

POSÚDENIE BEZPEČNOSTI A SPOĽAHLIVOSTI PREVÁDZKY PLYNOVODOV DN 700

TOMÁŠ VAŠKO - JÁN VIŇÁŠ

ASSESSMENT OF THE SAFETY AND RELIABILITY OF GAS PIPELINE DN 700

ABSTRAKT

V príspevku sú analyzované faktory vplyvajúce na spoľahlivosť a bezpečnosť potrubných systémov. Najnebezpečnejšími poruchami u rúrovodov sú trhliny. Tieto môžu vnikáť v základných materiáloch, vplyvom vnútorných chýb, resp. excentricity a rozdielnych hrúbok rúr, ale častejšou príčinou ich vzniku sú miesta zvarových spojov, prípadne koróziou poškodené povrchy. Prezentované sú požiadavky vrubovej húževnatosti, súčinitele napätia a metódy skúšania tesnosti potrubných systémov.

KLúčové slová: plynovodné potrubia, zváranie, trhliny, životnosť

ABSTRACT

The paper analyzed the factors affecting the reliability and safety of pipeline systems. The most dangerous defects in transmission pipelines are cracks. They can penetrate the base material, due to internal error, respectively. eccentricity and different thicknesses of tubes, but more often the cause of their formation are places of welded joints or corrosion damaged surfaces. Presented are the requirements impact strength, stress coefficients and methods for testing the tightness of pipeline systems.

Key words: gas pipeline, welding, cracks, lifetime

ÚVOD

Rúrovody na prepravu ropy a zemného plynu v dnešnom ponímaní sa používajú od počiatku priemyselnej ťažby týchto energetických surovín. Spočiatku sa používali na prepravu surovín, od miesta ťažby do rezervoárov resp. terminálov. Čoskoro sa ukázalo, že aj na diaľkovú dopravu ropy a zemného plynu sú potrubné systémy najvýhodnejším riešením tak z ekonomického, ako aj bezpečnostného hľadiska. Pravdepodobnosť havárií a ohrozenia životného prostredia pri železničnej a cestnej preprave je podstatne vyššia, ako pri preprave rúrovodmi.

Intenzívna výstavba diaľkových rúrovodov sa začala v USA v štyridsiatych rokoch v Európe a v Sovietskom zväze po II. svetovej vojne, najmä po r. 1947. Spočiatku sa používali rúry menších priemerov, do DN500, najmä bezšvové rúry zhotovené z upokojených ocelí bez normalizačného žihania. Rúry sa spojovali zváraním.

V plynovodoch je akumulovaná veľká energia, ktorá pri poruche plynovodu môže spôsobiť veľké materiálové škody a straty životov. Porucha plynovodu súčasne znamená výpadok dodávky plynu na dlhšiu dobu. [5,6].

MATERIÁL PRE VÝROBU RÚROVODOV

Bezšvové rúry sa vyznačujú rozdielnou hrúbkou steny, tak po obvode rúry (excentricita) ako aj po dĺžke. Mechanické vlastnosti ocele sú taktiež veľmi rozdielne, v závislosti od miery pretvorenia a tepelného režimu pri výrobe rúry. V dôsledku rozdielnej, miestami veľmi nízkej húževnatosti ocele býva odolnosť bezšvových rúr proti krehkému porušeniu veľmi nízka.

Zvárané rúry sa vyrábajú z oceľových pásov alebo plechov, preto majú vyrovnanú hrúbku steny. Vyrábajú sa v širokých dimenziách od DN6 a hrúbky steny $h = 0,5$ mm do DN3 000 a $h = 25$ mm, výnimočne aj hrubšie. [2,3]

TYPY POŠKODENIA RÚROVODOV

Z praxe je známe, že najčastejšími príčinami havárií plynovodov je korózia a náhodné poškodenie rúr. Je žiaduce, aby sa aj pri lokálnom poškodení rúry toto nerozvinulo na krehký lom, dlhý niekoľko kilometrov, t.j. aby sa krehká trhlina v materiáloch rúr pri prevádzkových podmienkach namáhania nemohla šíriť. [5,6]



