



OPONENTNÍ POSUDEK

habilitační práce

Ing. Vladimíra Chmelka, PhD.

PREVÁDZKOVÁ BEZPEČNOST TLAKOVÝCH POTRUBÍ

V Praze dne 6. 9. 2018

Vypracoval : **Prof. Ing. Milan Růžička, CSc.**

1. Úvod

K posouzení byla předložena habilitační práce Ing. Vladimíra Chmelka PhD., vypracovaná na Strojnické fakultě Slovenské technické univerzity v Košicích. Práce se zabývá problematikou bezpečnosti proti porušení u potrubí zatíženým vnitřním přetlakem při možném korozním napadení (s oslabenou tloušťkou stěny). Práce o rozsahu 70 stran textu je rozdělena do 5-ti kapitol.

2. Aktuálnost tématu, cíle práce a jejich naplnění, zhodnocení přínosu habilitační práce pro obor

Ačkoli je problematice bezpečnosti při provozování plynovodů a jiných potrubních tlakových systémů věnována pozornost již mnoho desítek let, stále je tato problematika v pozornosti provozovatelů (a to je samozřejmě v pořádku). Provozní podmínky a různorodost kombinace různých vlivů, totiž může přinášet situace, které dosud nejsou spolehlivě výpočtově zvládnuty nebo realizovány. Jedním z nich je i posuzování přípustnosti nebo mezních rozměrů možných korozních napadení ve formě lokálních ztenčení stěny potrubí (plošných defektů) nebo mikro a makro trhliny (např. ve svarech nebo při povrchu stěny potrubí) stejně jako indentů, tedy lokální změny kruhovitosti potrubí (např. otlakem na tvrdém podloží atp.). Všechny tyto stavy vyvolávají koncentrace napjatosti, které mohou vyčerpat statickou, případně únavovou odolnost materiálu potrubí. Práce přispívá k objasnění jednoho z těchto problémů, a proto zvolené téma práce hodnotím jako vhodné a aktuální.

Cíle předkládané habilitační práce nejsou explicitně formulovány, z kontextu úvodu i kapitol řešení je však zřejmé, že hlavním cílem práce je navrhnout a ověřit metodiku, jak posoudit míru bezpečnosti provozovaných potrubí, tj. pro daný stav potrubí (s vadou) umět odhadnout velikost destrukčního tlaku pomocí numerických (konečně-prvkových) výpočtů.

Tento cíl hodnotím jako smysluplný, vzhledem k možnostem pokročilé diagnostiky a elastoplastických MKP modelů získat a vymodelovat reálné tvary defektů, stanovit pole napětí a deformací a posoudit tak stav potrubí pro konkrétní individuální tvarovou anomálii nebo defekt jednoduchého tvaru. Mohu konstatovat, že v tomto uvedeném smyslu, se cíle práce podařilo autorovi naplnit. Proto pokládám habilitační práci pro metodiku posuzování bezpečnosti potrubních systémů jako přínosnou.

3. Vyjádření k obsahu práce, postupu řešení, použitým metodám

V první kapitole se autor věnuje analytickému řešení napjatosti v tlakové válcové nádobě s použitím bilineárního materiálového modelu. Taková řešení již byla odvozena, autor se na ně i odvolává (viz Pešina, lit [2]). Autor uvádí porovnání jím odvozeného vztahu s citovanou literaturou. V této souvislosti si dovoluji položit otázku, která je označena níže pod dotazem č.1. Bilineární model je popsán rovnicí (22). Další dotaz na tento model obsahuje otázka č 2 uvedena níže.

V kapitole č.2 je nejprve ukázáno odvození destrukčního tlaku pro tlustostěnnou nádobu. Z postupu není oponentovi zcela zřejmé odvození vztahu (35) pro redukované napětí, a proto uvádí níže dotaz č. 3. V téže kapitole je dále popsáno numerické řešení destrukčního tlaku tenkostěnné nádoby pomocí komerčního softwaru (Ansys) a experimentální ověření na (zmenšeném) vzorku tlakové nádoby. Porovnání výsledků ukazuje dobrou shodu vypočtených a experimentálních hodnot.

