Boháč M.: Způsobilost procesů a statistická regulace, Qualisys Brno, 1996
6. Dey A. K.: Types of Stresses in a Piping System, <https://whatispiping.com>, 2020
7. Egermayer F., Boháč M.: Statistika pro techniky, SNTL Praha , 1984
8. Frydryšek K.: Pravděpodobnostní výpočty v mechanice, VŠB-TU Ostrava, Katedra pružnosti, Fakulta strojní, 2010
9. Fuchs: Využití funkční schopnosti (spolehlivosti) v funkční praxi, Technická univerzita, Liberec, 1998
10. Garic G.: The User's Guide to API 579-1/ ASME FFS-1, Fitness-for-service, Inspectioneering Journal, <https://inspectioneering.com> , 2020
11. Jandura V.: Moderní metody NDT – příklady vhodného použití, kombinace metod NDT, referát na konferenci Potrubí 2020, hotel Energie, Praha
12. Kolektiv: Overview of Risk-Based Inspection (RBI), The Equity Engineering Group, Inc., Woodlands, Texas, USA, <https://inspectioneering.com> , 2021
13. Kolektiv: A Primer on Risk-based Inspection, The Equity Engineering Group, Inc., Woodlands, Texas, USA, <https://inspectioneering.com> , 2021
14. Kolektiv: Guide for ASME Stamps Holders, Use of ASME Section VIII, Division 1 to Meet the EC Pressure Directive (2014/68/EU)
15. Kratochvíl B., Švorčík V., Vojtěch D.: Úvod do studia materiálů, 2005
16. Kuchař J., Kreibich V.: Moderní metody čištění vnitřku potrubí, konference Potrubí 2020, hotel Energie, Praha
17. Libertowski N., Bifano M.: Identifying and Understanding the Risk of Acoustic-Induced Vibration Failures, Inspectioneering Journal, <https://inspectioneering.com> , 2021
18. Macek K., Zuna P.: Strojírenské materiály, ČVUT 2003
19. Marek P., Brozzetti J., Guštar M. a Tikalsky P.: Probabilistic Assessment of Structures using Monte Carlo Simulation. Background, Exercises and Software, Institute of Theoretical and Applied Mechanics, Academy of Sciences of Czech Republic, 2003
20. Mathew J.: Stress Analysis of Surface Laid Pipelines, <https://whatispiping.com> ,2020

21. Mershon J. L., Mokharian K., Ranjan G. V., Rodabaugh E. C.: Local stresses in Cylindrical Shells due to External Loadings on Nozzles – Supplement to WRC Bulletin No. 107 – (Revision I), Welding Research Council Bulletin č. 294, 1987
22. Mikula J. a kol.: Potrubí a armatury, SNTL Praha, 1969
23. Mohinder L. N.: Piping Handbook, 7th Edition, McGraw-Hill, New York, 2000
24. Mrázik A.: Teória spoľahlivosti ocelových konštrukcií, Veda Bratislava, 1987
25. Němec J., Sedláček J.: Spolehlivost strojních zařízení, SNTL Praha, 1979
26. Němec J., Sedláček J.: Statistické základy pevnosti konstrukcí 1, Academia Praha, 1982
27. Němec J., Drexler J., Serensen S.V., Kogajev V.P.: Statistické základy pevnosti konstrukcí 2, Academia Praha, 1982
28. Novotný R.: Weibullovo rozdělení při analýzách bezporuchovosti, Elektrotechnika 2002/17
29. Pekař V. a kolektiv: Jak na potrubí za provozu? Kniha o provozu a údržbě potrubí s využitím analýzy rizik, APTI Líbeznice, 2024
30. Petrásek P.: Nové přístupy ke kontrole potrubí, referát ze sborníku konference Potrubí 2022, APTI Praha
31. Podroužek L.: Navrhování, stavba a provoz tepelných sítí I. a II. Díl, SNTL Praha, 1956
32. Procházková D.: Validita technik používaných v praxi při práci s riziky, Sborník konference VTZ 2017, APTI Líbeznice
33. Procházková D. a kol.: Řízení rizik procesů spojených s provozem technického díla během jeho životnosti. ČVUT Praha, 2019,
34. Procházková D. a kol.: Řízení rizik procesů spojených se zhotovením technického díla a jeho uvedením do provozu. ČVUT Praha, 2019,
35. Reynolds J.: The 101 Essential Elements in a Pressure Equipment Integrity Management Program, Inspectioneering LLC, Woodlands, Texas, USA, 2014
36. Rodabaugh E. C.: Stress indices, pressure design and stress intensification factors for laterals in piping, WRC Bulletin č. 360, 1991
37. Rozlívka L., Fajkus M.: Statistické parametry ocelí používaných na stavbu ocelových konstrukcí, Sborník konference DYNA 2008, Ústav aplikované mechaniky Brno, 2008
38. Rozlívka L., Fajkus M., Konečný P.: Reálné pevnostní hodnoty konstrukčních ocelí a rozměrové úchytky válcových materiálů pro pravděpodobnost posuzování spolehlivosti metodou SBRA. Sborník konference Spolehlivost, Dům techniky Ostrava, 2003
39. Růžička M.: Kriteria a postupy při posuzování únavové pevnosti a životnosti konstrukcí, ČVUT Praha, 1998

