



Ing. Josef Polák, CSc. (*1933)

Je absolventem ČVUT, fakulta inženýrského stavitelství, a postgraduálního studia na VŠCHT v Praze v oboru koroze. V letech 1956–98 pracoval v Chemoprojektu Praha jako projektant, od roku 1965 jako specialista v oboru katodické ochrany s bohatou publikační činností. Od r. 1988 je soudním znalcem v oboru koroze.

Inset, s.r.o., Divize geologie a geofyziky, Novákových 6,
180 00 Praha 8, 08/2011

[10] Karlín Hall 2, Pernerova ul., Praha 8-Karlín, Geofyzikální
a základní korozní průzkum, Sihaya, s.r.o., Veleslavínova 6,
612 00 Brno, 04/11

[11] IP Trading s.r.o., Štýřice, ul. Pražákova, 639 00 Brno.
Závěrečná zpráva o korozním průzkumu staveniště, vyprac.
RNDr. Pavel Vavřda, Jungmannova 12, 772 00 Olomouc

[12] Polák, J.: DPS akce Dětské volnočasové centrum Fialka,
Říčany, ul. Mánesova, část: Opatření ochrany stavby proti
účinkům bludných proudů, 05/2012

Lektoři: Ing. Pavel Veleta, Ing. Jan Thomayer

Summary:

Josef Polák:

Determining Changes in the Electrical Field of Stray Currents around Defined Non-linear Structures Prior to Their Burying

New non-linear structures (service pipes, steel micropiles, steel tanks, shafts, bridges, anode earthing of cathodic protection systems, etc.), but in particular earthing systems, situated in a stray current field, collect current from the adjacent areas. This deforms the original electrical field and the average density of the stray current around the buried structure, in particular the earth electrode, increases compared with the situation without this protective earthing. The practical impact of this consists in the fact that corrosion control surveys (such as the determination of the intensity of the electrical field and the density of current in earth) yield a higher risk of corrosion than the real risk in the case that such corrosion control surveys are carried out in the zone influenced by the earth electrode.

For specific buried structures in defined corrosion environments, mathematical formulae have been derived and verified by field measurements. These relationships, used for calculations, characterise the degree to which the buried structure (earth electrode) collects current from earth, and make it possible to determine the ground plan area, primarily around the earth electrode, in which the 'streamlines' are deformed. The contribution offers practical examples and also recommendations formulated on the basis of completed surveys, which will help to make the measures for the protection against effects of stray currents more efficient.

Pohon inspekčních ježků náhradním médiem

Ing. Aleš Brynych, Ing. Petr Kubíček

CEPS a. s.

Letmý pohled na internetové stránky firem zabývajících se vnitřní inspekci ocelových dálkovodů může ve čtenáři lehce vzbudit dojem, že technologie vnitřní inspekce je již plně zvládnutá, a že současnými sofistikovanými inspekčními nástroji je možné snadno diagnostikovat snad veškeré známé druhy závažných vad na potrubí. Při výběru vhodné metody pro provedení vnitřní inspekce potrubí přepravujícího plynná média se však situace začíná značně komplikovat. Ultrazvukové inspekční nástroje nelze při běžném provozu použít, neboť jsou ze své fyzikální podstaty určeny pro potrubí přepravující kapaliny. Moderní inspekční nástroje typu EMAT pracující s vedenou akustickou vlnou jsou zase komerčně k dispozici pouze pro potrubí o průměru od DN 350 do DN 1 400. Vnitřní inspekce potrubí přepravujících plyn se tedy standardně provádí nástroji typu MFL (Magnetic Flux Leakage) nebo jejich adaptací např. TFI (Transverse Field Inspection), které při detekci vad využívají rozptylu magnetického pole ve stěně potrubí. I když jsou inspekční nástroje pracující s magnetickým polem velmi spolehlivé při vyhledávání vad typu plošných úbytků materiálu ve stěně potrubí, na rozdíl

od ultrazvukových nástrojů však nebezpečně úzké axiálně orientované trhliny ve stěně trubky detekovat nedokážou.