Obr. 1 – Výstavba plynovodu DN 700

Pri veľkej akumulovanej energii plynu sa rúry môžu porušiť dvojakým spôsobom: [1,6]

- **krehkým lomom** spôsobeným štiepnou trhlinou, ktorá sa šíri rýchlosťou (450 až 900 ms⁻¹)
- **rýchlým šmykovým lomom**, ktorý sa šíri pomalšie ako rýchlosť tlakovej vlny v plyne (asi 400 ms⁻¹), t.j. rýchlosťou 150 až 250 ms⁻¹ (v závislosti od húževnatosti ocele KV pri danej teplote T_p).

Iniciácia šmykového a húževnatého lomu

Nastáva v potrubíach zaťažených tlakom plynu pri podstatne nižšom namáhaní než v platniach, čo komplikuje prenos výsledkov laboratórnych skúšok.

Šírenie šmykovej trhliny

- je možné v plynovodných rúrach pri napätí nad 0,5 R_e, pokiaľ v rovinných platniach je možné len nad 1,0 R_e,
- ak rýchlosť šírenia trhliny v plynovode je už nízka, tlak plynu poklesne a trhlina sa zastaví, nastáva to pri napätí (0,25 až 0,30)R_e, resp. pod 2,5 MPa.

POŽIADAVKY NA OCELE PRE RÚROVODY

V osemdesiatych rokoch, na základe skúšok plynovodných rúr zhotovených z ocele X70 sa kritérium prechodovej teploty spresnilo na TDW (85 %). Odvodili sa závislosti pre požadovanú hodnotu rázovej práce KV (J) skúšanej na tzv. 2/3 tyčiach, t.j. prierezu 6,7 x 10 mm. Podľa požiadaviek AISI je

$$KV(J) = 2,38 \cdot 10^{-4} \cdot \sigma_t^{1,5} \cdot D^{0,5} \quad (1)$$

Pre údaje plynovodu DN700, teda: D_i = 700 mm; t = 8 mm; p = 5,5 MPa; σ_t = 240 MPa je požadovaná nárazová práca KV (J) pri T_{min} = -10 °C:

$$KV = 23,4 J \dots\dots KCV = 44 J/cm^2 \quad (2)$$

Podľa platnej normy STN EN 10208-2 [2-9] pre rúry z ocele L 360 (X52) je požadovaná nárazová práca pre oceľ:

$$KV = 40/30 \text{ J} \dots KCV = 50/38 \text{ J/cm}^2 - \text{v priečnom smere} \quad (3)$$

$$KV = 60/45 \text{ J} \dots KCV = 75/56 \text{ J/cm}^2 - \text{v pozdĺžnom smere} \quad (4)$$

Podobne sa stanovili aj požadované hodnoty vrubovej húževnatosti resp. KV na zvarový kov, resp. požiadavky min. KV na zvarový spoj, pritom sa musí kontrolovať aj teplom ovplyvnená oblasť zvarového spoja.

$$KV = 40/30 \text{ J} \dots KCV = 50/38 \text{ J/cm}^2 - \text{pre zvarový spoj} \quad (5)$$

Skúšky sekcií diaľkových plynovodov sa robili aj v ZSSR. Skúšali sa rúry rôzneho priemeru, až do DN 1400, dĺžka skúšaných úsekov bola až do 200 m. Skúšky sa robili v stredoázijských a sibírskejších oblastiach ZSSR v zimných mesiacoch, až do -40°C .

Skúšky potvrdili opodstatnenosť požiadaviek na akosť ocele plynovodných rúr:

- prechodová teplota podľa skúšky DWT $< T_{\min}$
- požadovaná hodnota rázovej húževnatosti KCV, pri $T_{\min}$.

Minimálna prevádzková teplota $T_{\min} = T_d$ pre naše klimatické podmienky bola stanovená $T_{\min} = -10^\circ\text{C}$. [5,6]

ODOLNOSŤ PLYNOVODU PROTI PORUŠENIU A METÓDY JEJ HODNOTENIA

Osobitná pozornosť pri hodnotení odolnosti proti porušeniu sa venuje posudzovaniu príčin havárií, najmä únávovým a krehkým lomom.