40. Stenta, A., Gassama, E., Spring, D.W., Panzarella, C.H., Cochran, J.D., and Osage, D.A., "Standardization of Fatigue Methods for Use in API 579-1/ASME FFS-1, WRC Bulletin 550," Welding Research Council, Shaker Heights, OH, 2015.
41. Tichý M. a kol.: Zatížení stavebních konstrukcí, SNTL 1987
42. Tesař M.: Řešení opakovaných netěsností na přírubových spojích, Sborník konference Potrubí 2022, ATPI Líbeznice
43. Vincour D.: Stručný informační dokument o systému DIALIFE, Ústav aplikované mechaniky Brno, 2004
44. Vincour D.: Kontrola nedostupných potrubních úseků, referát ze sborníku VTZ 2017, APTI Praha

7.2. Firemní literatura

1. AGT s.r.o., Praha: Produkty pro NDT, <https://www.atg.cz/>
2. Abegu a.s., Desná: Diagnostika metalických trubek <http://www.abegu.cz>
3. Preditest s.r.o., Praha: Metoda MMM <http://www.preditest.cz>
4. Mirage – servis a monitoring s.r.o., Bratislava: Metoda DCVG, <http://www.miragesm.sk>

7.3. Legislativa

1. Zák. č. 102/2001 Sb. O obecné bezpečnosti výrobků tj.směrnice2001/95/EC General Product Safety
2. Zák. č. 353/1999 Sb. O prevenci závažných havárií způsobených vybranými nebezpečnými chemickými látkami a chemickými přípravky
3. Zák. č. 250/2021 Sb. o bezpečnosti práce v souvislosti s provozem vyhrazených technických zařízení,
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. NV č. 191/2022 Sb. O vyhrazených technických plynových zařízeních a požadavcích na zajištění jejich bezpečnosti
6. NV č. 192/2022 Sb. O vyhrazených technických tlakových zařízeních a požadavcích na zajištění jejich bezpečnosti
7. Vyhl. č. 8/2000 Sb. Zásady hodnocení rizik závažné havárie

7.4. Související technické normy

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

ČSN 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 17290 Nedestruktivní zkoušení. Zkoušení ultrazvukem. Měření úbytku tloušťky v důsledku eroze a/nebo koroze pomocí techniky TOFD.

ČSN EN 13018 Nedestruktivní zkoušení. Vizuální zkoušení. Obecné zásady.

