

Rehabilitace vtl. plynovodu po dlouhé době provozu

První provozní aplikace v Československu

Ing. Petr Crha, CSc.,

Ing. Daniela Jakoubková

Ing. Jan Jandera

Ing. Tatjana Štenglová

Ing. František Pařízek

Středisko nové techniky v dopravě
plynu

Plynoprojekt Praha

Během provozu plynovodů, který trvá desítky let, je nezbytné provádět řadu opatření, zajišťujících jejich spolehlivý provoz, a tedy bezpečnost jejich okolí. Tato opatření zahrnují široké spektrum činností, od kontroly pochůzkovou službou přes sledování stavu a provozu systému KAO až po předepsané pravidelné provozní kontroly a revize.

Přes veškerá technická opatření však dochází k postupnému stárnutí plynovodu, které se projevuje určitými degradačními procesy jak u protikorozi izolace, tak u ocelového materiálu potrubí. Naskytá se tedy závažná otázka, nakolik je další provozování těchto potrubí oprávněné a bezpečné. Až donedávna se taková situace řešila výstavbou nového potrubí. Je však zřejmé, že degradační procesy neprobíhají se stejnou intenzitou v celé délce potrubí, ale zpravidla jen na některých úsecích, které dokonce tvoří jen velmi malý podíl z délky celkové. Proto se naše plynárenství začalo již před více než deseti lety zabývat otázkami exaktního hodnocení technického stavu plynovodu, které by umožnilo v maximální míře využívat vybudované kapacity a rekonstruovat pouze ty části, u kterých to technický stav vyžaduje. Tato filosofie tzv. rehabilitací plynovodů vznikla původně ve Spojených státech, kde je takto ročně rehabilitováno několik tisíc kilometrů potrubí. Díky znalostem, získaným v Plynoprojektu a spolupracujících výzkumných i provozních organizacích mnohaletým výzkumem chování materiálu i celých plynovodů, je nyní možno tuto technologii zavádět i u nás. Naše současné technické možnosti odpovídají rozsahu tzv. malé rehabilitace, neboť, na rozdíl od

Rehabilitace vysokotlakých plynovodů po dlouhé době provozu je ekonomicky velmi efektivní technologie, která se intenzívně rozvíjí zejména v Kanadě a v USA. Prodloužení doby spolehlivého provozu umožňuje podstatně vyšší míru využití vloženého kapitálu a současně odložení nutných investičních nákladů na vybudování plynovodu nového. Mimořádně efektivní je tato metoda ve spojení s převedením plynovodu na vyšší tlakovou úroveň. V roce 1991 byla rehabilitace vysokotlakého plynovodu provedena poprvé v Československu komerční formou.

B 565
621.643.004.69

největších akcí v USA, se úplná rehabilitace, která zahrnuje i výměnu protikorozi izolace na celé délce plynovodu, v československém plynárenství teprve technologicky připravuje.

Při malé rehabilitaci plynovodu se nejprve provádí hloubkový korozní průzkum po celé délce plynovodu. Hodnotí se funkce KAO a celistvost izolace (pochopitelně metodami, které nevyžadují výkop potrubí). Na základě tohoto průzkumu se po vyhodnocení provozní historie plynovodu vybere místo, u kterého je předpoklad, že vliv degradujících faktorů je největší a že reprezentuje nejhorší stav plynovodu. Z tohoto místa se vyřízne vzorek trubky v délce několika metrů a podrobí se důkladným materiálovým zkouškám (určení meze pevnosti a kluzu, vrubové houževnatosti, odolnosti proti šíření lomu, odolnosti proti únavovým poškozením aj.). Na základě porovnání výsledků těchto zkoušek s normálovými hodnotami se určí stupeň degradace materiálu potrubí. Poté se určí parametry pro napětovou zkoušku (stresstest), která je jednou z nejdůležitějších součástí procesu rehabilitace plynovodu. Stresstest je technologická operace, při které je za přesně definovaných podmínek plynovod tlakován vodou až na tlak, který ve stěně potrubí vyvolá namáhání na úrovni blízko meze

kluzu. Tento proces je však nejenom zkouškou pevnosti potrubí, ale má i příznivý efekt, zvyšující následně provozní spolehlivost potrubí. Při dosažení plastického stavu potrubí totiž dochází k rovnoměrnému přerozdělení mechanických napětí v jeho stěně. Pokud jsou ve stěně trub přítomny trhlinky (například únavové), dojde v jejich čele k vytvoření tzv. plastické bariéry. Při snížení tlaku po provedení stresstestu totiž dojde ke změně tvaru čela trhliny (výrazně se sníží jeho ostrost) a to vede k zablokování jejího růstu po dobu řady dalších let. Tento proces však proběhne pouze u menších trhlín, jejichž hloubka a délka má relativně malou, tzv. podkritickou velikost (což je hodnota, která je závislá zejména na konkrétních mechanických vlastnostech oceli, z níž je trubka vyrobena). U trhlín nadkritické velikosti dojde k jejich rychlému rozvoji, protože se to však děje za mimořádné kontroly při tlakování vodou, je tento proces naprosto bezpečný. Stanovené parametry stresstestu se ověří na tlakové nádobě, vyrobené z odebraného vzorku potrubí. Tím je definována technická stránka rehabilitace plynovodu a je možno zpracovat a projednat její projekt, který řeší jednotlivé technologické operace i jejich vzájemné časové návaznosti a územně právní zajištění.

Při vlastní rehabilitaci plynovodu se provede oprava míst poškození izolace a následně vlastní stresstest. Případné nadkritické vady se projeví protřžením potrubí a opraví se výměnou příslušné části potrubí. Vlastní práce trvá pro jednotlivé úseky plynovodu několik týdnů a je časově i finančně nepoměrně méně náročná, než výstavba potrubí nového. Výhodná je zejména u plynovodů, vybudovaných dříve pro dopravu svítiplynu, které byly konstruovány na provozní tlak 2,5 MPa. Po provedení stresstestu a výměně armatur za nové pro vyšší provozní tlak je možno rehabilitovaný plynovod bezpečně provozovat při tlaku 4 MPa, který je běžný na síti pro dopravu zemního plynu.