Posúdenie príčin havárií plynovodov a ropovodov, ako aj potreba stanovenia objektívnych kritérií odolnosti proti porušeniu rúr tranzitného plynovodu podnietili vybudovanie laboratória skúšania tlakových zariadení vo už koncom šesťdesiatych rokov. Skúšobňa tlakových zariadení bola postupne doplňovaná výkonnými čerpadlami, chladiarenským kompresorom a prístrojovým vybavením na diaľkové meranie parametrov skúšok.

Realizujú sa rozsiahle náročné výskumné programy na overenie aplikovateľnosti prístupov lomovej mechaniky s cieľom stanovenia kritérií – požiadaviek na vlastnosti materiálov pre výrobu hrubostenných tlakových nádob (zásobníkov skvapalnených plynov) s nežihacími zvarmi, odolných proti krehkému porušeniu.

V oblasti hodnotenia odolnosti proti porušeniu rúr diaľkových rúrovodov sa výskumné práce obmedzili na zákazky podľa požiadaviek prevádzkovateľov rúrovodov: [1,6]

- skúšky odolnosti proti krehkému porušeniu rúr DN1 200 pre Tranzitní plynovod,
- atestačné skúšky rúr DN1 200 a DN1 400 z ocelí tried X60 až X80 pre Tranzitní plynovod a neskôr pre SPP,
- posúdenie príčin havárií plynovodov a ropovodov,
- stanovenie únosnosti a zvyškovej životnosti dlhodobo prevádzkovaných plynovodných a ropovodných rúr.

Rozsah a kvalita údajov závisí od obsahu informácií, ktorý poskytol prevádzkovateľ rúrovodu, od úrovne technických poznatkov o medzných stavoch porušenia materiálov a konštrukcií, od odbornej úrovne pracovníkov – expertov, od rozmerov poskytnutých vzoriek určených na mechanické skúšky, ako aj od poskytnutých finančných prostriedkov na skúšky a hodnotenie.



Obr. 2 – Únavová trhlina vo zvarovom spoji

STANOVENIE POŽADOVANEJ LOMOVEJ HÚŽEVNATOSTI MATERIÁLOV

Pre stanovenie sa používa sa netesnostné kritérium. Uvažuje sa s tzv. priechodnou trhlinou dlhá $\bar{a} = 2 \times t$ a týmito údajmi o rúre: $D = 700 \text{ mm}$; $t = 8 \text{ mm}$; $p = 5,5 \text{ MPa}$; $\sigma_t = 240 \text{ MPa}$

- a) Defekt – trhlina v základnom materiáli v smere osi rúry, súčinitele tvaru trhliny $\rightarrow 1,0$, preto zanedbáme. Súčiniteľ intenzity napätia K_I :

$$K_I = \sigma_t \cdot \sqrt{\pi \cdot \bar{a}} = 240 \sqrt{\pi \cdot 16/1000} = 53,8 \approx 54 \text{ MPa} \sqrt{m} \dots \quad (6)$$

Pre rúry hrubšie ako 8 mm je napätie σ_t nižšie a preto sú aj hodnoty K_I nižšie.

- b) Defekt v prechodovej oblasti špirálového zvaru, uhol stúpania $\alpha = 55^\circ$; priechodná trhlina $a_c = 2 \cdot t = 16 \text{ mm}$.

Osové napätie na úrovni medze klzu $\sigma_0 = R_e = 360 \text{ MPa}$, zvyškové napätie $\sigma_r = 0,4 \cdot R_e = 144 \text{ MPa}$.

