

# PŘÍČINY SELHÁNÍ UTĚSNĚNÍ VYHRAZENÝCH TLAKOVÝCH ZAŘÍZENÍ

Jiří Lukavský <sup>a)</sup> a Jan Tomáš <sup>b)</sup>

<sup>a)</sup> České vysoké učení technické v Praze

<sup>b)</sup> TECHSEAL s.r.o.

Tlaková zařízení ve formě tlakových nádob, jejich částí zásobníků, potrubí a potrubních sítí jsou používány v mnohých odvětvích průmyslu a podle jejich parametrů, konstrukce, materiálu a dalších strojních součástí jako funkčních vestaveb, armatur, čerpadel, kompresorů a umístění v prostoru se liší požadavky na tato zařízení a jeho části. Největší nároky na celý problém lze očekávat u tzv. procesního inženýrství (chemická a petrochemická zařízení, jaderná energetika). O něco menší problémy má běžná energetika a teplárenství, rozvody tlakového vzduchu, plynovody a rozvody kapalin uložené v zemi nebo na potrubních mostech aj.

Ohrožení tlakových zařízení a jejich působení na životy a zdraví obsluhy, příp. na životní prostředí je obsahem analýzy jevů, které tato ohrožení vyvolávají. Odchytky od určujícího provozu, který je dán provozními parametry, mohou vést k náhlým selháním „stěny odolávající tlaku“, zpravidla selháním technických nebo organizačních opatření nebo selháním bezpečnostně kontrolních vybavení. Ta slouží k ochraně před překročením mezí, a která obsahují zařízení k bezprostřednímu omezení tlaku, jako např. pojistné ventily, pojistné membrány, pruty namáhané na vzpěr, řízená bezpečnostní zařízení nebo omezovací zařízení působící jako korekční přístroje nebo vyvolávají vypojení a uzavření, jako vypínače tlaku a teploty, nebo hladinové spínače.

Provozní bezpečnost ovlivňují rovněž časově závislá poškození, jako např. korozi (vnitřní, vnější, různé mechanismy koroze), erozi, kavitaci, únavou, křehnutím, tažností na mezi pevnosti v tečení, střídavým zatížením (tlakové / teplotní změny), vnější síly (prouděním tekutin, různou teplotní roztažností, větrem, seismicitou aj.).

Při úniku médií mohou vzniknout pro zaměstnance nebo pro třetí osoby ohrožení impulzem z volného proudu, potlačení, naleptání, hoření nebo zamrznutím. U částí zařízení, která jsou trvale technicky těsná, nečeká se únik těsněných látek. Tím neexistuje nebezpečí ohně, exploze nebo zdraví. U zařízení, která jsou technicky těsná, lze očekávat volné úniky netěsností pouze zřídka. Naopak technicky těsné spoje mohou být za určitých okolností netěsné.

Tlaková zařízení jsou vesměs komplikované konstrukce, kde jejich jednotlivé části jsou spojovány nerozebíratelnými (svarovými) nebo rozebíratelnými (šroubovými) spoji. Uvedené spoje mají řadu omezení ovlivňující parametry provozu, které jsou:

## **Možné ohrožení odchylkami od dovolených provozních parametrů a jejich příčinou mohou být:**

### **1. Překročení dovolených pracovních tlaků v důsledku:**

- a) vzrůstu tlaku vyšším potenciálem tlaku v připojených zařízeních, např. v okruhu sítě, v předlohách příp. v zásobních nádržích,
- b) selhání chlazení, příp. kontroly teploty,
- c) přeplnění překročením dovoleného plnicího tlaku (např. čerpadlem),
- d) překročení dovoleného plnicího tlaku (např. kompresorem),
- e) bránění teplotní roztažnosti z kapalin nebo plynů v kapalně fázi uzavřených v částech zařízení,
- f) uzavřené nebo ucpané odvětrávací potrubí,
- g) doprava tekutin proti uzavřené armatuře,
- h) výpadek kondenzace par,

- i) výpadek příp. selhání řídicích nebo regulačních zařízení,
- j) působení tepla zvnějška požárem,
- k) exotermní chemickou reakcí nebo rozpadovou reakcí,
- l) fyzikální explozí, která může vzniknout při styku studených kapalin s teplou taveninou nebo kapalinou, jejíž teplota leží nad teplotou varu studené kapaliny (např. kovové lázně, organické teplotnosné oleje),
- m) tlakové rázy, např. rázy kapalin s kavitací.