ČSN EN 10289 Ocelové trubky a tvarovky pro potrubí uložených v půdě nebo ve vodě – Vnější nátěrové epoxidové a modifikované epoxidové povlaky

ČSN EN 10290 Ocelové trubky a tvarovky pro potrubí uložených v půdě nebo ve vodě – Vnější nátěrové polyuretanové a modifikované polyuretanové povlaky

ČSN EN 14584 Nedestruktivní zkoušení. Zkoušení akustickou emisí. Zkoušení kovových tlakových zařízení během přejímací zkoušky. Planární lokalizace zdrojů akustické emise.

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 6: Pod tavidlem obloukově svařované trubky z nelegovaných ocelí

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

ČSN EN 764-7 Tlaková zařízení – Část 7: Bezpečnostní systémy pro netopená tlaková zařízení.

ČSN EN ISO 10893-4. Nedestruktivní zkoušení ocelových trubek. Část 4: Zkoušení bezešvých a svařovaných ocelových trubek pro zjišťování povrchových necelistvostí kapilární metodou

ČSN EN 15628 Údržba - Kvalifikace pracovníků údržby.

ČSN IEC 61511-1 Functional safety - Safety instrumented systems for the process industry sector - Part 1: Framework, definitions, system, hardware and application programming requirements

ČSN IEC 61511-2 Functional safety - Safety instrumented systems for the process industry sector - Part 2: Guidelines for the application of IEC 61511-1:2016

ČSN IEC 61508-1 Funkční bezpečnost elektrických/elektronických/ programovatelných elektronických systémů souvisejících s bezpečností – Část 1: Všeobecné požadavky

ČSN IEC 61508-2 Funkční bezpečnost elektrických/elektronických/ programovatelných elektronických systémů souvisejících s bezpečností – Část 2: Požadavky na elektrické/elektronické/programovatelné elektronické systémy související s bezpečností

ČSN IEC 61508-3 Funkční bezpečnost elektrických/elektronických/ programovatelných elektronických systémů souvisejících s bezpečností – Část 3: Požadavky na software

ČSN IEC 61508-4 Funkční bezpečnost elektrických/elektronických/ programovatelných elektronických systémů souvisejících s bezpečností – Část 4: Definice a zkratky

ČSN IEC 61508-7 Funkční bezpečnost elektrických/elektronických/ programovatelných elektronických systémů souvisejících s bezpečností – Část 7: Přehled technik a opatření

ČSN EN IEC 31010 Management rizik - Techniky posuzování rizik

ČSN IEC 300-3-9 - Management spolehlivosti Část 3: Návod pro použití. Oddíl 9: Analýza rizika technologických systémů. Nebezpečí (hazard)

ČSN EN ISO 31000 Management rizik - Směrnice.

ČSN EN ISO 10893-5. Nedestruktivní zkoušení ocelových trubek. Část 5: Zkoušení bezešvých a svařovaných trubek z feromagnetických ocelí magnetickou metodou práškovou pro zjišťování povrchových necelistvostí

ČSN EN ISO 10893-6. Nedestruktivní zkoušení ocelových trubek. Část 6: Radiografické zkoušení svarových spojů svařovaných ocelových trubek pro zjišťování necelistvostí

ČSN EN ISO 10893-7. Nedestruktivní zkoušení ocelových trubek. Část 7: Digitální radiografické zkoušení svarových spojů svařovaných ocelových trubek pro zjišťování necelistvostí

ČSN EN ISO 16809 Nedestruktivní zkoušení. Měření tloušťky ultrazvukem

ČSN EN ISO 16826 Nedestruktivní zkoušení. Zkoušení ultrazvukem. Zjišťování diskontinuit kolmých k povrchu

ČSN EN ISO 2768-1 Všeobecné tolerance - Část 1: Nepředepsané mezní úchytky délkových a úhlových rozměrů

ČSN EN ISO 2768-2 Všeobecné tolerance - Část 2: Nepředepsané geometrické tolerance

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

ČSN EN ISO 4126-1 Bezpečnostní pojistná zařízení proti nadměrnému tlaku. Část 1: Pojistné ventily

ČSN EN ISO 4126-2 Bezpečnostní pojistná zařízení proti nadměrnému tlaku. Část 2: Bezpečnostní zařízení s průtržnou membránou

