



## DESTRUKČNÍ ZKOUŠKY DÁLKOVÝCH PLYNOVODŮ -SROVNÁNÍ VÝSLEDKŮ EXPERIMENTŮ, VÝPOČTŮ A STANDARDŮ

### BURST TESTS OF TRANSIT PIPELINE -COMPARISON OF EXPERIMENTAL AND COMPUTATIONAL RESULTS WITH STANDARDS

F.Valenta, J. Michalec, M. Sochor, M. Růžička, M. Španiel

*The dimensions of critical defects investigated theoretically and verified experimentally are being compared with U.S. standard ANSI/ASME recommendation in the paper. The comparison exhibits a certain ANSI/ASME conservatism.*

Výzkum zaměřený na určování a ověřování provozuschopnosti dálkových plynovodů napadených korozi probíhá na naší katedře po několika liniích. Především jde o matematické zpracování dané problematiky, která umožní okamžité výpočtové posouzení zbytkové únosnosti dané trubky se zjištěnou korozi vadou. Výsledky teoretických výpočtů jsou verifikovány experimentem a jsou porovnávány mezní stavy potrubí s vadami dle různých světových standardů. Nejpoužívanější normou je v plynárenské praxi americká ANSI/ASME, která byla na naší katedře podrobně studována z hlediska efektivnosti.

Tento předpis ANSI/ASME B31G-1984 "Manual for Determining the Remaining Strength of Corroded Pipelines" vychází z lomové mechaniky semieliptické povrchové trhliny v nádobě, jak ji formuloval Folias [1] s uvážením plastické zóny na čele trhliny a z empirické analýzy výsledků experimentálních pevnostních zkoušek čtených potrubí, shrnutých Maxeyem [2]. Rovnice

$$S_t = 1.1 R_e \left\{ (1 - 2/3 d/t) / (1 - 2/3 d/t 1/M) \right\} \quad (1)$$

predikuje mezní tečné napětí potrubí o průměru  $D$ , o tloušťce stěny  $t$  z materiálu o mezi kluzu  $R_e$ , na kterém je plošná vada axiální délky  $L$  s maximální hloubkou  $d$ . Foliasův korekční faktor  $M$  respektuje koncentraci napětí na čele trhliny v důsledku dekomprese. Podle citované normy je defekt akceptovatelný, pokud jeho axiální průmět  $L$  bude menší nebo roven mezní hodnotě dané rovnicí

$$L = 1.12 B (D t)^{1/2} \quad (2)$$

kde veličina

$$B = \{[(d/t)/(1.1 d/t - 0.15)]^2 - 1\}^{1/2} \quad (3)$$

Pokud nalezený defekt je větší než defekt mezní, musí být snížen maximální přípustný provozní tlak potrubí nebo musí být vada opravena.

Zkušenosti ukazují, že tento předpis je dosti konzervativní, jak ukazuje též porovnání na obr. 1. Proto byla na naší katedře rozpracována metoda výpočtu tzv. efektivní plochy podle upraveného kritéria ANSI/ASME podle [3], která dává méně konzervativní výsledky.

Uvedené mezní délky defektů podle rovnice (2) pro potrubí DN 800,  $t = 10,6$  mm, z materiálu X 60 jsou vyneseny v grafu na obr. 1 pomocí čáry označené ANSI/ASME. Na základě výpočtů a experimentů realizovaných naší katedrou za sponzorování Tranzitního plynovodu, k.p., byly zjištěny mezní rozměry vad při porušení [4]. Jsou uvedeny v témže grafu a označeny CTUP (Czech Technical University in Prague). Křížky v diagramu uvádějí dimenze těch vad, v nichž se iniciovaly lomy během destrukčních zkoušek. Číslo uvedené u každého křížku značí hodnotu odpovídajícího destrukčního tlaku  $p_d$  [MPa]. Pomocí tlusté plné čáry (CTUP-A) je vyznačena regresní křivka experimentálně ověřených výsledků s destrukčním tlakem  $p_d = 12,5$  MPa. Tato hodnota, která přesahuje mezní tlak napětového testu  $p_{pl} = 11,5$  MPa (určujícího počátek globální plastické deformace dané trubky bez defektů) signalizuje jistý zvýšený koeficient bezpečnosti potrubí s těmito defekty. Pro provoz plynovodu s provozním tlakem max.  $p = 7,5$  MPa se mohou za kritické považovat takové vady, jejichž destrukční tlak by byl roven zkušebnímu tlaku NT  $p_{pl} = 11,5$  MPa. Zkušenost z dosud uvedených experimentů i výpočtů totiž ukazuje, že při globálním elastickém chování trubky je rozvoj plastických deformací oslabených míst na trubce podstatně omezen i při značném úbytku materiálu trubky, jak do plošného rozsahu, tak i tloušťky stěny.

Křivka představující parametry vad s  $p_d = p_{pl} = 11,5$  MPa je zakreslena tlustou čárkovanou čarou (CTUP-B). Čára CTUP-B vychází z experimentálně zjištěných rozměrů vady o délce  $L = 310$  mm, úbytku tloušťky stěny  $c/t = 58\%$ , která je vyznačena na grafu : + 11,5 a jejíž destrukční tlak byl zjištěn experimentálně  $p_d = 11,5$  MPa. Další body této křivky, označené na grafu : . (11,5), byly určeny na základě numerické analýzy MKP.