V této souvislosti je účelné se zmínit o vzájemném vztahu mezi technickým efektem provádění stresstestů na straně jedné a vnitřní inspekce na straně druhé. Tyto dvě činnosti jsou do značné míry komplementární, avšak nejsou vzájemně zaměnitelné. Vnitřní inspekci lze odhalit především geometrické defekty potrubí a z materiálových vad zejména příčně (ve vztahu k ose potrubí) orientované trhliny, plošná korozní narušení a výrobní vady plechů, jako je zdvojení a podobně. Tyto vady jsou detekovatelné již při jejich relativně malých hloubkách, od 15 % tloušťky stěny trub. Nezanedbatelná je také schopnost odhalení nedovolených zákrtek na potrubí, provedených během výstavby nebo při údržbě. Naproti tomu je velmi obtížné detekovat podélně orientované trhliny a poškození korozí pod napětím. Výsledkem vnitřní inspekce je znalost detekovatelných defektů a jejich lokalizace pro následnou opravu. Provedení stresstestu neumožňuje detekovat ani lokalizovat jednotlivé typy vad, protože tato technologie rozeznává pouze nadkritickou velikost vad, kdy dochází k otevření potrubí, anebo velikost podkritickou, kdy dojde k dočasnému zablokování růstu vady. Místa, kde došlo k otevření plynovodu se opraví náhradou novou trubkou. Výsledkem provedení stresstestu je tedy oprava nadkritických vad a zablokování růstu vad podkritických, a to pro jakoukoli orientaci trhlín i pro případ poškození potrubí korozí pod napětím. Hlavní výhodou stresstestu je možnost provedení i na těch plynovodech, kde je vnitřní inspekce za provozu prakticky vyloučena, což jsou především plynovody budované z hrdlových trub. Přitom tato techno-

logie výstavby byla u vtl. plynovodů menších dimenzí používána až do sedmdesátých let.

Vnitřní inspekce je tedy velmi účinným prostředkem pro posouzení technického stavu plynovodu při rozhodování o jeho dalším provozu, opravách nebo potřebě jeho rehabilitace, redistribuci napětí vyvíjejících se během provozu je však možno zabezpečit pouze provedením stresstestu.

Technologie rehabilitace plynovodu po dlouhé době provozu byla ověřena v roce 1990 v rámci řešení výzkumného úkolu "Výzkum provozních činitelů, určujících spolehlivost dálkových plynovodů, a metod jejich sledování" na části plynovodu DN 150 PN 25 Žatec - Podbořany.

V létě roku 1991 byla malá rehabilitace plynovodu poprvé provedena v provozních podmínkách jako rutinní operace s plnou technologickou odpovědností.

Rehabilitován byl 4,26 km dlouhý úsek plynovodu DN 200 PN 25 mezi Plzní Bolevcem a Třemošnou. Tento úsek je polovinou plynovodu Plzeň - Horní Bříza, který byl vybudován pro dopravu svítiplynu s max. provozním tlakem 2,5 MPa. Tento plynovod spojuje dva jiné plynovody, které jsou již vybudovány v PN 40 a po jeho převedení (včetně přípojek) do stejné kategorie bude možno celou tuto část sítě převést na provozní tlak 4 MPa, a tím výrazně zvýšit její dosažitelnou přepravní kapacitu.

Inženýrským dodavatelem celé rehabilitace (od projektu až po závěrečnou výchozí revizní zprávu) byla skupina PIPETEST Střediska nové techniky v dopravě plynu Plynoprojektu Praha, která technicky zabezpečuje i rozhodující operace napěťové zkoušky. Tato skupina v rámci Sdruženého pracoviště pro spolehlivost plynovodů Plynoprojekt /Ústav teoretické a aplikované mechaniky ČSAV ve spolupráci s dalšími specializovanými organizacemi, jako je Strojní fakulta ČVUT a Státní výzkumný ústav materiálu, provádí i komplexní materiálové zkoušky oceli potrubí a definuje parametry napěťové zkoušky. Dodavatelem výřezu vzorku potrubí, nových armatur pro PN 25, zemních a izolačních prací byl provozovatel plynovodu, závod ŽČP v Plzni. Dodavatelem montážních prací byla lounská pracovní skupina Střediska technických služeb a zakázek Tranzitního plynovodu Praha. Hodno-

cení korozního stavu potrubí a funkce KAO zabezpečovalo Středisko protikorozní ochrany plynovodů Plynoprojektu Praha ve spolupráci se Střediskem Bohemia a hodnocení mechanických vlastností izolace zabezpečoval Ústav pro výzkum paliv v Běchovicích. Jen z tohoto výřezu spolupracujících organizací je zřejmé, že pro zabezpečení rehabilitace plynovodu je nutné pracovat v týmu s velmi širokým záběrem specializovaných odborností. Díky dlouholeté spolupráci ve výzkumu spolehlivosti plynovodů se však takový tým podařilo vytvořit a dlouhodobě stabilizovat, což je základní předpoklad pro úspěšné realizování rehabilitací v dalších letech.

Přípravné práce, posouzení technického stavu plynovodu

Plynovod Bolevec - Horní Bříza byl vybudován z bezešvých trub o průměru 219 x 6 mm z uhlíkaté oceli 11 353 v hrdlovém provedení.

