Oponentní posudek habilitační práce

Název habilitační práce:
Prevádzková bezpečnosť tlakových potrubí

Autor:
Ing. Vladimír Chmelko, Ph.D.

Obor habilitace:
5.1.7 Aplikovaná mechanika

Oponent:
doc. Ing. Miloslav Kepka, CSc.
Regionální technologický institut a Katedra konstruování strojů
Fakulta strojní
Západočeská univerzita v Plzni
kepkam@rti.zcu.cz, tel.: +420 604 831 035

Na základě jmenování a pokynů obdržených od předsedy Vědecké rady Strojní fakulty Slovenské technické univerzity v Bratislavě (dopis č. OKR-5702/2018) jsem vypracoval oponentní posudek habilitační práce pana Ing. Vladimíra Chmelka, Ph.D. (dále také „autor“) s názvem **Prevádzková bezpečnosť tlakových potrubí**.

Výtisk habilitační práce společně s Protokolem o kontrole jsem obdržel s dostatečným předstihem. Postupně se vyjadřuji k různým aspektům práce, na závěr k jejímu významu pro vědu a hodnotím její aktuálnost a společenský přínos.

Struktura a obsah posuzované habilitační práce

Habilitační práce má 70 stran, obsahuje 59 obrázků a 18 tabulek, odkazuje se 28 odborných zdrojů. Jednotlivé kapitoly na sebe logicky navazují, práce obsahuje teorii, v drtivé většině původní analytické výpočty, výpočty metodou konečných prvků a originální laboratorní experimenty.

V úvodní kapitole práce jsou uvedeny analytické vztahy pro řešení pružně-plastického stavu tlakové válcové nádoby. Skutečná materiálová tahová křivka je nahrazena bilineárním modelem.

Druhá kapitola se zabývá určením destrukčního tlaku tlustostěnné nádoby. Kritériem destrukce je dosažení meze pevnosti naměřené při jednoosé tahové zkoušce (ocel St 52-3). Všeobecná napjatost nádoby se převádí na redukované napětí s využitím hypotéz Tresca a HMH (Huber-Mises-Hencky). Pro potrubí s vnitřním průměrem 143mm a tloušťkou stěny 4mm byly analytické vztahy pro destrukční tlak dle kritéria HMH a Tresca verifikované s numerickým řešením pomocí metody konečných prvků (MKP) a s experimentálním měřením destrukčního tlaku experimentální tlakové nádoby (2 zkušební vzorky) až do jejího porušení. Zkušební nádoby byly vyrobeny soustružením originálního potrubí až na uvedené rozměry vnitřního průměru a tloušťky stěny a dále přivařením horního a spodního dna. Pro samotnou zkoušku byl navržen originální zkušební stend, který pro postupné zatěžování zkušebních nádob vnitřním přetlakem chytře využil dodávky tlakového oleje ze stávajícího elektrohydraulického zatěžovacího systému. Za podstatný výsledek této části práce lze považovat ověřenou shodu analytického a numerického řešení a velmi dobrou shodu s experimentem. Dále pak větší přiléhavost výpočtů s experimentem při použití hypotézy HMH pro určení dosažení mezního stavu posuzované nádoby.

Za technicky nejpodstatnější a z vědeckého i praktického hlediska nejpřínosnější považuji třetí kapitolu. Ta se věnuje vlivu plošné koroze na provozní spolehlivost potrubí. V této kapitole je pro přesně definovaný plošný defekt se 3 různě velkými úbytky tloušťky stěny (24%, 35%, 75%) stanovena bezpečnost dostatečně dlouhé tlakové nádoby a to 3 metodikami. Destrukční tlak je odvozen podle norem (ASME B31G a DVN-RP-F101), vypočten MKP a naměřen při experimentu na stendu, který byl využit již při zkoušce nádob bez defektů. Výzkum potvrdil očekávanou bezpečnost postupů podle norem a dobrou shodu numerických simulací s experimentálně naměřenými hodnotami. Přijatelné odchylky 6,5%, 10% a 11% přitom leží na bezpečné straně vůči zjištěné skutečnosti.
V reálné situaci (pomineme-li potrubí s výrazně pulsujícím tlakem) je situace opačná oproti provedeným experimentům. V potrubí působí přibližně konstantní tlak a korozní defekt postupně narůstá. Takový experiment by ani nebylo možné jednoduše zrealizovat. Není to ale nutné, jak je doloženo v posuzované habilitační práci.
Ověřené numerické postupy byly využity pro sérii parametrických výpočtů zvoleného potrubí s plošným defektem a měnícím se oslabením tloušťky stěny. Pro různé provozní tlaky a různá oslabení potrubí byly spočítány hodnoty nominálních napětí ve stěně potrubí a lokální napětí v místě defektu. Závislosti mezi těmito veličinami, jejichž hodnoty jsou přesně uvedeny v tabulkách, byly znázorněny graficky a slovně interpretovány. Uvedeným postupem lez vytvářet jakési nomogramy, ze kterých lze odečítat hodnoty k posouzení bezpečnosti daného potrubí s daným vnitřním tlakem a korozním defektem určitých plošných rozměrů a hloubky.