Nástroje pro vnitřní inspekci potrubí jsou z fyzikální podstaty měření zpravidla konstruovány tak, že poskytují kvalitní data o stavu potrubí pouze za předpokladu, že se v průběhu vnitřní inspekce pohybují v potrubí rychlostmi v předepsaném rozsahu. Obecně se tyto rychlosti pohybují v intervalu 0,2–4,0 m/s při použití technologie MFL/TFI a 0,2–2,2 m/s při použití technologie ultrazvukové. Tato konstrukční omezení inspekčních nástrojů situaci dále komplikují, neboť zdaleka ne u všech potrubí lze v průběhu vnitřní inspekce zajistit stabilní průtok plynného média nezbytného pro plynulé unášení inspekčního nástroje potrubím předepsanou rychlostí. Uvedené komplikace nastávají tehdy, když není možné zajistit potřebné množství média pro přepravu potrubím v určitém čase nebo jeho následný odběr, uskladnění či prodej. V České republice se komplikace spojené se zajištěním dostatečného a stabilního průtoku týkají většiny dosud neinspektovaných páteřních distribučních plynovodů dimenzí DN 200 až DN 700, u kterých navíc často dochází ke změně směru proudění plynu po trase v závislosti na poloze rozhodujících odběrů a napájecích regulačních stanic. Z výše uvedeného tedy vyplývá, že i po zprůchodnění těchto plynovodů pro provedení vnitřní inspekce a dovybavení konců potrubí stabilními nebo pouze dočasnými komorami pro vypouštění a zachycení inspekčních nástrojů, by provedení vnitřní inspekce v proudě přepravovaného média bylo realizovatelné jen stěží.

V minulosti byla podniknuta řada více či méně úspěšných pokusů, jak uvedené komplikace vyřešit. Společnosti zabývající se vývojem inspekčních nástrojů se již před třiceti lety zabývaly myšlenkou na adaptaci ultrazvukového inspekčního nástroje pro použití v plynových potrubích, tyto snahy však dodnes nevyústily do běžného užívání těchto nástrojů v praxi.

Provozovatelé plynových potrubí a firmy provádějící servis potrubních systémů naproti tomu přišli s myšlenkou na provedení vnitřní inspekce potrubí s využitím náhradního média použitého pro pohon inspekčního nástroje.

Jako nejjednodušší řešení se nabízelo využití stlačeného vzduchu generovaného stavebními kompresory. Záhy se však zjistilo, že takto poháněný nástroj se v potrubí pohybuje „přiskoky“. Zastavuje se na překážkách jako obvodový svar, ohyb, vyboulení stěny potrubí, změna průměru apod. a čeká na zvýšení přetlaku, které mu umožní odpor překážky překonat. Po uvolnění dosahuje nástroj skokově rychlosti až 30 m/s. Pohybem inspekčního nástroje dochází ke snížení přetlaku hnacího vzduchu, následkem čehož nástroj zpomaluje, až se na další překážce opět zcela zastaví a cyklus se znovu opakuje. Naměřená data jsou z důvodu častého pohybu inspekčního nástroje rychlostí mimo stanovený rozsah velmi nehomogenní a často neposkytují validní informace o rozsáhlých úsecích potrubí. Nevhodnost použití stlačeného vzduchu jako náhradního pohonu inspekčního nástroje byla ověřena i v praxi. Například v roce 2007 se uskutečnila inspekce odstaveného potrubí DN 150, PN 100 pro přepravu propylénu v délce 52 km mezi Merchtem a Feluy nedaleko Bruselu v Belgii. Před vlastní vnitřní inspekcí bylo provedeno měření potrubí geometrickým inspekčním ježkem. Na výslovnou žádost provozovatele potrubí byl inspekční ježek poháněn stlačeným vzduchem o maximálním přetlaku 22 bar, přičemž protitlak před ježkem byl udržován na hodnotě do 20 bar. Ze záznamu rychlosti pohybu geometrického ježka jasně vyplynulo, že použití stlačeného vzduchu k pohonu inspekčního nástroje vhodné není, neboť se ježek po trase pohyboval „přiskoky“ rychlostmi často vysoko mimo rozsah předepsaný pro kvalitní měření. Na základě tohoto zjištění bylo při provádění vlastní inspekce od pohonu inspekčního nástroje stlačeným vzduchem odstoupeno.