Pro posouzení stupně degradace materiálových vlastností byl v jarních měsících odebrán vzorek trub v délce 4 m, z něhož byly následně vyrobeny vzorky pro komplexní materiálové zkoušky. Aby mohl být plynovod uveden po odebrání vzorku opět do provozu, bylo místo odběru dočasně opraveno vevařením trubky na přesouvák. Tato provizorní oprava byla při vlastní rehabilitaci nahrazena opravou na V-svar.

Cílem komplexních materiálových zkoušek bylo zjistit skutečné vlastnosti oceli potrubí po dlouhodobém provozu a na základě jejich vyhodnocení určit parametry příslušné napěťové zkoušky přetížením. Materiálové zkoušky vedly k následujícím závěrům:

Tahové zkoušky

Průměrná hodnota meze průtažnosti $R_e = 295 \text{ MPa}$

Průměrná hodnota meze pevnosti $R_m = 420 \text{ MPa}$

Oba tyto důležité parametry jsou v mezích předepsaných ČSN 41 1353 a během provozu tedy nedošlo k jejich degradaci na nežádoucí úroveň.

Z výsledků tahových zkoušek dále plyne jistý stupeň snížení plastických vlastností materiálu, neboť tažnost klesla pod 21 % oproti normované hodnotě 24 %.

S přihlédnutím k budoucímu zvýšenému provoznímu tlaku bylo na zkušebních tyčích ověřováno rovněž zpevnění materiálu cyklickým zatěžováním v rozsahu od $0,03 R_e$ po $0,9 R_e$ pro 1000 cyklů. Pro tento počet cyklů již dochází k určitému zpevnění materiálu, pro malý počet, 2 až 3 cykly, je však ovlivnění mechanických vlastností zanedbatelné, což má pozitivní význam pro provedení napěťové zkoušky.

Zkoušky lomové houževnatosti

Horní mez lomové houževnatosti K_I , určená podmínkami nestability trhliny, je poměrně vysoká a potvrzuje dobrou odolnost materiálu proti iniciaci rychlého lomu.

Zkoušky růstu únavové trhliny

Závislost rychlosti růstu únavové trhliny na rozkmitu faktoru intenzity napětí vykazuje poměrně velký rozptyl výsledků. Ty přesto naznačují, že existence růstuschopných trhlin ve stěně potrubí by při únavovém zatížení byla provázána jejich rychlým vývojem a nižší zbytkovou životností. Vlastní napěťová zkouška při rehabilitaci však existenci takových trhlin neprokázala.

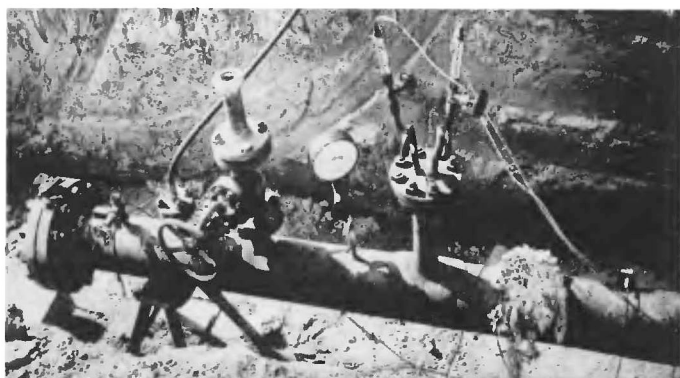
Definování parametrů napěťové zkoušky

Zatěžovací parametry napěťové zkoušky byly předmětem poměrně rozsáhlých teoretických diskusí. V úvahu musely být vzaty nejen poměrně příznivé výsledky mate-

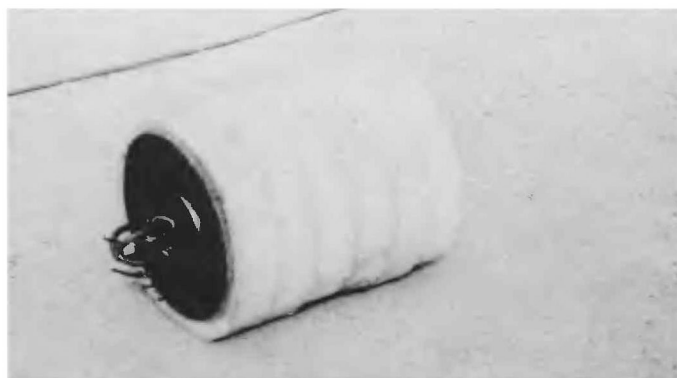
riálových testů, ale i některá fakta o technologii provádění výstavby a provozních zásadách, které vyvolávají reálné nežádoucí koncentrace mechanického napětí. Provozovaný plynovod je zatížen koncentratory napětí

- v segmentových kolenech, kde dochází ke kombinaci namáhání od osových sil a přidavných ohybových momentů,
- v hrdlových spojích vlivem excentrického spojení koutovým svarem,
- v geometrických nepřesnostech potrubí původních nebo vyvolaných provozními opatřeními,
- v místech oslabení stěny korozí.

Vzhledem k příznivým výsledkům posouzení vlastností použité uhlíkaté



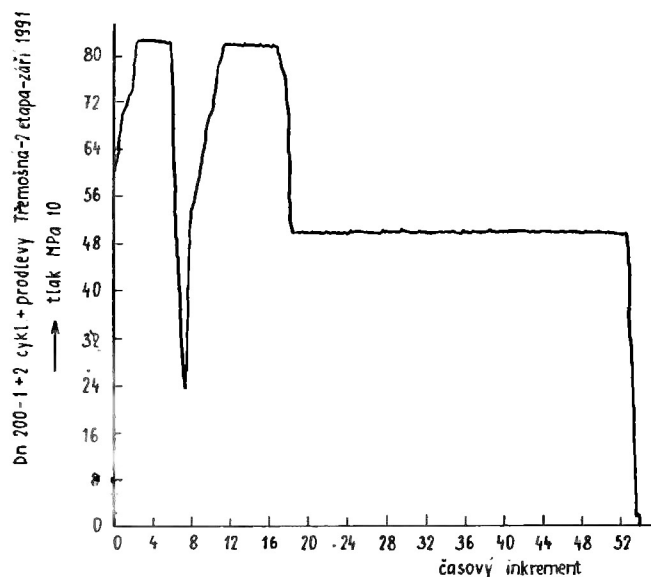
Obr. 1. Čisticí vpust' tlakovací komora DN 200 PN 100