Kapitola 3 se věnuje výpočtovému i experimentálnímu vyšetřování únosnosti tenkostěnných nádob s lokálním úbytkem tloušťky stěny. Nejprve jsou zmíněny standardy obsahující analytické výrazy pro stanovení mezních (dovolených) hodnot tlaků v potrubích, konkrétně ANSI//ASME B31G a DNV-RP-F101. Autor uvádí příklad stanovení destrukčních tlaků pro potrubí s různou velikostí oslabení tloušťky stěny. Protože pracuje s konkrétními rozměry (zde průměr potrubí 143 mm, později (v kap. 4) s velkými průměry 1186 mm, bylo by vhodné v tabulkách kromě absolutních hodnot uvádět rovněž relativní ztenčení tlouštěk poměrem d/t , které se vyskytuje jako výraz v normách. Autor v diskusi výsledků výpočtů (analytických dle standardů, MKP, a experimentů) hovoří (např. na str. 32) o konzervativnosti predikce podle norem (ANSI/ASME B31G, DNV-RP-F101). Přitom uvádí, že hodnoty destrukčních tlaků jsou např. pro ASME normu o 30% nižší, než jsou mezní tlaky při experimentu. Nejsem si v tomto kontextu jistý, zda autor zná skutečnost, že norma ANSI/ASME B31G záměrně uvažuje a „konstruuje“ mezní křivky jako tzv. „bezpečné“, tj. aby tečné napětí ve vadě při provozu nepřesáhlo 72% meze kluzu materiálu (tomu odpovídá součinitel bezpečnosti cca 1,39, viz lit [20], s odkazem na původní publikace [7], [8] citované ve [20]). Kapitola 3 je zakončena porovnáním výsledků experimentálně zjištěných a predikovaných tlaků uvedených v tab. 3.8. Postrádám zde diskusi nebo dílčí závěry kapitoly k řešené problematice a k uvedeným výsledkům.

Čtvrtá kapitola je věnována modelování a výpočtům potrubí s jamkovými korozními defekty. Autor si zvolil dvě porovnávané konfigurace „plošných polokruhových vybrání“ s úbytkem tloušťky stěny umístěné s danou roztečí jak v osovému směru potrubí, tak ve směru tečném. Na pracovišti oponenta byla v minulosti provedena celá řada experimentů a výpočtů na potrubích s umělými vadami, simulujícími modelové i reálné provozní korozní poškození a rovněž byly vyvinuty a verifikovány predikční metody pro odhad destrukčních tlaků potrubí s vadami. Předpokládám, že autor byl obeznámen s metodikou ČVUT, neboť uvádí v seznamu literatury většinu klíčových výzkumných zpráv vč. zveřejněných publikací. I přes tyto zkušenosti si oponent nemyslí, že práce jsou „uzavřeny“ a naopak vítá další tvůrčí autorovo rozšíření poznatků o problematice.

I pro tuto kapitolu však musím vznést opět kritickou poznámku k nutnosti uvádění poměrových veličin namísto absolutních, např. pro vzdálenost mezi defekty, např. vztaženou na nominální tloušťku stěny potrubí. Právě jistý kritický násobek poměrné šířky můstků mezi důlkovými vadami se ukázal na ČVUT mezních křivkách jako důležitý parametr, kdy je možné vady posuzovat zvlášť a kdy spolu interagují v elasto-plastické oblasti do té míry, že to výrazně ovlivní délku plastické zóny a podstatně sníží destrukční tlak. V tomto směru jsem však ve habilitační práci stanovisko, jak hodnotit interakci vad (pro ověření našich hypotéz), nenašel. **Mohl by autor případně doplnit, k jakým závěrům v tomto směru došel a u obhajoby je uvést?**