Výsledné napätie pôsobiace kolmo na rovinu trhliny σ_v

$$\sigma_v = \sigma_t \cdot \cos \alpha + \sigma_0 \cdot \sin \alpha + \sigma_r = 240 \cdot 0,574 + 360 \cdot 0,819 + 144 = 576,6 \text{ MPa} \quad (7)$$

Súčiniteľ intenzity napätia K_I :

$$K_I = R_e \cdot \sqrt{\pi \cdot a \left[\left(2 \cdot \sigma_v / R_e \right) - 1 \right]} = R_e \sqrt{\pi \cdot 0,016 \cdot 2,2} = 119,7 \approx 120 \text{ MPa} \sqrt{m} \quad (8)$$

$$\sigma_v / R_e = 576,6 / 360 = 1,60$$

Na stanovenie požadovanej lomovej húževnatosti K_{IR} treba K_I násobiť súčiniteľom bezpečnosti $n_K = 1,3$

Posúdenie húževnatosti materiálov rúr

- a) Pre prípad priechodnej trhliny v smere osi rúry dlhšej $2a = 32 \text{ mm}$

$$K_{IR} = 1,3 \cdot 54 = 70 \text{ MPa} \sqrt{m} \quad (9)$$

Materiály rúr majú dostatočnú húževnatosť, nehrozí vznik krehkého porušenia.

- b) Priechodná trhlina dlhá $2a = 32 \text{ mm}$ v prechodovej oblasti špirálového zvaru.

$$K_{IR} = 1,3 \cdot 120 = 156 \text{ MPa} \sqrt{m} \quad (10)$$

Podľa technickej správy [C-5] z 11/2005 sú údaje lomovej húževnatosti $K_{0,2}$ pre

- oceľ 15G2S v smere pričnom (T resp. Y) ... $K_{0,2} = 85 \text{ MPa} \sqrt{m}$
- TOO špirálového zvaru rúry (T/Y) ... $K_{0,2} = 133 \text{ MPa} \sqrt{m}$

Pri vzniku priechodnej trhliny dlhšej 32 mm môže nastať krehké porušenie rúry. [1,5,6]

POSÚDENIE BEZPEČNOSTI A SPOĽAHLIVOSTI

Plynovod „Bratstvo“ DN700 (aj ropovody „Družba“ DN500 a DN700) boli postavené v polovici šesťdesiatych rokoch, plynovod bol uvedený do prevádzky v júli 1967. Na výstavbu sa museli použiť rúry domácej – československej výroby. Výstavba plynovodu bola naplánovaná a sa uskutočnila v pomerne krátkom čase, preto sa použili také rúry, aké boli práve k dispozícii. [2]

Použili sa rúry z ocele:

- 15G2S so špirálovým zvarom $\varnothing 700/8 \text{ mm}$ – výrobca VSŽ Košice,
- 13030.0 bezšvové, $\varnothing 720/11 \text{ mm}$ – výrobca Chomutov.

Pre dodávku rúr boli stanovené veľmi nízke požiadavky na húževnatosť materiálov, rázová húževnatosť na tyčiach typu Mesnager (vrub $a = 2$ mm, $r = 1,0$ mm) bola:

$$KCU2 = 30 \text{ J/cm}^2 \dots \text{pri } T_s = +20^\circ \text{C}$$

Technológia výroby rúr veľkého priemeru bola na nízkej úrovni. Oceľ a oceľové pásy 15G2S boli nevhodné na výrobu rúr so špirálovitým zvarom. Pri ohýbaní oceľového pásu vznikli na povrchu materiálu hlboké $a = 0,2$ mm až $2,4$ mm, dlhé 3 mm až 30 mm.

Špirálové zvary vykazovali nadmernú „strieškovitosť“ (defekt 508) zápaly a ďalšie chyby tvaru. Na povrchu bezšvových rúr sa vyskytovalo množstvo plytkých trhliniek. Prvá tlaková skúška plynovodu sa robila stlačeným vzduchom, tlakom $p = 7,0$ MPa, pri okolitej teplote (návrhový tlak $p_d = 5,5$ MPa). Skúšané úseky boli dlhé $8,4$ km až $12,5$ km. Prevažná väčšina tlakových skúšok (vyše 50) prebehla úspešne, vznikli však tri krehké porušenia. Krehké trhliny vznikli z vnútorného povrchu – v špirálovom zware. Trhlina sa šírila v tvare vlnovky (sínusovky), porušené úseky boli dlhé 10 m až 170 m. [3,5,6]



