

Obsah

Úvodní slovo autora	11
1. Řízení rizik technického díla	13
1.1. Základní systém pro řízení a vypořádání rizika	13
1.1.1. Všeobecně	13
1.1.2. Nebezpečí	13
1.1.3. Ohrožení	13
1.1.4. Riziko	14
1.1.5. Řízení rizika	14
1.1.6. Vypořádání rizika	14
1.1.7. Ochrana do hloubky	14
1.2. Rizika ve fázi návrhu technického díla (risk based design)	14
1.2.1. Bezpečné technické řešení technického díla	14
1.2.2. Analýza rizik technického díla ve fázi návrhu	15
1.2.2.1. Základní typ analýzy rizik	15
1.2.2.2. Studie nebezpečí a provozuschopnosti (HAZOP).	15
1.2.2.3. FMECA (Failure modes, effects, and criticality analysis)	16
1.2.3. Inherentní bezpečnost	18
1.2.4. Pasivní bezpečnost	18
1.2.5. Aktivní bezpečnost	18
1.2.6. Inženýrství odolnosti	19
1.3. Technická inspekce v provozu na bázi analýzy rizik (risk based inspection)	19
1.3.1. Základní pojmy	19
1.3.2. Analýza rizik provozu potrubí	20
1.3.3. Minimalizace rizik provozovatelem zařízení	21
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
1.4. Související technické normy a legislativa	23
1.4.1. Související legislativa	23
1.4.2. Související technické normy	23
2. Řízení rizik ve fázi návrhu a výroby potrubí	25
2.1. Možné základní pohromy u potrubí	25
2.1.1. Výbuch v souvislosti s požárem.	25
2.1.2. Únik tekutiny	25
2.1.3. Následná odvození	25
2.2. Možnosti vypořádání některých nebezpečí závislých na vlastnostech konstrukce, materiálu a hydraulických jevech ve fázi návrhu potrubí	25
2.2.1. Volba vhodných materiálů	25
2.2.1.1. Volba vhodných materiálů z důvodů vyhovující pevnosti potrubí	25
2.2.1.2. Volba vhodných materiálů z důvodů odstranění křehkého lomu	26
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	28
2.2.3.5. Možnost vypouštění a odvzdušnění potrubí	28
2.2.4. Příklad vhodné konstrukce pro vypořádání rizika inherentní bezpečnosti	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.	29
2.3. Řízení nebezpečí závislých na vlastnostech materiálu potrubí ve fázi návrhu	29
2.3.1. Stanovená životnost	29
2.3.2. Porušení pevnosti potrubí při korozi/erozi	30
2.3.3. Porušení únavové únosnosti	30
2.3.3.1. Zjišťování únavové únosnosti – všeobecná část	30
2.3.3.2. Zjišťování únavové únosnosti – nízkocyklová únava	31
2.3.3.3. Zjišťování únavové únosnosti – vysokocyklová únava	32
2.3.4. Překročení dovolené creepové deformace	32
2.3.5. Porušení těsnosti přírubového spoje	33
2.3.6. Porušení potrubí v zemi od zatížení nadložím, dopravou a vodorovnými tlaky zeminy	33
2.3.7. Porušení potrubí v zemi od pohybu podloží	34
2.3.8. Porušení funkce plastových potrubí	35
2.3.8.1. Principy návrhu a výpočtu plastových potrubí	35
2.3.8.2. Seznam nebezpečí, které je třeba odstranit při návrhu plastových potrubí	36
2.3.9. Porušení potrubí vibracemi	37
2.3.10. Porušení potrubí zemětřesením	37
2.4. Řízení rizik ve fázi návrhu tlakové sestavy závislých na chemických vlastnostech a množství média	37
2.4.1. Ohrožení výbuchem a únikem tekutiny s využitím PEDu	37
2.4.1.1. Všeobecné poznámky o PEDu	37
2.4.1.2. Kategorizace potrubí podle PED	38