Ve čtvrté kapitole se autor zabývá jamkovou (důlkovou) korozí a to vzájemným ovlivňováním korozních jamek uspořádaných jak ve směru osy potrubí, tak po obvodě potrubí. Výsledky numerických simulací potvrdily, že špičkové napětí se prakticky nemění s rostoucí vzdáleností korozních vad a mění se jen s rostoucí hloubkou defektu. Tyto korozní vady se vzájemně ovlivňují především v závislosti na geometrii jednotlivých defektů a tento vliv zaniká už při malé vzdálenosti těchto defektů, srovnatelné s rozměry defektů. Numerické simulace ověřily známou skutečnost, totiž že jamková koroze má menší vliv na integritu potrubí než plošná koroze. Pakliže se dle normativního postupu jamkové defekty slučují do plošných defektů, je takový postup silně konzervativní.

Jako shrnutí klíčových poznatků z kapitol předchozích (především ze třetí kapitoly), byl vytvořen model skutečného potrubí DN1200x13,6, což je kritický rozměr potrubí tranzitního plynovodu. V plášti potrubí byl modelován poměrně velký plošný defekt (300 x 145 mm) a jeho hloubka se měnila krokem 1mm až 10mm, při zatížení hodnotami reálných tlaků v potrubích tranzitního plynovodu (6MPa, 7MPa, 8MPa). Pro konkrétní případ byly vypočteny, tabulkově doloženy a vykresleny obdobné závislosti jako ve třetí kapitole. Závěrečná kapitola dokládá, že lze (na základě experimentálně ověřených numerických simulací) vytvořit praktické diagramy, které by umožnily posouzení bezpečnosti provozu potrubních úseků s oslabenou stěnou pro různé geometrie korozních defektů a rozměry potrubí. Takové posouzení by bylo reálnější než posouzení podle platných normativních předpisů. Nasazení takového vědecky založeného postupu nepřipadá do úvahy namísto platných norem, ale určitě je to postup využitelný v případě operativního posouzení havarijních nálezů korozního poškození potrubí.

Vědecká úroveň, formy a metody zpracování

V předkládané práci je podrobně analyzován napěťově-deformační stav válcové nádoby zatížené vnitřním tlakem způsobujícím napětí nad mezí kluzu. Pružně plastický stav tlakové nádoby je zpracován pro bilineární model materiálu se zpevňováním. Oslabení stěny potrubí korozním napadením je řešeno i numericky s využitím metody konečných prvků. Způsobu modelování je věnována patřičná pozornost. Numerické simulace a jejich výsledky jsou konfrontovány s poměrně složitými (částečně i nebezpečnými) experimenty a naměřenými hodnotami. Hodnoty v tabulce 1 na str.20 jsou sice jasné, ale autor je mohl v textu podrobněji komentovat. Osobně považuji výsledky experimentů za nejcennější část hodnocené habilitační práce.

Metodicky je přístup k hodnocení bezpečnosti tlakových potrubí v habilitační práci logicky členěn, od analytického řešení, přes stručné představení normativních předpisů a řešení korozních úbytků tloušťky stěny dvou druhů - plošnými defekty a důlkovou korozí. Výsledky velkého množství nelineárních počítačových simulací ve formě diagramů s promyšlenou informační hodnotou, jakož i odvozené analytické řešení hodnoty destrukčního tlaku pro tlakovou válcovou nádobu jsou originální a představují hlavní vědecký přínos práce. Tento přínos podtrhuje experimentálních měření vzorků potrubí až do destrukce v laboratorních podmínkách. Práce po formální i obsahové stránce splňuje podmínky pro habilitační práci.