Hlavní rozměry korozních defektů na potrubí mohou být nalezeny s jistou přesností pomocí elektromagnetického inspekčního ježka. Diagramy dané na obr. 1 mohou být doplněny užitím rozlišovací tolerance ježka, která může být přidružena ke každé křivce na diagramu. Takto lze najít pole přípustných dimenzí korozních defektů. Na obr.1 jsou toleranční pole přičtena ke křivce CTUP-B ( viz tenké čárkované křivky - čára B' a B'' ) .

Části potrubí s takovými defekty nevyžadují opravy, pouze periodické kontroly nebo technologickou operaci zastavující korozní proces. (Křivka vyznačená tenkou čerchovanou čarou představuje minimální citlivost inspekční sondy).

Z obr. 1 snadno zjistíme, že křivky CTUP dovolují zmíněné přípustné dimenze větší než křivka ASME. Toto konstatování je založeno na rozsáhlém dlouhodobém a nákladném teoretickém i experimentálním výzkumu našeho pracovního týmu. Plné využití uvedených výsledků přinese velké hospodářské úspory.

V předloženém porovnání mezních rozměrů vad dle ANSI/ASME a CTUP nebyl diskutován vliv šířky vad na mezní únosnost trubky (šířka uvedených vad je prakticky stejná, cca 150 mm).

Nezanedbatelný vliv absolutních rozměrů vad, a speciálně šířky vad, na mezní únosnost byl doložen na základě našich výpočetních metod a vyžaduje další experimenty [4], [5]. Staticky průkazné potvrzení vlivů všech parametrů vad na životnost potrubí bude vyžadovat v první fázi další serii destrukčních zkoušek realizovaných na trubkách stejných rozměrů a materiálu.

Literatura :

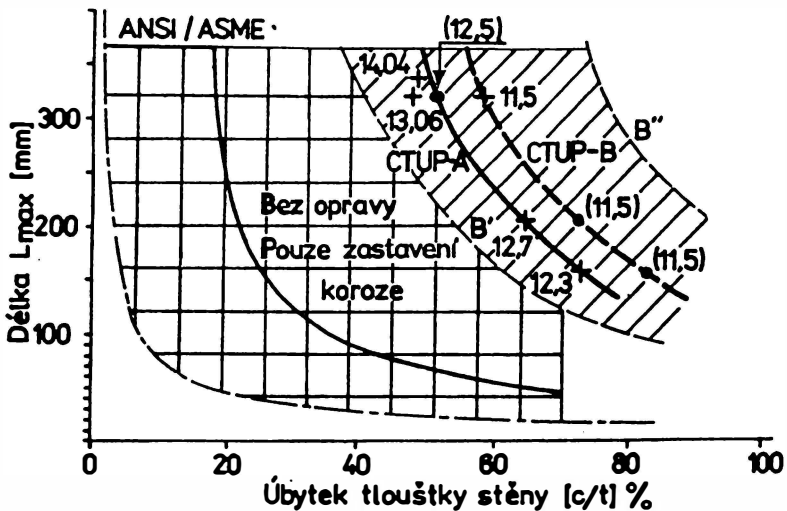
[1] Folias, E.S.: *A Finite Line Crack in a Pressured Cylindrical Shell. Int. J. Fracture Mech. 1 (1965) pp. 104-113.*

[2] Maxey, W.A. : *Ductile Fracture Initiation, Propagation and Arrest in Cylindrical Vessels, ASTM STP 518 (1972), pp. 70-80.*

[3] Kiefner, J.F.: *New Method Corrects Criterion for Evaluating Corroded Pipe. Oil & Gas Journal Aug. 6, 1990, pp. 56-59.*

[4] Valenta, F.- Sochor, M. et al: *Teoretická a experimentální analýza napjatosti v plošných vadách dálkových plynovodů. Výzkumné zprávy: 0690, 211-90-24, ČVUT Praha, 1990; 0790, 211-90-26, ČVUT Praha, 1990; 0691, 211-91-22, ČVUT Praha, 1991; 1091, 211-91-24, ČVUT Praha, 1991*

[5] Valenta, F.- Sochor, M.: *Remaining Pressure -carrying Capacity of Corroded Gas Pipelines. In: Workshop 93, Prague, January 18-21, 1993*



Obr. 1 : Porovnání mezních hodnot korozních vad zjištěných experimentálně se standardizovanou křivkou ANSI/ASME B 31G s vyznačením bezpečných dimenzí korozních defektů



Prof. Ing. František Valenta, CSc.; Doc. Ing. Jiří Michálek, CSc.;  
 Ing. Miroslav Sochor, CSc.; Ing. Milan Růžicka, CSc.;  
 Ing. Miroslav Španěl

Katedra pružnosti a pevnosti, strojní fakulta,  
 České vysoké učení technické v Praze,  
 Technická 4, 166 07 Praha 6  
 tel.: (02) 332 25 09  
 fax: (02) 311 27 68