2.4.1.3. Určení skupiny tekutiny	38
2.4.1.4. Určení stavu tekutiny	39
2.4.1.5. Definice nestabilního plynu	39
2.4.1.6. Řízení rizik závislých na chemických vlastnostech a množství média	40
2.4.2. Ohrožení výbuchem podle ATEXu	40
2.4.2.1. O ATEXu	40
2.4.2.2. Princip řízení rizik podle ATEXu	40
2.4.2.3. Výbušná atmosféra uvnitř potrubí	41
2.4.2.4. Výbušná atmosféra vně potrubí okolo přírubového spoje	42
2.4.2.5. Iniciační zdroj výbuchu na potrubí - Povrch potrubí je teplejší než teplota vznícení výbušné atmosféry.	42
2.4.2.6. Iniciační zdroj výbuchu na potrubí - Elektrostatický náboj na povrchu potrubí.	42
2.4.2.7. Elektricky vodivé pospojení a zemnění potrubí	42
2.5. Řízení nebezpečí ve fázi výroby a kontroly potrubí	43
2.6. Řízení rizik snižováním potenciálních následků pohromy v návrhu	43
2.7. Související technické normy a legislativa	43
2.7.1. Související legislativa	43
2.7.2. Související technické normy	44
3. Řízení rizik pro potrubí v provozu za zásadního přispění technické inspekce	47
3.1. Základní ohrožení při provozu potrubí	47
3.2. Velikost ohrožení závislá na druhu, množství a chemických vlastnostech dopravované tekutiny v provozu	47
3.2.1. Ohrožení závislá na chemických vlastnostech a množství média v provozu – využití PEDu pro provoz	47
3.2.2. Ohrožení výbuchem podle ATEX	47
3.2.2.1. O ATEXu	47
3.2.2.2. Zásady prevence rizik	48
3.2.2.3. Opatření k ochraně před výbuchy	48
3.3. Nebezpečí závislá na ztrátě odolnosti materiálu s následkem ztráty integrity potrubí	48
3.3.1. Odolnost konstrukce a způsob jejího získávání	48

3.3.1.1. Vysvětlení pojmu odolnost konstrukce	48
3.3.1.2. Druhy odolností konstrukce v závislosti na typech poruch	49
3.3.2. Nebezpečí porušení integrity při překročení dovoleného napětí odvozeného z meze kluzu a/nebo pevnosti materiálu	49
3.3.2.1. Nebezpečí překročení nejvyššího dovoleného tlaku či teploty	49
3.3.2.2. Nebezpečí překročení korozního přídavku plošnou korozí	50
3.3.2.3. Nebezpečí překročení erozního přídavku plošnou erozí	50
3.3.2.4. Překročení dovoleného napětí způsobeného vibracemi	50
3.3.2.5. Překročení dovoleného napětí poklesem podpěry	50
3.3.2.6. Odolnost konstrukce při prosté pevnostní únosnosti určená mezí kluzu či mezí pevnosti	51
3.3.3. Nebezpečí únavového lomu	51
3.3.3.1. Únava – společné zákonitosti	51
3.3.3.2. Únava nízkocyklová – základní pojmy	52
3.3.3.3. Únava nízkocyklová - tepelná.	52
3.3.3.4. Únava nízkocyklová v důsledku teplotních a tlakových cyklů	52
3.3.3.5. Únava nízkocyklová, kde spolupůsobí koroze	52
3.3.3.6. Únava vysokocyklová – základní pojmy	52
3.3.3.7. Vibrace indukované rotačními stroji	52
3.3.3.8. Akusticky indukované vibrace potrubí	53
3.3.3.9. Odolnost konstrukce proti únavě	54
3.3.4. Nebezpečí skrývající se za lokálním úbytkem materiálu ve stěně potrubí	54
3.3.4.1. Všeobecné údaje	54
3.3.4.1. Odolnost konstrukce při lokálním úbytku materiálu	55
3.3.5. Nebezpečí překročení maximální dovolené deformace způsobené creepem	55
3.3.5.1. Creep – základní pojmy	55