Obr. 3. Molitanový vytírací píst



Obr. 2. Vsouvač/lapač čisticích elementů



Obr. 4. Zápis obou cyklů napěťové zkoušky včetně prodlev a následné hlavní tlakové zkoušky dle ČSN 38 6410 (úsek č. 4)

oceli s dostačující tažností a velkou plasticitou, která dovolí úzce lokální koncentrace vyrovnat, byl pro dané potrubí definován průměrný součinitel koncentrace napětí hodnotou 2. Z toho bylo odvozeno, že potrubí lze zatížit, aniž by došlo k jeho poškození při napěťové zkoušce, na hodnotu 0,5 Re. Napěťová zkouška byla předepsána ve dvou cyklech, v prvním na tlak 8,3 MPa v nejnižším bodě zkoušeného úseku, ve druhém na 8,1 MPa. Důležité je zde nasazení akustické emise, kdy porovnáním záznamů z obou zátěžových cyklů lze posoudit, zda při druhém cyklu nedochází k rozvoji vad.

Návrh speciálních technických prostředků

Protože technologie prací čištění a tlakování vyžadovala použití některých prvků, které nebyly ještě u tohoto typu potrubí použity, byly navrženy



Obr. 5. Pro plynárníka poněkud nezvyklý pohled - ručička manometru ukazuje maximální tlak při prvním cyklu napěťové zkoušky - u potrubí DN 200 PN 25 je to 8,3 MPa!!

V jeho vnitřní části je volně uložený koš, který pomocí šroubu zatlačuje čisticí element do potrubí.

Lapač prachu

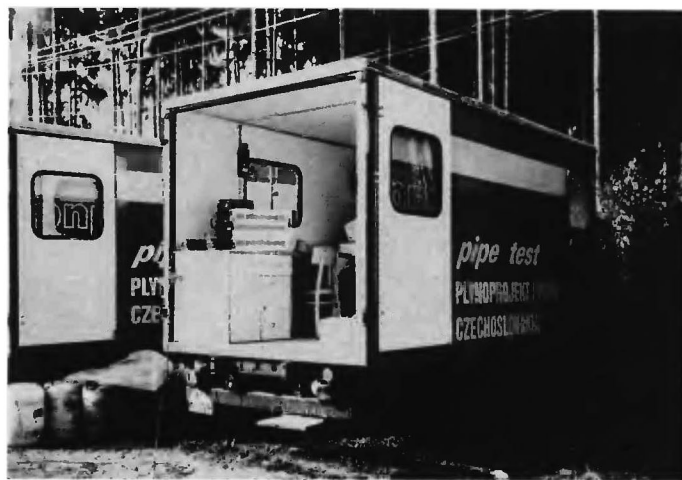
Lapač prachu slouží k zachycování mechanických nečistot při čištění potrubí na sucho. Je vyroben z filtrační hadice z netkaného materiálu SINET PES - 1 na výstupním konci svázané a na vstupním upevněné ocelovými páskami na výstupní komoru.

Projekt a příprava rehabilitovaného úseku před napěťovou zkouškou

Před zpracováním projektu rehabilitace plynovodu musí předcházet



Obr. 6. Měřicí ústředna



Obr. 7. Technologické a měřicí vybavení se vejde do dvou Aví

a vyrobeny tyto elementy:

Tlakovací komora/čisticí vpust' (obr. 1)

Tlakovací komora byla přivařena vždy na začátek a konec úseku. Kromě tlakování se používá i ke vkládání čisticího elementu do potrubí. Komora má na zaslepovací přírubě navařený jehlový ventil DN 15 pro přívod tlakového vzduchu. Svrchu je opatřena přírubou DN 50 PN 100 pro přívod vody a přírubou DN 80 PN 100 s dvěma manometrovými smyčkami pro dálkové měření tlaku. Kromě toho je na ní místní měření tlaku manometrem. Na komoře je ještě jeden jehlový ventil pro umožnění přívodu dostatečného množství vzduchu z kompresoru.

Upravené čisticí/oddělovací pryžové koule (obr. 2)

Oproti běžným čisticím koulím DN 200 dodávaným ZČP Plzeň mají upravené typy vnitřní vyztužující prvek.

Molitanový vytírací píst (obr. 3)

Molitanový píst sloužil k vysoušení a vytírání plynovodu od zbytků vody po tlakové zkoušce. Skládal se z molitanových kotoučů, navlečených na svorník, vyztužených pryžovými a ocelovými podložkami.

Vsunovač a lapač čisticích prvků (obr. 2)

Vsunovač čisticích prvků se upevňuje přírubou na přírubu komory.

rozvaha, jak rozdělit plynovod na jednotlivé úseky s ohledem na výškové rozdíly (plnění vodou a tlakování) a s ohledem na zásobování obcí nebo podniků zemním plynem. S přihlédnutím k tomu byla délka úseku 4,26 km rozdělena na 4 dílčí úseky.

Rehabilitace probíhala ve dvou etapách. Nejprve se pracovalo na dílčích úsecích č. 1, 2 a 3, ve druhé etapě na úseku č. 4. Důvodem byl požadavek na nepřerušování dodávky zemního plynu do obce Třemošné. V první etapě, po odtlakování a odříznutí úseku 1 - 3 od živého plynovodu, bylo osazeno šoupě DN 200 PN 40 vč. ochozů na konec úseku č. 3. Ve druhé etapě bylo vyměněno šoupě na konci úseku č. 4, místo původního PN 25 nové PN 40.