**2. Nedosažení dovoleného tlaku v důsledku:**

- a) ochlazení kapalin,
- b) při kondenzaci par, zanesení filtrů na straně sání,
- c) při vyprazdňování tlakového zařízení.

**3. Při překročení dovolené provozní teploty:**

- a) výpadkem chlazení, např. při chybném měření teploty a množstvím nástřiku,
- b) exotermní reakcí.

**4. Nedosažení dovolené provozní teploty v důsledku:**

- a) přechodu odparek s hluboko ochlazenými zkapalněnými plyny,
- b) adiabatickým uvolněním plynů (např. u kyselin uhličitých, zkapalněných plynů, čpavku atd.

**5. Překročení dovolených mechanických zatížení materiálů v důsledku:**

- a) vnějších sil a momentů na nosných částech a hrdlech,
- b) ve stěně nesoucích tlak nedovoleným rozdílem teplot a teplotních gradientů,
- c) nedovolených rychlostních změn teploty, zejména při najíždění a odstavení,
- d) bránění teplotní roztažnosti při změnách teplot, např. při najíždění a odstavení,
- e) kolísání teplot u části zařízení,
- f) zpětného rázu při odlehčení tlaku.

**6. Selhání bezpečnostně závažného vybavení v důsledku:**

- a) narušení funkčnosti provozním médii, nebo způsobem provozování pro slepení, zanesení nebo korozi bezpečnostních ventilů, pojistných membrán, senzorů a převodů měřících zařízení, bezpečnostně závažných armatur,
- b) narušení funkčnosti zachycováním kondenzátu na nejnižších místech výfukového potrubí z pojistných ventilů.

**7. Narušení funkčnosti vnějšími vlivy, jako:**

- a) korozi z vnějška,
- b) znečištěním nebo nánosy,
- c) výpadkem dodávky energií,
- d) poškození působením násilí,
- e) kmitáním nebo vibrací ze zdrojů okolí,
- f) namrzáním, pokrytí ledem.

**8. Narušení funkčnosti:**

- a) nesprávnou manipulací jako přestavěním mezních hodnot,
- b) nesprávnými údržbářskými zákroky, jako např. záměnou při opravě.

**9. Při montáži, instalaci a vybavení tlakového zařízení mohou být cíleně provedena následující opatření:**

Montáž potrubí by měla být provedena tak, aby se jeho umístění při pozdějším provozu nedovoleně neměnilo, když

- a) je třeba vzít ohled na teplotní dilataci při instalaci a delší potrubí mezi pevnými uchyceními vybavilo kompenzačními prvky jako kompenzátory, kompenzačními útvary potrubí, pokud vedení potrubí neumožňuje dostatečné prodloužení,
- b) nadzemní potrubí dosedá na dostatečný počet hrdel nebo konstrukce uchycení (potrubní mosty, nosné konstrukce) a to je pak upevněno tak, že nemůže vzniknout nebezpečná změna polohy,
- c) potrubí uložené v zemi jsou pokládána tak, aby ležela rovnoměrně,
- d) vytvoří se pevná a kluzná uložení,
- e) použité armatury budou uchyceny tak, aby nezatížily vlastní tíhou příp. akčními silami potrubí; armatury, tvarovky, čerpadla by neměla být zatížena momenty nebo smykovými silami.

Uzavírací součásti mají být zabezpečena proti náhodnému uzavření, přestavbě nebo uvedení do činnosti.

U uzavíracích částí tlakových zařízení, v nichž je možný vzrůst tlaku bránícím teplotnímu prodloužení kapalinami nebo zkapalněnými plyny se použijí vhodná opatření, např.

- a) vybaví se zpětnými ventily nebo zařízením pro odlehčení tlaku,
- b) zablokováním armatur v otevřené poloze.

Nedovolený růst tlaku se omezuje u tlakově zkapalněných plynů chladícími prostředky, u nichž tlak bez objemového odlehčení sleduje zákonitost tlakové křivky páry.

