

Zhodnotenie stavu podzemných kolektorov vybudovaných vo vnútri technologických areálov podzemných zásobníkov

Ladislav Goryl¹, Stanislav Rehak a Anton Misany²

Assessment of condition of underground collector lines situated inside the technological complexes of underground storage facilities

The evaluation of status of underground gas pipeline systems operating for several decades becomes a decisive factor of the decision making for their further safe and reliable operation. The decision becomes crucial especially in cases when piping is installed within a facility without the cathodic protection. The evaluation and inspection of underground gas manifolds requires a specific approach tailored for the respective manifolds.

In 2003 NAFTA, the company initiated an extensive plan of the underground gas manifolds diagnostics and evaluation. The results were presented within the Working Committee WOC2 at the 23rd World Gas Congress in Amsterdam.

Key words: *underground collector, underground storage facilities*

Úvod

Zhodnotenie stavu podzemných plynárenských systémov (technická diagnostika), ktoré sú v prevádzke niekoľko desaťročí, je určujúcim faktorom pre rozhodnutie o ich ďalšom bezpečnom a spoľahlivom prevádzkovaní. Zvlášť dôležité je hodnotenie v prípade, ak sú časti potrubí umiestnené vo vnútri technologických areálov, ktoré nie sú chránené systémom katódovej ochrany. Práve kolektory predstavujú takéto zariadenia, ktoré bývajú často uložené v zemi, pod povrchom technologických areálov. Aj keď existuje množstvo nedeštruktívnych i diagnostických metód a nástrojov určených pre tieto účely, tie sú zvyčajne navrhnuté pre plynovody vybavené čistiacimi komorami.

Zhodnotenie a inšpekcie plynových podzemných kolektorov však vyžadujú špecifický prístup "ušíť na mieru" pre jednotlivé typy kolektorov. Špecifickosť kolektorov spočíva v tom, že predstavujú potrubia rôznych priemerov o dĺžke niekoľko desiatok metrov, nezriedka presahujúce sto metrov, do ktorých sú kolmo k ich pozdĺžnej osi zaústené ďalšie potrubia.

Vzhľadom na vyššie uvedené skutočnosti, zahájila spoločnosť NAFTA v roku 2003 rozsiahly program zameraný práve na posúdenie a zhodnotenie stavu podzemných plynových kolektorov. Program bol rozdelený do niekoľkých etáp. Nedeštruktívne skúšky, zvolené pre vnútorné ako aj vonkajšie posúdenie stavu kolektorov, boli doplnené odberom vzoriek z tela kolektorov a následnými laboratórnymi skúškami zameranými na určenie vlastností materiálov vystavených účinkom dlhoročnej prevádzky. Keďže diagnostické metódy a nedeštruktívne skúšanie vyžaduje špecifické know-how, program bol realizovaný v úzkej súčinnosti so spoločnosťou NS Gbely, ktorá zabezpečovala aj ďalších poddodávateľov, vyhodnotenie výsledkov, návrh a realizáciu opatrení pre zabezpečenie ďalšej prevádzky.

Program posúdenia a zhodnotenia stavu kolektorov

Príspevok popisuje spôsob diagnostiky najvýznamnejších kolektorov nachádzajúcich sa v Centrálnom areáli komplexu podzemných zásobníkov Láb, v ktorom je pomerne veľká hustota potrubí a technologických zariadení. Z tohto dôvodu sú vybudované všetky kolektory ako podzemné, vrátane niektorých prípojov, ktoré sú uložené taktiež pod zemou. Na jednej strane toto usporiadanie umožňuje zníženie hustoty nadzemných potrubí, na druhej strane však neumožňuje ich pravidelnú kontrolu a tak vytvára komplikácie pri potrebe ich diagnostiky.