Dále následovalo odkrytí a vyříznutí odvodňovačů, které při záměně svítiplynu za zemní plyn ztratily svůj účel, a které by vadily při čištění a plnění plynovodu vodou i při tlakové zkoušce. V některém místě byla odvodňovací jámka nahrazena trubkou, v místě, kde byla jámka v lomovém bodě, byla nahrazena segmentovým obloukem, v jiném místě přímo sloužila jako začátek nebo konec úseku. Tím byl plynovod rozdělen na úseky a připraven k vlastnímu čištění. Na začátek i konec úseku byla vždy přivařena čistící vpust' (kromě úseku č. 1 o délce 60 m, kde se čištění neprovádělo) a pomocí zasouvače koulí byla do plynovodu zasunuta pryžová koule DN 200 pro odstranění mechanických i chemických nečistot. Směr pohybu koule byl zvolen tak, aby koule šla ve směru hrdel. V zaslepovací přírubě tlakovací komory je umístěn jehlový ventil a tlakem vzduchu z kompresoru

přes tento ventil se uvádí koule do pohybu. Pryžová koule byla dutá, slepená ze dvou polokoulí a tedy dost pružná. Tato její vlastnost, která se zprvu jevila jako výhodná (lépe projde přes hrdla trubek i různými zakřiveními) se ukázala naopak velice nevhodná. Při průchodu koule potrubím je někdy zapotřebí tlaku vzduchu až 0,5 MPa a pružná koule se natolik deformovala, že praskla. Proto byla vyrobena koule uvnitř vyplněná pryží. Takto byl každý úsek 2x vyčištěn na sucho a nečistoty byly zachycovány do lapače prachu. Po suchém čištění následovalo čištění zátkou vody (asi 200 l), která byla umístěna opět mezi pryžové koule a protlačena vzduchem. Z této vody byl odebrán vzorek a byla provedena analýza na obsah ropných látek. Podle výsledku analýzy se zátka případně opakovala a plynovod byl připraven k naplnění vodou.

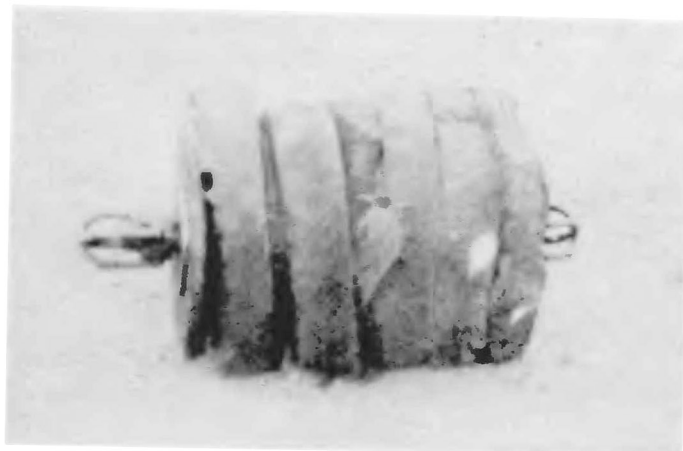
Další součástí rehabilitačních prací bylo odkopání některých míst s vyso-

ce pozitivním výsledkem Pearsonovy zkoušky (vady typu 3). Spolu s místy technologického dělení úseků bylo celkem obnaženo 8 míst plynovodu, kde byla izolace silně porezní. V těchto místech byl posouzen stupeň korozního poškození potrubí a bylo konstatováno, že v žádném z míst neohrožuje bezpečnost dalšího provozu. Přesto u oblasti nejbližší Plzni, kde je plynovod veden v blízkosti konečné stanice tramvaje, bude třeba věnovat provozu KAO zvláštní pozornost vzhledem k působení bludných proudů. Všechna odhalená místa byla zpětně zaizolována klasickou technologií.

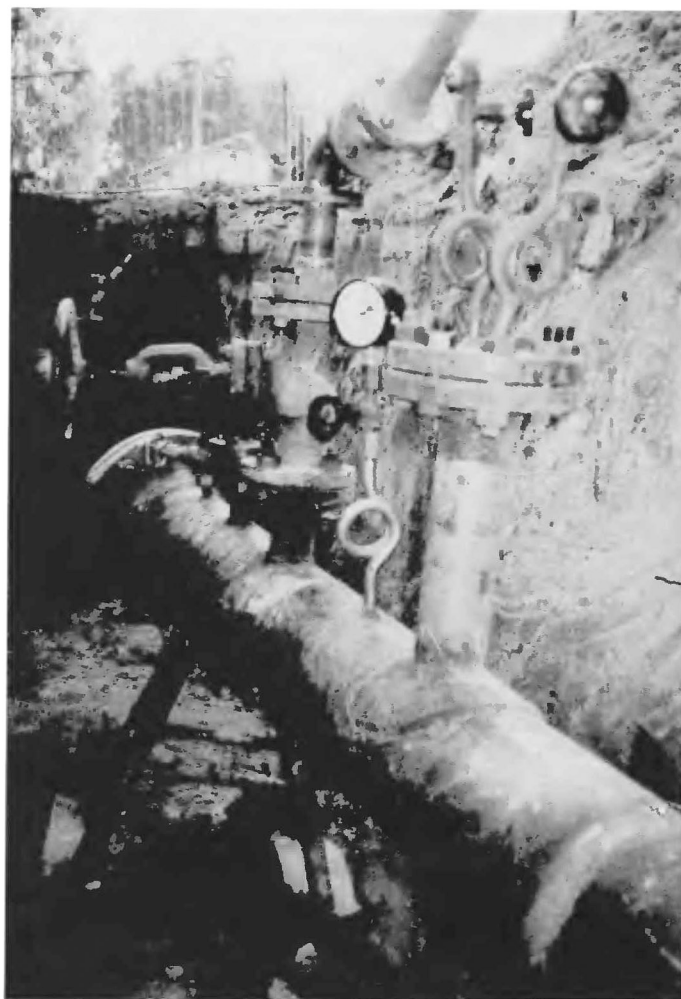
Napěťová zkouška

Vlastní provedení napěťové zkoušky bylo identické pro všechny tři úseky rehabilitovaného plynovodu.