Při obhajobě by také mohlo být diskutováno, zda tvar „zářezu“ (navíc orientovaný „rohem“ ve směru osy potrubí) je vhodným tvarem pro napodobení reálného korozního poškození. Jak oponent na haváriích plynovodů poznal, jsou geometrie vad velmi různorodé a tvarově složité, většinou však při velkoplošném (tj. nikoli pittingovém) poškození má vada poměrně povolvný rádius přechodu do ztenčené části. To však při simulacích vede k tomu, že plastická zóna není úzce lokalizovaná, jak tomu dochází i typu vad s „ostrým“ rohem, modelovaných v habilitační práci. Naopak zóna je rozsáhlejší a při interakci s dalšími vadami hrozí při jejím prorůstání do sousedního defektu ke kvalitativně náhlému nárůstu délky plastické oblasti a k rychlému plastickému kolapsu a destrukci stěny potrubí. V takovém případě autorem aplikované pevnostní kritérium, že k poruše dojde v okamžiku, kdy maximální napětí ve vadě dosáhne skutečné meze pevnosti, neplatí a autorova teorie by, podle oponenta, nevedla k úspěšné predikci. Protože však není časový ani finanční prostor k výpočtům pro případ v práci uvedený, je to oponentův názor, který numericky neověřoval.

Kap.5, jako závěrečná kapitola, uvádí shrnutí poznatků a dle mého názoru má formulovat metodiku doporučeného navrhování. V kontextu s výše uvedeným komentářem, bych si však představil trochu zobecněný popis s danými „doporučeními“ případně „algoritmem“ resp. vývojovým digramem nebo schématickým grafem, jak je metodika pojata a jaké obsahuje jednotlivé kroky. To může totiž praxi dát v jednoduché podobě náhled na poměrně složitý problém numerických výpočtů a jejich vyhodnocování a může být prezentováno pro „zákazníky“. I v této kapitole postrádám vyjádření v relativních veličinách. Uvedené doporučení „metodiky“ (obr. 5.9), který vidím jako jeden z hlavních výsledků práce, je totiž jen příkladem řešení jednoho případu plošné vady, navíc pro čtenáře velmi nejasně definované geometrie, viz poslední „formální připomínka/poznámka“ uvedená níže.

4. Stanovisko k výsledkům a přínosu habilitační práce

Těžiště vlastní tvůrčí práce leží v kapitolách 4 a 5, kde je analyzována elasto-plastická napjatost na plošných vadách a formulována metodika pro predikování mezního tlaku. Autor přichází s ideou možného rychlého vyhodnocení konkrétních tvarů korozních vad (určených např. z diagnostických metod) a uplatněním kritéria mezního stavu napjatosti ve vadě, za které považuje lokální dosažení meze skutečné pevnosti materiálu. Stanovisko oponenta k poněkud omezené platnosti tohoto kritéria již zaznělo výše.

Dotazy k práci a náměty do diskuse:

1. V čem byly odlišné předpoklady autorova odvození vztahu (27), když došel k jinému výsledku pro stavení napjatosti v elasto-plastickém stavu nádoby, než uvádí lit [2]?
2. Mohl by autor blíže ukázat, jak došel odvozením k výrazu pro bilineární model, popsany rovnicí (22), ze které dále odvozuje průběh napětí v nádobě v elasto-plastickém stavu?
3. Mohl by autor blíže ukázat, jak došel odvozením k výrazu pro redukované napětí uvedenému v rovnici (35), ze které dále odvozuje destrukční tlak?

4. Na str. 30 dole a na obr. 3.11 je popsán a uveden průběh deformace nádoby ve vrubu (v defektu) a mimo vrub. Z popisu není patrné, jak byla hodnota určena, zda byl užit tenzometrický nebo jiný způsob měření poměrných prodloužení při experimentu. Může autor doplnit v diskusi?
5. Jak je určován součinitel koncentrace napětí α v rov. (3.6) (oponentem nazývaný v elastické oblasti „součinitelem tvaru“), z hodnot tečných napětí nebo redukovaných napětí? – v práci jsem nenašel popis. Tento součinitel je v práci nepřesně nazýván „vrubovým součinitelem“, což je spíše pojem užívaný pro efektivní dopad „součinitele tvaru“ na mez únavy vrubovaného vzorku.