3.3.5.2. Odolnost konstrukce proti creepu	56
3.3.6. Nebezpečí vyskytující se u potrubí uložených v zemi	57
3.3.6.1. Nebezpečí způsobená tlakem nadloží a pohyby podloží	57
3.3.6.2. Nebezpečí způsobená speciálními druhy koroze	58
3.3.6.3. Údržba vnějšku potrubí pro korozní agresivitu - Im3 ponor do půdy	58
3.3.6.4. Odolnost konstrukce	59
3.3.7. Nebezpečí vyskytující se u plastových potrubí	59
3.3.7.1. Plastová potrubí – základní pojmy	59
3.3.7.2. Plastová potrubí – nebezpečí vznikající při provozu	60
3.3.7.3. Odolnost konstrukce	60
3.3.8. Zanášení potrubí sedimenty	60
3.3.9. Nebezpečí úniku tekutiny u přírubového spoje	61
3.4. Řízení rizik provozovatelem potrubí přímo	61
3.4.1. Snižování potenciálních následků pohromy provozovatelem potrubí	61
3.4.2. Provozní předpisy a řízení provozu podle nich	62
3.5. Řízení rizik ztráty integrity za zásadního přispění technických inspekcí	62
3.5.1. Závislosti mezi různými druhy ohrožení a uvedenými nebezpečími	62
3.5.2. Odhad velikosti rizika	63
3.5.3. Způsoby řízení rizika technickými inspekcemi	63
3.5.3.1. Nebezpečí a inspekční postupy	63
3.5.3.2. Intervaly technické inspekce	63
3.5.3.3. Vytváření druhů inspekčních postupů	63
3.5.4. Jednotlivé stupně inspekčních postupů	63
3.5.4.1. Rozsah a obsah inspekčního postupu při převzetí potrubí do portfolia inspekcí	64
3.5.4.2. Stupeň zkráceného inspekčního postupu	64
3.5.4.3. Základní stupeň inspekčního postupu	64
3.6. Řízení rizik u jednotlivých druhů potrubí v provozu	64
3.6.1. Nebezpečí u jednotlivých druhů potrubí v provozu	64
3.6.2. Nebezpečí a rizika u vodovodů a tlakové kanalizace	65
3.6.3. Nebezpečí a rizika u plynovodů	65
3.6.4. Nebezpečí a rizika u parovodů a vedení kondenzátu	66
3.6.5. Nebezpečí a rizika u předizolovaných teplovodů a horkovodů	66
3.6.6. Nebezpečí a rizika u průmyslových potrubí	67

3.7.	Související technické normy a legislativa	68
3.7.1.	Související legislativa	68
3.7.2.	Související technické normy	68
4.	Pravěpodobnostní přístup k provoznímu zatížení potrubí, k životnosti potrubí a k poruše zařízení	71
4.1.	Veličiny a jednotky v této kapitole	71
4.2.	Provozní zatížení potrubí	72
4.2.1.	Náhodná provozní zatížení a maximální dovolená zatížení	72
4.2.2.	Zatížení tlakem a teplotou jako náhodným zatížením	73
4.2.3.	Zatížení vlastní hmotností potrubí, média a izolace jako náhodná veličina	74
4.2.4.	Klimatická zatížení	78
4.3.	Účinky zatížení a jejich získávání	79
4.3.1.	Co jsou to účinky zatížení	79
4.3.2.	Materiálové konstanty a veličiny, které slouží k převodu zatížení na účinky zatížení	79
4.3.3.	Účinky zatížení způsobující houževnatý lom	80
4.3.4.	Účinky zatížení způsobující poškození nízkocyklovou únavou	80
4.3.5.	Účinky zatížení způsobující poškození vysokocyklovou únavou	81
4.3.6.	Účinky zatížení způsobující poškození creepem	81
4.3.7.	Účinky zatížení způsobující poškození korozí	81
4.4.	Životnosti zařízení	82
4.4.1.	Životnosti zařízení - všeobecně	82
4.4.2.	Životnost potrubí daná korozí	82
4.4.3.	Životnost potrubí daná únavou	83
4.4.4.	Životnost potrubí daná creepem	84