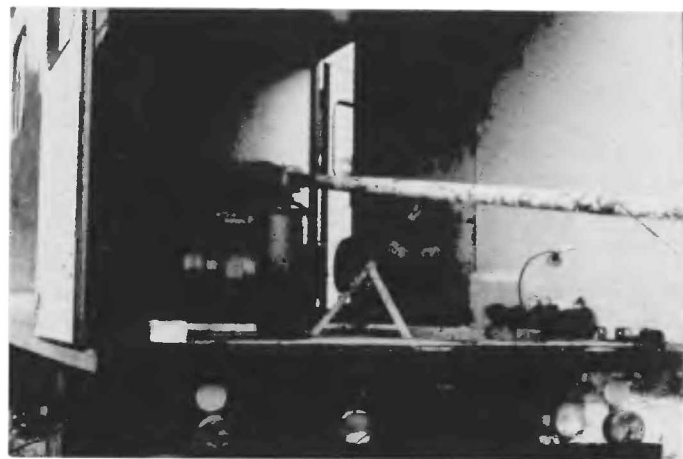
Do čistící vpustě na začátku úseku



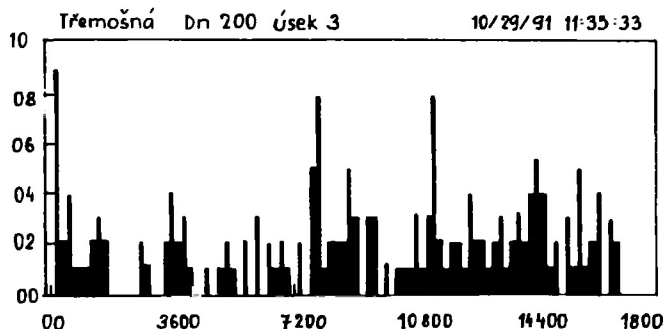
Obr. 8. Molitanový píst po průchodu 660 m dlouhého úseku hrdlového plynovodu



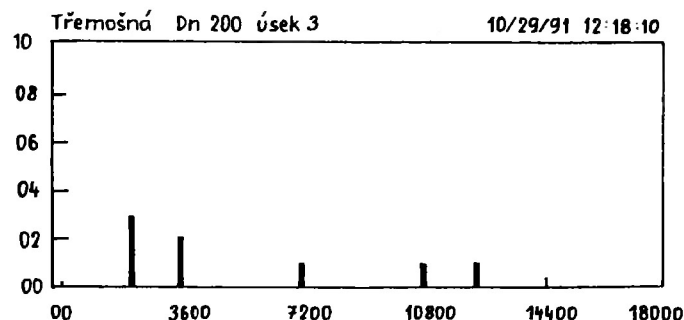
Obr. 10. Vakuumetr ukazuje podtlak v potrubí - tentokrát je tam (opět nezvyklých) minus 96 kPa



Obr. 9. Pro vytvoření vakua při sušení slouží dvě vývěvy s výkonem po $60 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$



Obr. 11. Záznam akustické emise z prvního tlakovacího cyklu
první cyklus tlakování 4,8 - 8,4 MPa; celkový počet akustických událostí 178



Obr. 12. Záznam akustické emise z druhého tlakovacího cyklu
druhý cyklus tlakování 4,8 - 7,8 MPa; celkový počet akustických událostí 8

byly vloženy současně dvě pryžové koule a do prostoru mezi nimi byla požárním vysokotlakým čerpadlem natlačena voda. Zatímco v pořadí druhá koule (zadní) byla tlakem vody přitisknuta k přírubě vpustí, první koule byla tlačena ke druhému konci úseku. Vhodnou kombinací rychlosti vtlačení vody a odvzdušňování na konci úseku se dala rychlost přední koule ovlivňovat tak, aby docházelo k minimálnímu zavzdušnění plynovodu. Díky tomu nepřekročilo zavzdušnění žádného z úseků objemově 0,5 %. Po ukončení plnění tedy byly koule přitisknuty na uzavírací záslepky obou čistících vpustí a prostor mezi nimi vyplněn vodou. Poté byla napouštěcí a odvzdušňovací potrubí uzavřena a zaslepena.

Jedna z komor byla osazena přesnými snímači tlaku AT PRESS z VÚAPu Praha (reprodukovatelnost kalibrační křivky 0,01 %), které byly těsně před akcí přecejchovány výrobcem. Dále bylo potrubí osazeno ve vybraných místech snímači akustické emise. Na tlakovací vpust' bylo vysokotlakou hadicí přes uzavírací ventil a zpětnou klapku napojeno vysokotlaké čerpadlo TAN-600 z výroby Sigmy Lutín, které je schopno při průtoku 2 l/min dosáhnout tlaku 60 MPa. Přičerpávané množství vody na vstupu do čerpadla bylo měřeno s přesností 0,1 l s četností závislejší na aktuální výši tlaku. Při dosažení úrovně tlaku nad 7 MPa se odečet prováděl při dosažení každého dalšího 0,05 MPa. Tato kontrola závislosti tlaku a přičerpávaného množství vody umožňuje ihned rozeznat počátek plastizace potrubí v případě, že se namáhání některé jeho oblasti dostane na mez kluzu. Tlakování probíhá v modulovaném režimu s prodlevami, aby bylo zabezpečeno průběžné uklidňování materiálu potrubí.