5. Vyjádření k systematicke, přehlednosti, formální úpravě a jazykové úrovni práce

Práce má standardní formální úpravu, které lze sice vytknout drobné vady (např. až 3 různé formáty v popisech legendy tabulek – např. tab. 4.2 aj., ale to neubírá na její kvalitě, že je psána výzkumníkem s rutinou psaní výzkumných zpráv. Několik nalezených překlepů nebo nejasností nesnižuje její hodnotu. Zejména bych doporučil korigovat

- Str. 11 posl. řádek má být „...podľa obr. 1.4“ nikoli „obr. 1 a 4“.
- Obrázky č 2.4 a 3.8 jsou totožné a duplicitní uvedení v práci je matoucí, postačí vhodný odkaz.
- Str. 32 pod rov. (3.5) má být odkaz na tab. 3.4 nikoli 3.3.
- Str. 36 posl. ř. uvádí „V takejto situácii je potom pomer maximálneho napätia voči normálovému vlastne mierou bezpečnosti pre danú hĺbku koróznej vady.“ V habilitační práci bych očekával, že nedojde k zaměňování pojmů „maximální napětí“ namísto „mezní napětí“ a „normálové napětí“ namísto „nominálního napětí“. Uvádět, že součinitel koncentrace napětí α vyjadřuje bezpečnost je totiž velmi matoucí, neboť to platí jen pro jeden uvažovaný případ simulace, kdy špičkové napětí ve vadě dosahuje meze skutečné pevnosti materiálu (a to vše jen za předpokladu platnosti kritéria mezního stavu, které autor zvolil).
- Podobně nepřesné je vyjádření na str. 38, že „Dovolené napätie je skutočné napätie získané priamo z ťahovej zkúšky..., tj. je rovné skutočnej medzi pevnosti...“ Studenty učíme, že v „dovoleném napětí“ je uplatněn součinitel bezpečnosti, což ovšem odpovídá i později autorem uvažované metodice.
- Str. 54, chybný popis obr. 4.13, je uvedeno 1.13.
- Nevýhodou výtisku, který měl oponent k dispozici je jeho černobílá verze, ve které se řada barev zobrazovaných křivek v grafech vůbec nezobrazí, takže není možno sledovat jejich průběh (např. obr. 3.15 -3.19 a další). Bylo by vhodné zvolit jiné odstíny v grafech a vyzkoušet černobílý tisk. Podobně se na černobílých reprodukcích obrázků MKP výpočtů obtížně hodnotí pole napjatosti mezi defekty a oblasti rozvítých plastických deformací, které jsou důležité pro volbu kritérií poškození. Je však vinou oponenta, že včas nepožádal o originální výtisk.
- Namísto obr. 5.3, který je již uveden pod číslem 4.5 bych doporučil uvedení obrázku zobrazujícího geometrii defektu 300x145, který byl simulován ve výpočtu a je, dle mého názoru, nejasně popsán (jaký byl přechodový rádius do stěny potrubí, jedná se také o „plošný zářez“ s ostrým rohem?).

6. Vyjádření k publikacím habilitanta

Habilitant v seznamu literatury uvádí jednu publikaci č [8] (kde je hlavním autorem). Mohl by autor doplnit, zda výsledky práce uvedené v habilitaci byly již publikovány, případně uvést další publikace, kde je autorem nebo spoluautorem z dané nebo příbuzné oblasti výzkumu?

7. Závěrečné hodnocení

Habilitační práce Ing. Vladimíra Chmelka PhD. Řeší aktuální problematiku predikce destrukčních tlaků a bezpečnost potrubí zatížených vnitřním přetlakem. Autor navrhnul vlastní metodiku založenou na hodnocení elasto-plastického stavu napjatosti v plošných defektech, kterou na jednoduchých případech defektů experimentálně ověřil. Metodika dává dobré výsledky pro oblast plošných defektů s „malou plastickou zónou“. Ačkoli bude mít omezené použití, umožní hodnotit reálný stav potrubí s podobnými tvary reálných defektů. V tomto kontextu je práce přínosná pro praxi. Doporučuji, aby v případě uspokojivých odpovědí na dotazy oponenta a úspěšné obhajoby, mohl uchazeč pokračovat v habilitačním řízení.

Milan Růžička