Do roku 2003, vzhľadom na vyššie uvedené podmienky, sa celá diagnostika kolektorov obmedzovala iba na tlakové skúšky. Tlakové skúšky síce vyjadrovali schopnosť kolektorov bezpečne plniť svoju úlohu, avšak nehovorili nič o ich skutočnom stave, potrebe ich opráv, prípadne rekonštrukcie. Samotné tlakové skúšky, vykonávané štandardne vodou, spôsobujú okrem toho následné problémy s vysušením kolektorov. Navyiac sa do materiálu potrubia tlakovou skúškou vnáša nežiaduce napätie najmä v miestach zoslabenia stien, napríklad koróziu, prípadne v miestach skrytých materiálových vád i keď za štandardných podmienok je prevádzka úplne bezpečná.

¹ Ing. Ladislav Goryl, Ing. Stanislav Rehak, NAFTA, a. s., ladislav.goryl@nafta.sk, stanislav.rehak@nafta.sk

² Ing. Anton Mišaný, NS Gbely, a. s., anton.misany@naftastroj.sk

(Recenzovaná a revidovaná vetzria dodaná 19. 8. 2006)

S prihliadnutím na vyššie uvedené skutočnosti a na to, že vek všetkých kolektorov sa pohybuje nad 20 rokov, bolo v roku 2003 rozhodnuté o zmene spôsobu diagnostiky kolektorov. Cieľom tejto diagnostiky je zistenie možných väd základného materiálu, zistenie dôsledkov pôsobenia degradačných mechanizmov, prípadného korózneho napadnutia stien kolektorov, celkové posúdenie ich súčasného stavu a stanovenie ich zostatkovej životnosti. Pre takto stanovený cieľ je samozrejme potrebné získať dostatočnú databázu údajov, ktorú je možné vytvoriť len potrebným počtom meraní.

Kolektory boli, podľa možného spôsobu vykonávania ich diagnostiky rozdelené na tie, ktoré je možné diagnostikovať iba z vonkajšej strany a tie, ktoré bude možné upraviť na vnútornú inšpekciu inšpekčným zariadením. Následne bol spracovaný časový harmonogram ich diagnostiky rozložený na niekoľko rokov.

Harmonogram počítal s rozložením diagnostiky kolektorov do 4 rokov, a to najmä z dôvodu zachovania plnej prevádzky podzemných zásobníkov (bez negatívneho vplyvu na plynulosť prevádzky podzemného zásobníka). Tieto podmienky kládli náročné požiadavky na projekčnú a organizačnú prípravu diagnostiky a taktiež na zabezpečenie spoľahlivého a bezpečného chodu jednotlivých častí podzemného zásobníka.

Pri vonkajšej diagnostike bolo potrebné hlavne statické zabezpečenie odkopaných kolektorov a pri vnútornej diagnostike, vykonávanej pomocou plynárenského inšpekčného zariadenia, presné dodržiavanie harmonogramu prípravy a priebehu skúšok, vzhľadom na obmedzený čas odstávky zásobníka.

Pri vonkajšej diagnostike je pre názornosť vhodné podotknúť, že pri kolektoroch K 102, K 103 (obr. 1) bolo potrebné ručne premiestniť približne 900 m³ zeminu, jedenkrát od kolektorov na skládky a potom naspäť. Z dôvodu vysokej koncentrácie podzemných vedení nebolo možné nasadiť na práce žiadne mechanizmy.



Obr. 1. Pohľad na výkopy kolektorov K 102, K 103

Fig. 1. Excavation of trench of collectors K 102, K 103

Prípravné práce boli spravidla robené počas normálnej prevádzky zásobníka a špeciálne práce, vyžadujúce čiastočné alebo úplné odstavenie zásobníka, počas pravidelných odstávok podzemného zásobníka.

Z celkového počtu 9 kolektorov bolo postupne do roku 2005 diagnostikovaných 7. Všetky kolektory boli diagnostikované z vonkajšej strany, pričom na dvoch kolektoroch bola vykonaná aj diagnostika vnútra potrubia inšpekčným zariadením. V harmonograme bolo samozrejme počítané i s prípadnou potrebou opráv kolektorov z dôvodu zaistenia plynulosti prevádzky, čo sa nakoniec ukázalo ako pragmatické riešenie.