Po dosažení max. tlaku v prvním

cyklu následuje 60 min prodleva, poté je plynovod opět modulovaně odtlakován na nulový přetlak. Následuje druhý tlakový cyklus se stejným průběhem. Po ukončení prodlevy na konci cyklu se modulovaně snížil tlak na 5 MPa, což je zkušební tlak předepsaný ČSN 38 6410 pro hydraulickou tlakovou zkoušku. Při tomto tlaku proběhla zkouška po dobu předepsaných 6 hodin. Grafický záznam z úplného tlakového cyklu je na obrázku 4. Pro ilustraci je na obrázku 5 osazen i manometr ručičkový, na němž je vidět maximální dosažený tlak v průběhu prvního cyklu napětové zkoušky, 8,3 MPa. Celý proces zkoušky (růst tlaku a přičerpávané množství vody) je sledován a řízen prostřednictvím speciální elektronické měřicí ústředny (obr. 6). Celé technologické a měřicí vybavení je instalováno odděleně do dvou skříňových Avii 31 (obr. 7).

Po ukončení úřední tlakové zkoušky byla voda pomocí stlačeného vzduchu přes druhou kouli umístěnou v komoře na počátku úseku vytlačena z potrubí do fekálního vozu. Před vypuštěním vody se rozbořem ověřilo, že neobsahovala škodlivé příměsi (ropné látky), a tedy splňovala podmínky nařízení vlády ČSR č. 25/1975 Sb. Poté byl vnitřní povrch potrubí osušen molitanovým pístem. Pro posouzení kvality vnitřního povrchu potrubí je zajímavé porovnat stav molitanového pístu před (obr. 3) a po absolvování 660 m dlouhého úseku plynovodu (obr. 8). Z tohoto porovnání je zřejmé, jak náročné budou v hrdlových trubkách pracovní podmínky pro připravované ježky pro vnitřní inspekci při rehabilitacích v budoucnu.

Po osušení vnitřního povrchu plynovodu molitanovým pístem byly tlakové komory na obou koncích plynovodu opět uzavřeny a zbytek vody v potrubí byl odstraněn vakuem. Podstata toho-

to procesu spočívá ve snížení absolutního tlaku v potrubí na takové hodnoty, kdy je již bod varu vody natolik blízký teplotě zeminy, že dochází k tvorbě vysoce nasycených par nebo dokonce k varu zbylé vody v potrubí. V daném případě bylo dosaženo tlaku 4 kPa (podtlak 96 kPa, tj. cca - 0,96 at), obrázek 9 a 10, což sice ještě nevedlo k bezprostřednímu varu vody v potrubí, ale byla dosažena taková relativní vlhkost odsávaného vzduchu, že po 4 hodinách čerpání byl po otevření komor vnitřní povrch potrubí suchý.

Tím byl plynovod připraven ke zpětnému napojení.

Měření akustické emise /AE/

V průběhu tlakových zkoušek bylo současně prováděno měření aparaturou akustické emise, za účelem zjištění případných trhlin na exponovaných místech potrubí, tj. v hrdlových svarech a ostrých ohybech plynovodu.

Akustická emise

Houževnaté materiály trubních ocelí vykazují při namáhání nad určitou mez trvalé plastické prodloužení. V místě vady při úrovni namáhání pod mezí pevnosti, v oblasti plastické deformace, se šíří akustická energie - emise, vznikající houževnatým trháním materiálu. Akustická emise je představována elastickými vlnami, které se šíří materiálem s vysokou frekvencí okolo 100 kHz, kdežto ve stlačeném médiu v potrubí se šíří s frekvencí nižší, okolo 30 kHz. Signály AE, které vznikají trvalým poměrným prodloužením nebo trháním v místě vady jsou zjištělné citlivými snímači umístěnými na některé straně vady. Tento děj je nevratný z důvodu plastické deforma-

ce a nastává jen při zvyšovaném namáhání materiálu, tzv. Kaiserův efekt.

Signály akustické emise se šíří jak v materiálu potrubí, tak i ve stlačeném médiu v potrubí. Šíření elastických vln s vysokou frekvencí v materiálu má velký útlum, takže lze zjišťovat signály AE jen do vzdálenosti několika metrů, kdežto přenos signálů AE ve stlačeném médiu lze detekovat do vzdálenosti desítek metrů a v optimálních podmínkách sta metrů.

V potrubí se stlačeným proudícím médiem existuje mnoho nahodilých zdrojů akustických signálů, avšak relevantní živé trhliny v materiálu lze odlišit tím, že signály událostí AE jsou vyznačeny kontinuálním nárůstem událostí AE, při plynule se zvyšujícím tlaku v potrubí. Vzhledem k vysoké citlivosti snímačů signálu AE, je nutno dbát na to, aby se vyloučily jakékoliv činnosti v bezprostřední blízkosti potrubí a snímačů, jako jsou manipulace s armaturami nebo opravářské práce na potrubí, jakož i provoz motorových vozidel v blízkosti snímačů apod. Všechny tyto činnosti mohou vyvolat výrazné signály událostí AE, což pak ztěžuje vyhodnocování záznamu po měření AE obtížným rozeznáváním od skutečných vad.

Měřicí aparatura AE

Pro zjišťování trhlín v materiálu či svarech potrubí byla použita čtyřkanálová aparatura AE PAC 3000/3104 fy Physical Acoustics Corporation. Aparatura pracuje pod speciálním firemním softwarem RT/DAS (Real Time Data Acquisition Software). Ke snímání signálů AE byly použity snímače typu R61 s citlivostí do 60 kHz, s integrovanými předzesilovači se ziskem 40 dB. Ke kalibraci citlivosti snímačů AE před měřením byla použita pulsní sonda PAC P. Propojení snímačů s aparaturou bylo provedeno koaxiálními kabely.