Aktuálnost posuzované habilitační práce

Předkládaná práce je zaměřena na oblast provozní bezpečnosti potrubí zatížených vnitřním tlakem a ohrožených vznikem korozního poškození. Z obsahu habilitační práce je zřejmá orientace na potrubí plynovodů. Výsledky je možné použít na všechny potrubí přepravující uhlovodíky, tlaková potrubí v energetických zařízeních a chemických provozech. V dané oblasti se při projektování i při posuzování provozuschopnosti tlakových potrubí používají prakticky výlučně normativní předpisy zakotvené v normách ASME, DNV, případně jiných. Vzhledem k poměrně vysoké míře konzervativnosti těchto přístupů, která je v práci i experimentální prokázaná, je téma práce i samotný její obsah vysoce aktuální.

Provoz tlakových potrubí s korozním úbytkem tloušťky stěny je a bude v našich zemích stále častěji posuzovaným případem, neboť „naše“ plynovodní potrubní systémy jsou v provozu již několik desetiletí. Myšlenka vytvoření diagramů, které umožňují pro jmenovitý tlak zjistit hodnotu destrukčního tlaku při známém rozměru a hloubce korozního defektu je tedy společensky velice aktuální a má významný aplikační potenciál. Což ostatně již v nedávné době ocenil jak Slovenský plynárenský a naftový svaz a v roce 2016 i Český plynárenský svaz.

Dotazy

K posuzované habilitační práci mám následující připomínky a otázky na jejího autora:

1) Pojem vrubový součinitel definovaný rovnicí (3.6) bych v případě korozní vady dával do uvozovek, nebo se snažil najít jiný název. Myslím, že to není vrubové součinitel v tom smyslu, jak se používá v oblasti únavové životnosti konstrukcí.

2) K jakým výsledkem by vedlo použití normativních předpisů při uvažování nulových rozměrů korozního defektu? Dali by se tyto výsledky srovnat s odvozenými analytickými řešeními pro destrukční tlaky?

3) Pouze u obrázků popisujících použité materiálové modely (Obr. 1.1 na str. 7 a Obr. 3.8 na str. 29) je zmíněna ocel St 52-3. Byl ve všech kapitolách práce (při tahových zkouškách, při výrobě experimentálních nádob, při parametrických výpočtech) aplikován vždy stejný materiál? Platí závěry práce i pro jiné typy ocelí?

Závěrečné hodnocení

Habilitační práce pana Ing. Vladimíra Chmelka, Ph.D. s názvem **Prevádzková bezpečnosť tlakových potrubí** je syntézou současné úrovně poznání doplněnou o vlastní přístup autora k dané problematice. Habilitační práce je původní, rozsahem je adekvátní. Text je sice stručný, ale výstižný a přehledný. Chtěl bych ocenit, že autor se cíleně věnuje této společensky významné problematice, systematicky rozvíjí a interpretuje svoje poznatky a názory. Autor habilitační práce může i do budoucna významně přispět k výchově studentů magisterského a doktorského studia v této oblasti.

Pan Ing. Vladimír Chmelko, Ph.D. podle mého názoru splnil závazná kritéria pro jmenování docentem na Strojní fakultě STU v Bratislavě a zpracováním habilitační práce s názvem „*Prevádzková bezpečnosť tlakových potrubí*“ prokázal dostatečné teoretické znalosti i praktické zkušenosti a proto mu může být udělen akademický titul „docent“.

V Plzni, 29. 8. 2018

Oponent:

Ing. Miloslav Kepka, CSc.

Digitálně podepsal Ing. Miloslav Kepka, CSc.
DN: c=CZ, 2.5.4.97=NTRCZ-75173727, o=Doc. Ing. Miloslav Kepka, CSc. [IČ 75173727], ou=1, cn=Ing. Miloslav Kepka, CSc., sn=Kepka, givenName=Miloslav, serialNumber=P35169
Datum: 2018.08.29 08:33:49 +02'00'

……..

doc. Ing. Miloslav Kepka, CSc.
Regionální technologický institut a Katedra konstruování strojů
Fakulta strojní
Západočeská univerzita v Plzni