Diagnostika posledných dvoch kolektorov je plánovaná na roky 2007-2008 pričom v súčasnosti prebiehajú technické a projekčné prípravy.

Metodika a priebeh diagnostiky kolektorov

Diagnostiku kolektorov sme započali z pohľadu zabezpečenia bezpečnosti a plynulosti prevádzky najprv u najstarších a najviac exponovaných kolektorov. Keďže nadzemné potrubné vetvy podliehajú pravidelnej periodickej kontrole, zamerali sme sa na podzemné časti potrubí, na ktorých nebola v priebehu doby životnosti vykonávaná žiadna diagnostická kontrola.

Pred začatím samotnej diagnostiky sme preverili úplnosť projekčných podkladov a materiálových atestov jednotlivých potrubných častí. V prípade, že sa vyskytla pochybnosť, vzhľadom na dôležitosť týchto objektov z pohľadu prevádzkovej bezpečnosti, sme si overili kvalitu materiálu mechanickými skúškami.

Ak to bolo možné, odoberali sme materiál na skúšky priamo z potrubia, spolu i s obvodovým zvarom a následne vykonávali laboratórne skúšky, samozrejme pri odstavení kolektora z prevádzky.

V prípade, kde to nebolo možné, sme pri dostatočnej hrúbke steny potrubia a preverení homogenity materiálu odoberali vzorku tvaru guľového vrchlíka počas plnej prevádzky z povrchu potrubia. Z týchto vzoriek chemickým rozborom a penetračnou metódou, bola zistená medza klzu, medza pevnosti a ťažnosť.

Pri krátkych kolektoroch sme vykonávali diagnostiku počas plnej prevádzky z vonkajšieho povrchu potrubia. Po premeraní geometrie a hrúbky steny potrubia sme zmerali tvrdosť zvarov a tepelne ovplyvnenej oblasti. Povrch potrubia bol preverený magnetickou práškovou metódou. Zvary a materiál potrubia boli preverované ultrazvukom, s využitím metód:

- TOFD - ultrazuková metóda na identifikáciu vnútorných vád,
- MAPSCANE - ultrazuková kontrola s mapovaním kritických miest,
- UT - prístroj Krautkrämer - meranie zostatkovej hrúbky steny pri pittingu.



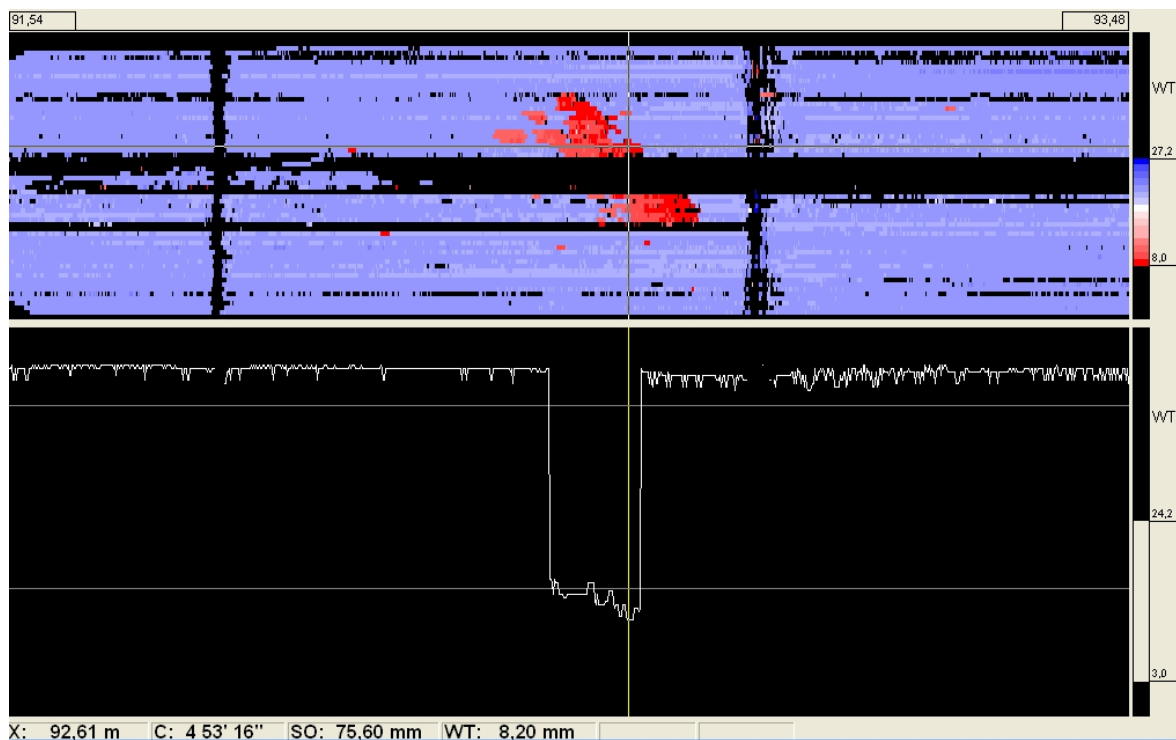
Obr. 2. Čelo zariadenia PIT vchádzajúceho do vstupnej príruby diagnostikovaného kolektora
Fig. 2. Head of the PIT device entering the inlet flange of the inspected collector line