4.5.	Určení pravděpodobnosti poruchy zařízení	85
4.5.1.	Pravděpodobnost poruchy zařízení a metody jejího získávání	85
4.5.1.1.	Pravděpodobnost poruchy a spolehlivost	85
4.5.1.2.	Sdružená funkce hustoty pravděpodobnosti	86
4.5.1.3.	Pravidlo násobení částečných pravděpodobností	86
4.5.2.	Klasický konkrétní příklad výpočtu pravděpodobnosti poruchy zařízení pro potrubí i válcová tlaková zařízení	87
4.5.2.1.	Obvodové napětí válce způsobené tlakem:	87
4.5.2.2.	Mezní úchylky průměru D0 a tloušťky stěny h potrubí podle jednotlivých norem	88
4.5.2.3.	Výpočet stochastických účinků zatížení	88
4.6.	Výpočet progresivního intervalu pro provádění technické inspekce	88
4.6.1.	Křivka teoretické degradace	88
4.6.2.	Výpočet progresivních intervalů pro provádění technické inspekce	89
4.7.	Související technické normy	90
5.	Výpočet limitních rozměrů vad	91
5.1.	Veličiny a jednotky v této kapitole	91
5.2.	Získání a zpracování dat pro výpočty limitních velikostí vad za provozu	92
5.2.1.	Provozní cykly základní a vložené a získávání dat během těchto cyklů	92
5.2.2.	Dopočítávání a zpracování výsledků pro výpočet degradace materiálu únavou	92
5.2.3.	Získávání dat pro výpočet zbývající životnosti pomocí lomové mechaniky	94
5.2.4.	Získávání a zpracování dat pro výpočet těch druhů degradace materiálu, které jsou závislé na provozní expozici	94
5.3.	Výpočet limitních rozměrů úbytku při poškození plošnou korozí či erozí	94
5.3.1.	Poškození plošnou korozí/erozí na přímé trubce po obvodu rovnoměrně	94
5.3.1.1.	Korekce a kontrola výpočtu v projektu	94
5.3.1.2.	Výpočet napětí v plošně zkorodované trubce a jeho porovnání s napětím dovoleným.	95
5.3.2.	Poškození plošnou korozí/erozí v oblouku na vnější straně	98
5.3.3.	Zatížení potrubí poklesem podpěr	100
5.4.	Výpočet limitních rozměrů důlkupři poškození důlkovou korozí	101
5.4.1.	Jeden osamocený důlek	101
5.4.2.	Vliv blízkosti jiných důlků	104

5.5.	Výpočet rozvoje trhliny lomovou mechanikou	104
5.5.1.	Základní informace	104
5.5.2.	Diagram hodnocení poruch	106
5.5.3.	Zobrazení materiálových vlastností ocelí používaných v lomové mechanice	107
5.5.4.	Zobrazení různých druhů ocelí	108
5.5.5.	Vztahy pro získání hodnot lomové houževnatosti	109
5.5.6.	Výpočet kritické velikosti trhliny	109
5.5.7.	Jak na vady neidealizovaných tvarů	110
5.5.8.	Výpočet zbývající životnosti	111
5.6.	Výpočet vývoje únavové degradace	111
5.6.1	Základní vztahy pro výpočet únavy	111
5.6.2.	O použitých únavových křivkách	112
5.6.3.	Odvození součinitele ekvivalentního namáhání	113
5.6.4.	Odvození počtu cyklů do poruchy	114
5.7.	Výpočet vývoje materiálové degradace creepem	114
5.7.1.	Na čem creep závisí	114
5.7.2.	Způsob kontroly a výpočet zbývající životnosti	115
5.8.	Definování mezí přijatelnosti vad v provozu	115
5.9.	Související technické normy	116
6.	Způsoby identifikace jednotlivých nebezpečí pomocí metod NDT	117
6.1.	Rozdělení NDT metod	117
6.2.	Konvenční NDT metody	117
6.2.2.	Magnetická prášková metoda	118
6.2.3.	Penetrační/Kapilární metoda	118