Obr. 3 – Poškodenie plynového potrubia DN 700 Bratstvo (katastrálne územie Slanec pri Košiciach r. 2008)

Na overenie možnosti zvýšenia prevádzkového tlaku plynu sa robili v r. 1980 – 1981 „preťažovacie skúšky“ vodou. Skúšobný tlak sa stanovil s ohľadom na členitosť terénu – stúpanie rúrovodu, musel sa zohľadniť hydrostatický tlak. Natlakovaný úsek sa mal udržať pod tlakom 24 hodín, aby sa zistila prípadná netesnosť rúrovodu. Porušenia vznikli pri tlaku $p = 5,7$ MPa a $6,4$ MPa preto „preťažovacie skúšky“ boli zastavené a ponechal sa pôvodný prevádzkový tlak $p_p = 5,5$ MPa. [5]

V priebehu temer 40 ročnej prevádzky plynovodu „Bratstvo“ nevzniklo veľa porúch. Plynovod bol podrobený kontrole „inteligentným ježkom“. Nezistili sa neprípustné poškodenia alebo defekty. Plynovod pracuje spoľahlivo.

ZÁVER

V príspevku sú analyzované hlavné rizikové faktory vplyvajúce na životnosť potrubných systémov a tiež požiadavky na akosť základných materiálov a zvarových spojov, ktoré patria k rizikovým miestam rúrovodov.

Rúrovody určené na prepravu ropy a plynu si vyžadujú dodržanie množstva smerníc a noriem pri ich výstavbe, resp. opravách. Jedná sa o zariadenia, u ktorých by poškodenie počas prevádzky mohlo viesť k rozsiahlym ekologickým škodám, škodám na majetku a hlavne na ľudských životoch.

Príspevok bol spracovaný v rámci projektu VEGA 1/0600/13 a KEGA 059TUKE-4/2012.

ZOZNAM BIBLIOGRAFICKÝCH ODKAZOV

- [1] KÁLNA, K. 2001: Súčasný trendy pri hodnotení bezpečnosti a zvyškovej životnosti plynovodných potrubí a možnosti využitia postupov mechaniky poškodenia, Technická správa VÚZ Bratislava, č. 4960, 8,
- [2] EN 10208-2 Oceľové rúry na potrubia na horľavé tekutiny. Technické dodacie podmienky. Časť 2: Rúry podľa požiadaviek triedy B
- [3] API Std 5LX (14-th ed. March 1967) – Specification for high – test line pipe
- [4] [on-line] Available on – URL:
<http://www.hydrocarbonstechnology.com/projects/nabuccopipeline/nabuccopipeline2.html> [cit.: 2014-10-11]
- [5] MAKOVICKÝ, V. 1978: Rozbor príčin porušenia plynovodu s priemerom 700 mm, Zváračské správy, 28, 4, 92
- [6] LOMBARDINI, J. 1971: Vplyv technických chýb na krehké porušenie zvaraných diaľkovodov, Zváranie 20, 9-11, 291

ADRESY AUTOROV:

Tomáš VAŠKO, Ing., IWE., Technická univerzita v Košiciach, Strojnícka fakulta, Katedra strojárskych technológií a materiálov, Mäsiarska 32, 040 01 Košice, vasko@montrur.sk

Ján VIŇÁŠ, doc., Ing. PhD., IWE., Technická univerzita v Košiciach, Strojnícka fakulta, Katedra strojárskych technológií a materiálov, Mäsiarska 32, 040 01 Košice, jan.vinas@tuke.sk

RECENZIA TEXTOV V ZBORNÍKU

Recenzované dvomi recenzentmi, členmi vedeckej rady konferencie. Za textovú a jazykovú úpravu príspevku zodpovedajú autori.

REVIEW TEXT IN THE CONFERENCE PROCEEDINGS

Contributions published in proceedings were reviewed by two members of scientific committee of the conference. For text editing and linguistic contribution corresponding authors.