Měření AE

Snímače signálů AE byly umístěny na předem připravených ploškách, vybroušených na kovově čistý povrch, o rozměrech asi 100 x 100 mm, v místech předpokládaných možných trhlín, tj. v místech hrdlových svarů a ostrých ohybech potrubí, kde bylo potrubí odkryto. Před upevněním snímačů AE a pulsní sondy je třeba nanést na připravené plošky vazetní prostředek k akusticky vodivému

spojení snímačů AE a pulsní sondy se stěnou potrubí.

Signály událostí AE byly snímány plynule v průběhu každého tlakování a zaznamenávány na disketu zařízení. Na všech čtyřech kanálech aparatury AE bylo nastaveno prahové napětí 1 V, při zesílení na zesilovačích aparatury 30 - 40 dB. Mimoto byly ještě údaje měřených signálů událostí AE zaznamenávány ručně do tabulek v časové závislosti na zvyšování tlaku. Měření signálů událostí AE se provádělo na každém úseku potrubí v průběhu obou tlakování, aby se ověřila průkaznost zjištění možné trhliny.

Vyhodnocení měření AE

Pro ilustraci jsou uvedeny záznamy z měření na třetím úseku, znázorněné v grafech na *obrázcích 11 a 12*. V průběhu prvního tlakování docházelo k záznamu značného počtu událostí AE, který by mohl svědčit o výskytu trhliny. Avšak při druhém tlakování událostí AE takřka vymizely. Vysoký počet událostí v průběhu prvních tlakování vyplývá ze způsobu uložení potrubí. V průběhu prvního tlakování docházelo zjevně k dosti značnému uvolňování potrubí v zemi, s tendencí jeho pohybu ve svahu a v ohybech. Při druhém tlakování, kdy už byla tato část potrubí stabilizována, byl zaznamenán podstatně nižší počet signálů událostí AE, což rovněž dokazuje, že vysoký počet událostí AE při prvním tlakování nepocházel od trhliny v materiálu nebo ve svaru potrubí. Druhé tlakování těchto úseků prokázalo, že záznamy událostí AE nepocházejí od trhlín, vzhledem k nepravidelnosti, jakož i nesouvislé návaznosti těchto záznamů. Měření signálů událostí AE při druhém cyklu tlakování prokázala neopakovatelnost signálů získaných při cyklu prvním, zatímco jejich opakování by svědčilo o možných trhlínách v základním materiálu či svarech potrubí.

Opakované tlakování všech úseků potrubí a záznamy signálů událostí AE z opakovaných měření prokázaly způsobnost tohoto potrubí pro provoz při zvýšeném tlaku přepravovaného plynu.

Rámcové ekonomické zhodnocení rehabilitace daného úseku plynovodu

Pro rámcové ekonomické zhodnocení procesu rehabilitace plynovodu je nejvhodnější vycházet z porovnání celkových nákladů rehabilitace daného úseku plynovodu s náklady na vybudování nového plynovodu s identickými technickými parametry. Toto srovnání je do jisté míry zjednodušené, neboť nerespektuje skutečnost, že zbytková životnost rehabilitovaného plynovodu je nižší než u plynovodu nového. Protože však minimální doba zbytkové životnosti rehabilitovaného plynovodu převyšuje zpravidla dobu 15 let, je ekonomický dopad tohoto zjednodušení kompenzován rozdílem v celkových nákladech na úvěr oproti případu vybudování plynovodu nového.

V daném konkrétním případě byla provedena rehabilitace 4,26 km plynovodu DN 200, plynovod byl převeden do kategorie PN 40 a osazen 2 ks šoupátek PN 40 s úplnými ochozy. Celkové náklady akce činily 1,15 mil. Kčs. Vybudování stejně dlouhého plynovodu DN 200 PN 40 osazeného 2 uzávěry stejného provedení by při současné cenové úrovni (odvozené kombinací měrných ukazatelů r. 1990 a 1991) vyžadovalo investiční náklad 6,50 mil. Kčs. Ekonomický efekt, daný rozdílem nákladů je z tohoto porovnání patrný.

Závěr

Úspěšně provedená napěťová zkouška a výsledky záznamů akustické emise prokázaly, že výchozí teoretické úvahy při stanovování podmínek zkoušky byly správné a dosažené přetížení představuje probudoucí provoz při max. tlaku 4 MPa dvojnásobnou bezpečnost.

Z porovnání funkčních parametrů při provozu KAO vyplývá, že i opravou relativně malého počtu vad izolace (ovšem na základě důkladného průzkumu korozní situace) lze stupeň chránění plynovodu významně zvýšit.

Zavedením technologie rehabilitací plynovodů v Československu se zvyšuje provozní bezpečnost starých plynovodů způsobem, který je na úrovni technologické špičky v plynárenství světovém.

Hlavní název: Plyn
Datum vydání výtisku: 1.1992
Číslo výtisku: 1
Druh dokumentu: číslo periodika
ISSN: 0032-1761
Číslo stránky: 1 - 9

SYSTEM
♦KRAMERIUS♦

Podmínky využití

Český plynárenský svaz poskytuje přístup k digitalizovaným dokumentům pouze pro nekomerční, vědecké, studijní účely a pouze pro osobní potřeby uživatelů. Část dokumentů digitální knihovny podléhá autorským právům. Využitím digitální knihovny Českého plynárenského svazu a vygenerováním kopie části digitalizovaného dokumentu se uživatel zavazuje dodržovat tyto podmínky využití, které musí být součástí každé zhotovené kopie. Jakékoli další kopírování materiálu z digitální knihovny Českého plynárenského svazu není povoleno bez předchozího písemného svolení Českého plynárenského svazu.

Český plynárenský svaz
Novodvorská 803/82
142 00 Praha 4

cpsvaz@cgoa.cz
m