Slepotu cestu pro pohon inspekčních nástrojů představuje rovněž použití stlačeného vzduchu o tlaku vyšším než 35 bar. Tímto způsobem lze teoreticky v potrubí simulovat obdobné prostředí jako při inspekci prováděné v proudu přepravovaného zemního plynu (on-stream pigging), což by v zásadě řešilo problém nerovnoměrného pohybu inspekčního nástroje. Enormní požadavky na množství stlačeného vzduchu, energetická náročnost této metody a s ní související vysoká zátěž pro životní prostředí jsou však hlavními důvody, proč se v praxi stlačeného vzduchu pod přetlakem vyšším než 35 bar k pohonu inspekčních nástrojů nevyužívá. Například na protažení inspekčního ježka potrubím DN 500 rychlostí 0,5 m/s by bylo nutné zajistit stlačení cca 13 000 m³ vzduchu za hodinu. Mobilní vysokotlaké kompresory vhodné pro zajištění požadovaného množství takto stlačeného vzduchu však na evropském trhu v současné době v potřebném množství k dispozici nejsou. Přitom vlastní tlaková ztráta způsobená třením inspekčního nástroje o stěnu potrubí nepřevyšuje 2 bary a veškerý ostatní vzduch komprimovaný s velkými náklady slouží jen pro stabilizaci rychlosti chodu inteligentního ježka.

V případech, kdy pro pohon inspekčního nástroje není možné

využít přepravované médium, se proto nezřídkou využívá k jeho pohonu potrubím voda. Tato metoda – samozřejmě provedená off-line – jednak otevírá možnost pro provedení vnitřní inspekce ultrazvukem i v potrubích přepravujících plyn a zároveň poskytuje ustálenou rychlost pohybu ježka při inspekčním běhu. Vnitřní inspekce provedená ultrazvukovým nástrojem poskytuje ve srovnání s nástroji MFL komplexnější obraz o stavu dálkovodu. Ustálená rychlost pohybu nástroje potrubím je základním předpokladem pro správnou funkci inspekčních systémů. I když se s pomocí této metody dosahuje vynikajících výsledků, zejména z důvodu velmi rovnoměrného pohybu nástroje při inspekčním běhu, překážku pro její běžné využívání stále představují vysoké nároky na spotřebu použité vody, které mohou dosahovat až dvojnásobek objemu inspektovaného potrubí. Příhodnost použití vody jako náhradního pohonu inspekčního nástroje byla v praxi ověřena například v roce 2011 v rámci úspěšné vnitřní inspekce ultrazvukovým nástrojem plynovodu DN 250, PN 63 v délce 33 km mezi Wabrzesno a Brodnici v centrálním Polsku, kde společnost CEPS komplexně zajišťovala pohon inspekčního nástroje a následné vysušení potrubí suchým vzduchem.

V průběhu srpna 2012 řešili inženýři společnosti CEPS problematiku spojenou s uskutečněním vnitřní inspekce plynovodu mezi Kowalou a Jędrzejowem nedaleko Krakova v Polsku. Jednalo se o plynovod DN 300, MOP 60 o celkové délce 30,5 km bez odboček. Na uvedeném plynovodu nebylo možné z důvodu nedostatečného průtoku zemního plynu potrubím uskutečnit vnitřní inspekci konvenčním způsobem, kdy se inspekční nástroj protlačuje potrubím v proudu přepravovaného média (on-stream pigging). Proto byla zvolena off-line inspekce s pohonem ježka vodou. Značnou komplikací však představovala pouze sedmidenní plánovaná odstávka, v rámci které bylo nutno provést následující činnosti:

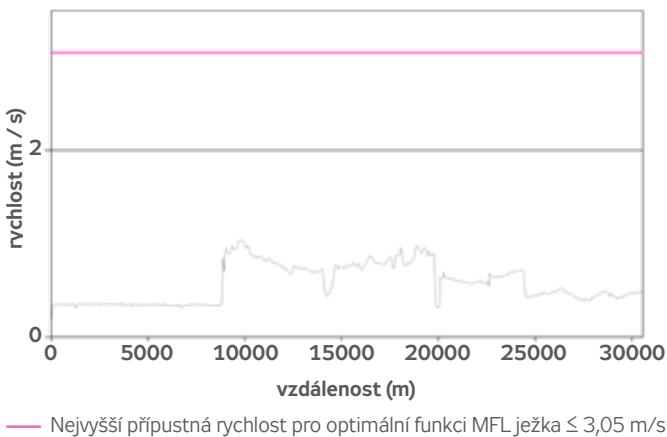
- uskutečnit řízené napuštění plynovodu vodou v celé délce při současném protlačení inteligentních ježků,
- urychleně vypustit použitou vodu z potrubí, neboť množství vypouštěné vody v průběhu každého jednotlivého dne bylo značně omezeno rozhodnutím vodoprávního úřadu,
- vysušit potrubí.