ČSN EN ISO 4126-5 Bezpečnostní pojistná zařízení proti nadměrnému tlaku. Část 5: Řízené bezpečnostní systémy uvolňující tlak (CSPRS)

ČSN EN ISO 4126-6 Bezpečnostní pojistná zařízení proti nadměrnému tlaku. Část 6: Použití, výběr a montáž bezpečnostního zařízení s průtržnou membránou

ČSN EN ISO 4126-7 Bezpečnostní pojistná zařízení proti nadměrnému tlaku. Část 7: Obecné údaje

ČSN EN ISO 31000 Management rizik - Směrnice

ČSN EN ISO 7870-1 Regulační diagramy - Část 1: Všeobecné pojmy

ČSN 03 8375 Ochrana kovových potrubí uložených v půdě nebo ve vodě proti korozi

ČSN 69 0012 Tlakové nádoby stabilní - Provozní požadavky.

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

ČSN 33 2030 Elektrostatika - Směrnice pro vyloučení nebezpečí od statické elektřiny. Kapitola 5.5 Potrubí a hadice pro kapaliny

TPG 700 02 Stanovení technického stavu nízkotlakých a středotlakých plynovodních sítí z oceli. Diagnostické metody

TPG 700 04 Stanovení technického stavu vysokotlakých plynovodů. Diagnostické metody

TPG 700 02 Stanovení technického stavu nízkotlakých a středotlakých plynovodních sítí z oceli. Diagnostické metody

TPG 700 04 Stanovení technického stavu vysokotlakých plynovodů. Diagnostické metody

API 570 Piping Inspection. Code Inspection, Repair, Alteration and Rerating of In-service Piping Systems

API 574 Inspection Practices for Piping System Components
 API RP 579-1 / ASME FFS-1 Fitness-For-Service, 3. vydání, 2016
 API RP 580 Recommended Practice for Risk Based Inspection, 3.vydání, 2016
 API RP 581 Risk-Based Inspection Methodology, 2016
 API RP 1173 Pipeline Safety Management Systems
 API RP 1176 Assessment and Management of Cracking in Pipelines, 2016
 ASME PCC-3 Inspection Planning Using Risk-Based Methods, 2017
 ASME B31G: Manual for Determining the Remaining Strength of Corroded Pipelines
 ANSI ISA S84.01 Application of Safety Instrumented Systems

7.4. Zajímavé internetové adresy

Adresa stránek	Téma stránek
https://ipotrubi.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://inspectioneering.com	O inspekcích potrubí
http://www.eurofitnet.org/	O inspekcích a provozu
https://forengineers.org	Welding Research Council
https://fatec.engineering.com	O únavě materiálu

http://www.ffatigue.net	O únavě materiálu
https://weibull.com	Reliability Engineering Resource
https://itl.nist.gov/div898/handbook/index.htm	Inženýrská statistika
https://makovicka.cz	Statika a dynamika
https://corrosionpedia.com	O korozi
https://corrosionclinic.com	O korozi
http://www.abegu.cz	Inspekční metody nepřístupných potrubí
http://www.preditest.cz	Inspekční metody nepřístupných potrubí
http://www.miragesm.sk/cs	Inspekční metody nepřístupných potrubí
http://seznam.normy.biz/trida.php?trida=13	Seznam platných norem ve třídě 13. potrubí
https://e2g.com	O inspekcích potrubí
http://www.noise.cz/SBRA/	Simulation based Reliability Assessment
http://reliabilityweb.com	O spolehlivosti konstrukce
https://e-konstrukter.cz/prakticka-informace/chemicka-odolnost-kovu-korozivzdornost	Chemická odolnost kovů
https://e-konstrukter.cz/prakticka-informace/chemicka-odolnost-plastu-korozivzdornost	Chemická odolnost plastů
https://e-konstrukter.cz/prakticka-informace/chemicka-odolnost-ruznych-materiálu-korozivzdornost	Chemická odolnost ostatních materiálů