6.2.4.	Radiografická metoda	119
6.2.5.	Ultrazvuková metoda	119
6.2.6.	Metoda vířivých proudů	120
6.3.	Nové NDT metody	120
6.3.1.	Screeningové metody	121
6.3.1.1.	SLOFEC®	121
6.3.1.2.	Kontrola pulsními vířivými proudy	122
6.3.1.3.	Guided Waves	122
6.3.1.4.	Akustická emise	122
6.3.1.5.	MMM	122
6.3.2.	Metody pro detailní hodnocení indikací	123
6.3.2.1.	ToFD	123
6.3.2.2.	Phased Array (UTPA)	123
6.3.2.3.	FMC/TFM	124
6.4.	Speciální NDT metody	124
6.4.1.	Kontrola austenitických materiálů	124
6.4.2.	Kontrola jednotlivých součástí přírubového spoje	124
6.4.3.	Ultrazvuková kontrola za vysokých teplot	125
6.4.4.	Kontrola potrubí uloženého na podpěrách	126
6.5.	Druhy inspekčních postupů - Způsob identifikace jednotlivých nebezpečí	126
6.6.	Související technické normy a firemní materiály	127
6.6.1.	Související technické normy	127
6.6.2.	Související firemní materiály	127
7.	Způsoby identifikace jednotlivých nebezpečí pomocí ostatních metod	129
7.1.	Zkoušky vysokým vnitřním tlakem	129
7.1.1.	Tlaková zkouška	129
7.1.2.	Těstnostní zkouška	129
7.1.3.	Napět'ová (či zátěžová) zkouška (stresstest)	129
7.2.	Detekce úniku tekutiny z přírubového spoje či potrubí	130
7.2.1.	Definice úniku média přírubovým spojem a podmínky, za kterých jsou detekce prováděny	130
7.2.2.	Metody detekce úniků	131

7.2.2.1. Akustická metoda	131
7.2.2.2. Bublínkový test	131
7.2.2.3. Pokles tlaku	131
7.2.2.4. Zkouška pomocí helia	131
7.2.2.5. Zkouška pomocí vodíku	131
7.2.2.6. Čichací testy	131
7.2.3. Metody kontroly těsnosti přírub při návrhu potrubních tras – přístup podle ASME	132
7.2.3.1. Úvodní poznámky	132
7.2.3.2. Kritéria analýzy těsnosti přírub	132
7.2.3.3. Metodika analýzy přírub	132
7.2.3.5. Kontrola těsnosti přírub pomocí metody ASME BPVC Sec VIII Div 1 Příloha 2	133
7.2.3.6. Kontrola těsnosti přírub pomocí metody NC 3658.3	133
7.3. Poruchy vlnovcových kompenzátorů	133
7.3.1. Poruchy nesprávnou montáží	133
7.3.2. Poruchy nesprávným návrhem	134
7.3.3. Poruchy nesprávnou funkcí a umístěním vlnovcových kompenzátorů	134
7.4. Druhy inspekčních postupů - způsob identifikace jednotlivých nebezpečí	136
7.5. Související technické normy a firemní materiály	137
7.5.1. Související technické normy	137
7.5.2. Související firemní materiály	137
9. Použitá literatura a literatura pro další studium	145
9.1. Odborná literatura k jednotlivým kapitolám	145
9.1.1. Kapitola 1. Řízení rizik technického díla	145
9.1.2. Kapitola 2. Řízení rizik ve fázi návrhu a výroby potrubí	145
9.1.3. Kapitola 3. Řízení rizik pro potrubí v provozu za zásadního přispění technické inspekce	145
9.1.4. Kapitola 4. Pravděpodobnostní přístup k provoznímu zatížení potrubí, k životnosti potrubí a k poruše zařízení	146
9.1.5. Kapitola 5. Výpočet limitních rozměrů vad	147
9.1.6. Kapitola 6. Způsoby identifikace jednotlivých nebezpečí pomocí metod NDT	148
9.1.7. Kapitola 7. Způsoby identifikace jednotlivých nebezpečí pomocí ostatních metod	148
9.1.8. Kapitola 8. Vypořádání rizik odstraněním identifikovaných nebezpečí	148
9.2. Zajímavé internetové adresy	149