Na základě výše uvedených omezujících podmínek byl navržen a následně začátkem září i zrealizován neobvyklý a doposud společnostmi zajišťující vnitřní inspekci zavržený kombinovaný postup pohonu inspekčního ježka, kdy inspekční ježek je v průběhu inspekce potrubím posouván jako součást vhodně navržené vodní zátky poháněné stlačeným vzduchem. Tento netradiční způsob vychází z úvahy, že hybnost vodní zátky bude tlumit výkyvy v rychlosti pohybu ježka pozorované při pohonu samostatného ježka stlačeným vzduchem, a že plynulost pohybu inspekčního nástroje bude rovněž pozitivně ovlivněna posuvem ježka ve vodním prostředí, kde nadnášející a lubrikační účinek vody přispěje ke zmenšení třecích sil působících proti jeho pohybu. Výhodou takto navržené metody ve srovnání s pohonem inspekčního nástroje pouze vodou je nejenom značné snížení spotřeby vody, ale i zkrácení procesu inspekce o čas potřebný jak pro napuštění, tak pro odstranění vody z potrubí, neboť již v průběhu inspekčního běhu dochází k vytlačování, resp. vypouštění vody z potrubí.

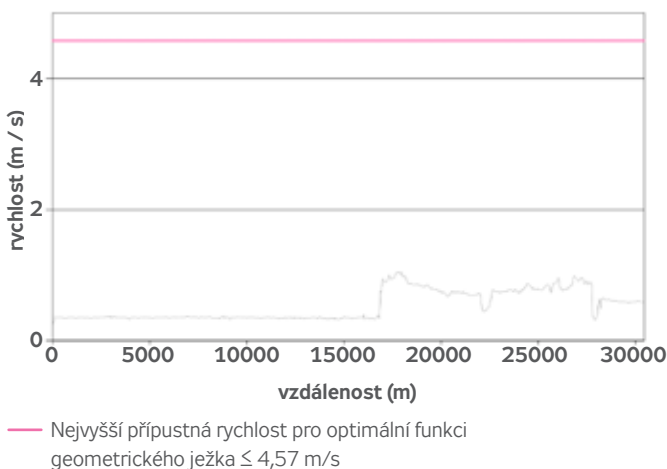
Před provedením vnitřní inspekce byl plynovod odpojen od plynárenské soustavy, odtlakován a inertizován dusíkem.

Jelikož inspektovaný plynovod představoval jedinou transportní cestu pro zásobování Jędrzejowa zemním plynem, byl po celou dobu odstávky Jędrzejów náhradně zásobován třemi kamióny kyvadlově přivázejícími zemní plyn v CNG-cisternách.

Vnitřní inspekce byla provedena současně pomocí samostatného geometrického a samostatného MFL ježka v rámci jednoho inspekčního běhu. Směr provedení inspekce byl zvolen od trasového uzávěru Kowala do trasového uzávěru Jędrzejów. Záznam rychlosti pohybu inspekčních ježků po trase je znázorněn na následujících grafech.



Obr. 1. Graf rychlosti pohybu MFL-ježka



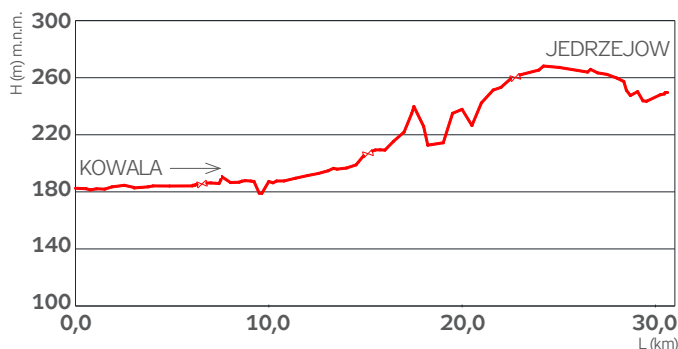
Obr. 2. Graf rychlosti pohybu geometrického ježka

Jako zdroj vody pro vytvoření zátky byla použita řeka Nida, která se nacházela ve vzdálenosti cca 350 m od trasového uzávěru Kowala. Čerpání vody bylo zajištěno dvěma podávacími čerpadly umístěnými na břehu řeky a hlavním čerpadlem (viz obr. 3) umístěným v blízkosti trasového uzávěru. Výkon hlavního čerpadla činil cca $100 \text{ m}^3/\text{hod}$, což zajišťovalo dostatečnou rychlost inteligentních ježků. Mezi podávacími a hlavním čerpadlem bylo vybudováno dočasné nadzemní vodovodní potrubí.

Trasa plynovodu procházela mírně zvlněnou krajinou bez výrazného převýšení (viz obr. 4). Minimální nadmořská výška potrubí byla cca 180 m a maximální nadmořská výška nepřekročila 270 m. V trase plynovodu byly umístěny 3 plnopřechozí trasové uzávěry. Na obou koncích byl plynovod vybaven stabilní vysílací resp. přijímací komorou.