Části zařízení, které jsou provozovány plyny nebo parami s kondenzovatelnými podíly, zejména parní stroje, parní turbíny a potrubí jsou odvodněny a v případě potřeby předebrány, aby se zabránilo rázům kapaliny.

Kompresorové stanice, vyjmuté ze směrnice pro tlaková zařízení, jsou vybaveny částmi s bezpečnostní funkcí zabraňujícími během dopravy nebo čerpací přestávky nedovoleným tlakům.

Dodržení dovolených pracovních parametrů u chemických reakcí se zaručuje částmi výbavy se zabezpečenou funkcí jako např.

- a) jsou vyloučeny chyby dávkování čerpadly s definovanou rychlostí,
- b) zařízením pro měření množství v přívodu nebo měřením výšky hladiny, které při dosažení definované mezní hodnoty spustí automaticky působící zákroky, např. uzavření přívodu apod.,
- c) nuceně spojenými přítoky provozních látek.

Akumulace nekontrolovatelných reakčních potenciálů v důsledku zpomalených nebo začínajících průběhů reakce, jako např. nedostatečným promícháváním, nedostatečnou nebo příliš nízkou počáteční startovací teplotou jsou znemožněna opatření pro kontrolu a příp. vedení reakce. K tomu lze použít zařízení:

- a) pro kontrolu průběhu míchání,
- b) zařízení pro srovnání skutečné a požadované teploty,
- c) zařízení pro kontrolu potřebného chladícího nebo topného média,
- d) pro sestavení látkové bilance nebo bezpečnostního systému podle modelu procesu.

Provedou se opatření pro kontrolu tlaku a teploty, která spustí automaticky působící procesy, když další procesy, jako např. výpadek chlazení nebo vnesení nečistot, by vést k průběhům reakcí s překročením dovolených provozních parametrů.

Spustí se opatření vyvolávající nouzové odstavení a převedení do bezpečného stavu, např. systémy s nouzovým vypnutím nebo zastavením reakce.

Spustí se opatření pro převedení tlakového zařízení do bezpečného stavu, např. částečným odpojením, opravou chlazení anebo dalším zásobovacím systémem.

**10) Nastane-li během provozu tlakového zařízení bezprostřední stav ohrožení, např. vlivem nepředvídatelného průběhu reakce, nebo nebezpečného působení zvenku, je třeba provést potřebná protipatření:**

- jestliže vznikly na tlakových nádobách, kotlích, potrubích nebo jiných provozních zařízeních ohrožující netěsnosti, které nelze ihned odstranit, nebo vznikly jiné oblasti ohrožení vyvolané poruchami, pak je třeba, aby osoby neodkladně opustily tyto oblasti. Nebezpečnou oblast je třeba omezit, vyznačit a monitorovat,
- nebezpečné oblasti mohou být zpřístupněny jen tenkrát, když jsou tyto práce povoleny jen pro oprávněnou osobou a práce v nebezpečné oblasti jsou provedeny s potřebným bezpečnostním opatřením,
- potřebný souhrn opatření u předvídatelných provozních poruch je třeba stanovit v předstihu alespoň jedné hodiny.

**Provozní bezpečnost ovlivňující časově závislá poškození**

Provozní parametry existující během provozu v tlakovém zařízení jsou hlavními ovlivňujícími parametry pro průběh časově závislých poškození. Pro sledování a posouzení stavu poškození může to být proto žádoucí sledovat provozní parametry po dobu provozu.

U cyklicky zatížených složek zařízení jsou sledovány změny zatěžování (počet, amplitudy), aby se mohlo vytvořit srovnání mezi projekčními údaji a nahromaděnými provozními údaji.