Diagnostika kolektorov K 100 a K 101.

Diagnostiku potrubných odbočiek dvoch najdlhších kolektorov sme vykonávali z vonkajšieho povrchu. Na priamy úsek sme využili efektívnejšiu diagnostickú ultrazvukovú kontrolu, vykonávanú inšpekčným zariadením PIT (PIPELINE INSPECTION TOOL). Výhodou tohto zariadenia je, že oproti klasickým inšpekčným zariadeniam nevyžaduje vstupné a výstupné komory, keďže sa jedná o samohybné zariadenie, ktoré sa vo vnútri potrubia pohybuje vlastným pohonom. Zariadenie PIT sa skladá z 3 častí, ktoré sú prepojené optickým káblom:

- pohonná jednotka s nosičom 64 ks ultrazvukových sond - umožňuje pohyb zariadenia v potrubí rýchlosťou 360 až 540 m hod⁻¹.
- jednotka s ultrazvukovou jednotkou
- jednotka obsahujúca elektronický kontrolný systém.

Kolektor je pri použití zariadenia PIT naplnený vodou, ktorá umožňuje prenos signálu zo 64 ks ultrazvukových sond umiestnených po vnútornom obvode potrubia do steny potrubia. Výsledky záznamov z jednotlivých sond sú prenášané optickým káblom na samostatnú vyhodnocovacia PC jednotku. Zariadenie poskytuje ucelený digitálny záznam obr. 3 z kontinuálneho snímania hrúbky steny a porúch vo vnútri materiálu potrubia a zvarov.



Obr. 3. Digitálny záznam z diagnostiky kolektora K 100 zariadením PIT

Fig. 3. Digital record from the diagnostics of the K 100 collector line by the PIT device

Legenda: Červená farba v hornej časti obrázku zachytáva laminácie v základnom materiáli telesa kolektora, ktorého hodnotený úsek je vyrobený ako prstenec zo skruženého plechu. Z obrázku je vidieť, že porucha začína v dĺžke 92,37 m a po obvode je v uhle hodinových ručičiek od 2 hod 27 min do 8 hod 16 min – dĺžka je 368 mm a šírka 1165 mm.

V dolnej časti obrázku je zachytený profil hrúbky steny kolektora.

Explanation: The red color in the top part of the picture shows laminations in the basic material of the body whose evaluated section is manufactured as a ring from the bent sheet metal. The picture shows that the defect begins in the length of 92.37 m; at the perimeter it is located at the clock hands' angle from 2:27 o'clock to 8:16 o'clock – the length and width is 1,165 mm and 368 mm respectively.

The bottom part of the picture shows the profile of the wall thickness.

Vyhodnotenie výsledkov diagnostiky a návrh opatrení

Záverečnou fázou diagnostiky bolo vyhodnotenie výsledkov získaných z jednotlivých meraní a materiálových rozborov, kde sme vykonávali:

- analýzu napätosti odbočiek metódou konečných prvkov,
- vyhodnotenie skúšok materiálov po dlhodobej prevádzke,
- posúdenie prípustnosti trhlín,
- posúdenie prípustnosti korózných defektov,
- posúdenie zistených vnútorných chýb materiálov,
- posúdenie životnosti a prevádzkovej spoľahlivosti kolektorov,
- návrh na prípadnú úpravu kolektorov.

Pri výpočte životnosti bol použitý pravdepodobnostný výpočet. Výsledkom výpočtu je odhad hodnoty pravdepodobnosti vzniku trhlín (medzného stavu) v priebehu ďalšej prevádzky.

Pri výpočte prvkov so základným materiálom bola použitá krivka podľa ASME, Boiler and Pressure Vessel Code, Section VIII, Division 2. U zvarových spojov bola použitá výpočtová krivka podľa britskej normy BSI PD 6493. Zostatkové pnutia boli uvažované podľa normy API 579. Ako náhodné veličiny boli uvažované vlastnosti materiálu a hrúbka steny potrubia.

K exponovaným miestam kolektorov, u ktorých možno očakávať nízku životnosť, patria miesta s vysokým napätím (hrany otvorov pre odbočky prípojných potrubí, miesta s výskytom väd materiálu, miesta zoslabené koróziou) a miesta s výskytom materiálu, ktorý má horšie vlastnosti (zvarové spoje).

Z pravdepodobnostného hľadiska majú kolektory v súčasnej dobe pravdepodobnosť vzniku trhlín menšiu ako $\alpha = 0,0001 = 0,01\%$. V priebehu ďalšej prevádzky pravdepodobnosť vzniku trhlín porastie a až pri definovanom počte pracovných cyklov dosiahne hodnota pravdepodobnosti vzniku trhliny ešte na prijateľnej úrovni $\alpha = 0,0001 = 0,1\%$, kedy sú z pohľadu životnosti navrhnuté ďalšie opatrenia.

Životnosť kolektorov bola stanovená s doporučeniami k prípadnej oprave a stanovením periódy opakovaných diagnostických a defektoskopických kontrol, doplnených výpočtom.

V mieste najväčšej dislokácie chýb materiálu potrubia kolektorov sme z pohľadu zachovania štandardu dlhodobej prevádzkovej bezpečnosti prekryli túto lokalitu pozdĺžne zvarovými delenými objímkami.

Zhrnutie

Technická diagnostika potrubia kolektorov potvrdila správnosť prístupu pre riešenie zvýšenia prevádzkovej bezpečnosti starého potrubia. Nedeštruktívne merania odhalili niektoré vnútorné materiálové poruchy, ktoré sú zdrojom zníženej dlhodobej prevádzkovej bezpečnosti, a preto ich účinky boli z tohoto pohľadu účinne eliminované realizovanými opatreniami.

Je potrebné zdôrazniť, že použitá diagnostika sa vykonáva na potrubíach, ktorých konštrukcia a usporiadanie neumožňuje použitie štandardných diagnostických metód. Tieto metódy dokážu poskytnúť dostatočné množstvo údajov, ktoré umožnia vytvoriť dokonalý obraz o technickom stave potrubí. S takto získanou databázou údajov je možné vypočítať dobu životnosti potrubí a následne pri opakovaných meraniach overiť správnosť predikcie.

Literatúra - References

ASME, Boiler and Pressure Vessel Code, Section VIII, Division 2
Britská norma BSI PD 6493
Norma API 579