**Časově závislá poškození jsou vyvolána:**

1. Vnitřní korozi působením korodující účinné látky (médiu), příp. ovlivněná teplotou a mechanickým zatížením.
2. Vnější korozi atmosférickou vlhkostí, kondenzátem, dlouhodobou / trvalou vlhkostí u izolace při ohřevu nebo chlazení.
3. Možnými mechanismy koroze:
4. bodová, lokální koroze u nelegovaných nebo nízkolegovaných ocelí,
5. eroze,
6. styková příp. selektivní koroze,
7. koroze ve spáře,
8. inter- / mezi-krytalická koroze,
9. důlková koroze,
10. napěťová trhlinová koroze,
11. vysokoteplotní koroze (např. nauhličení, nitridace, teplé taveniny).
12. Erozi:
13. vnitřní erozi při erozivních vlastnostech média, vysokých rychlostech proudění,
14. vnější erozi vyvolanou např. podílem popelovin v kouřových plynech.
15. Kavitaci vyvolanou tvorbou parních bublin a jejich rozpadem za armaturami nebo ve skříních čerpadel.
16. Časový poškozením v oblasti vysokých teplot v důsledku vznikem pórů, řetězcem pórů nebo drážek u vysokotlakých kotlů nebo potrubí s ostrou parou častým proměnným zatížením teplotou nebo tlakem.
17. Poškozením při kmitání (únavou) v důsledku častým měnícím se tlakovým / teplotním zatížením nebo cyklickým vnějším působením.
18. Křehnutím kovových materiálů v důsledku vyšších zatížení médií s obsahem vodíku, vylučováním zkřehlých fází, při počátečním zkřehnutí, při hlubokých teplotách
19. Stárnutím umělých hmot, např. UV-zářením, při superpozici různých mechanismů poškození vzniklých podle předchozích bodů.

## Úniky médií při technicky těsném a při trvale technicky těsném spoji

### 1. Netěsnosti na uzávěrech a rozebíratelných spojiích se statickými těsnicími prvky:

- a) na poškozených těsnicích prvcích nebo těsnicích plochách, zejména u pohyblivých linek (hadice a potrubí s klouby), jestliže tím není již zaručen bezpečný spoj a tím technická těsnost,
- b) nevhodné těsnění vůči médiu nebo vnějším účinkům (např. možné napadení korozí na šroubech vlivem okolí),
- c) těsnění ovlivněné stárnutím nebo časově závislými změnami těsnění, např. sedáním, křehnutím,
- d) nedovolené zatížení těsnicích prvků, např. neúnosným materiálem nebo odchylkami určujícím způsobem provozu,
- e) chyby montáže, např. nejsou-li správně použity konstrukční prvky uzávěrů (např. chybným utahovacím momentem) nebo když byla použita nedovolená napětí chybnými body naražení, která vedou k deformacím,
- f) teplotní rázy, např. při plnění beztlakových nádrží zkapalněnými plyny nebo při nesprávném vstupu studených tekutin do částí zařízení, pokud nejsou těsnění, příp. části zařízení navrženy pro vzniklé hluboké teploty.

### 2. Úniky médií při otevření částí zařízení v důsledku:

- a) nerozpoznatelný přetlak na částech otevírání,
- b) dodatečná likvidace ucpání u již otevřených tlakových zařízení,
- c) příliš velké odebírané množství z míst odběru vzorků,
- d) nesprávná obsluha u armatur, které nejsou napojené na uzavřený systém,
- e) zdržovaný výstup zbytkových kapalin, např. sifonových účinkem nebo tvoření pytlů po nahromadění na nejnižších místech potrubí,
- f) spontánní odpar kapalin po snížení tlaku, např. přehřátím kapaliny.

### 3. Vývod z pojistných ventilů, pojistných membrán, tlakově odlehčených klapek, odvzdušňovacích a odlehčovacích potrubí s tím, že:

- a) nebezpečné koncentrace na pracovišti u látek a přípravků s charakteristickými vlastnostmi podle vyhlášky 402/2011 Sb.,
- b) překročení uznaných mezních hodnot do atmosféry, u látek a přípravků podle uvedené vyhlášky (např. hodnoty podle IDLH (Immediately Dangerous to Life and Health), AEGL-2 (Acute Exposure Guideline Levels) nebo ERPG-2 (Emergency Response Planning Guidelines),
- c) tvorba výbušné atmosféry,
- d) přívod u látek bez charakteristických vlastností podle uvedené vyhlášky (např. vytlačení vzdušného kyslíku inertními plyny),

### 4. Výbuch / deflagrace ve spalovacím zařízení tlakových zařízení, v důsledku:

- a) nahromadění hořlavých plynných nebo prachových / vzdušných směsí v topeništích a kouřových spalinových tazích tlakových zařízení, které mohou vyvolat výbuch/deflagraci.