Obr. 3. Mobilní čerpadlo



Obr. 4. Podélný profil trasy plynovodu Kowala – Jędrzejów

Vodní zátka, jejíž součástí byly i inspekční nástroje, byla na počátku a konci vymezena lamelovými písty. Po vložení koncového lamelového pístu do potrubí bylo čerpání vody nahrazeno vtlačěním stlačeného vzduchu dvěma kompresory (viz obr. 5) s celkovým výkonem jen cca $3\,300 \text{ m}^3/\text{hod}$. Rychlost pohybu inspekčního nástroje se pohybovala mezi hodnotami od $0,44 \text{ m/s}$ až po $1,03 \text{ m/s}$, přičemž střední rychlost pohybu činila $0,80 \text{ m/s}$. Při protlačování sestavy ježků a vodních zátek potrubím plynovodu nepřesáhla hodnota výstupního přetlaku vzduchu z kompresorů hodnotu 14 bar. Tento tlak plně dostačoval na překonání:

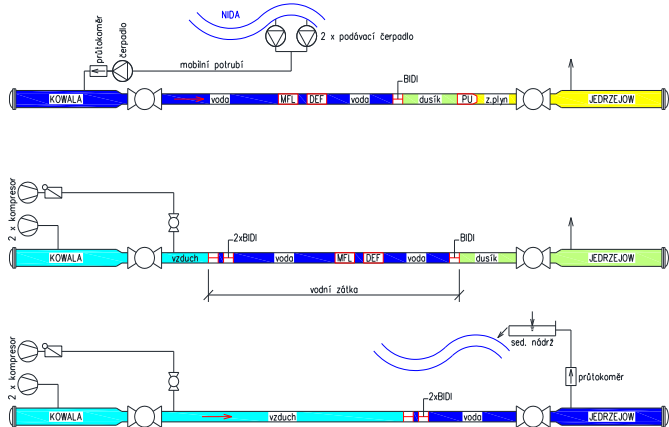
- hydrostatického tlaku vody,
- hydraulického odporu vody,
- řízeného protitlaku vzduchu na konci potrubí,
- třecích sil při pohybu použitých ježků.



Obr. 5. Kompresory pro pohon vodní zátky

Voda použitá pro vytvoření vodní zátky byla z potrubí plynovodu vypouštěna u trasového uzávěru Jędrzejów, kde také byla pro tento účel vybudována sedimentační jímka pro zachycení hrubých

nečistot vyplavených z potrubí. Ze sedimentační jímky odtékala voda přepadem do lokální bezejmenné vodoteče. Konfigurace čerpací techniky v jednotlivých fázích inspekce je znázorněna na obr. 6.



- BIDI Lamelový píst – obousměrný
- PU Polyuretanový píst
- DEF Inspekční nástroj – Deformace potrubí
- MFL Inspekční nástroj – Magnitic flux leakage

Obr. 6. Konfigurace čerpací techniky, ježků, vodní zátky a kompresorů v různých fázích procesu

Po vypuštění vody bylo potrubí plynovodu vysušeno suchým vzduchem na hodnotu rosného bodu vody ve vzduchu vystupujícího z potrubí nižší než $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$. V průběhu sušení byla z potrubí vytírána zbytková voda průchodem celkem 33 molitanových pístů. Celková doba sušení činila cca 55 hodin. Po vysušení byl plynovod napuštěn zemním plynem a opět uveden do provozu.

Rychlost pohybu obou inspekčních nástrojů byla po celou dobu jejich pohybu v potrubí zaznamenávána a následně vynesena do grafů – viz obr. 1, 2. Hodnoty rychlosti posunu inspekčních ježků se v průběhu celé vnitřní inspekce pohybovaly ve výrobcem udaném rozsahu s optimálním výkonem inspekčního ježka. Z porovnání obou grafů je rovněž patrné, že se oba inspekční



Ing. Aleš Brynych (*1970)

vystudoval obor chemické a energetické zpracování paliv na VŠCHT Praha. V letech 1993–95 pracoval jako hlavní technolog v Plynoprojektu Praha. Do roku 1999 zaměstnán jako hlavní technolog ve společnosti Český plynárenský servis, spol. s r.o. Od roku 1999 působí ve společnosti CEPS a. s., nejprve jako hlavní technolog a od roku 2003 jako výrobní ředitel.



Ing. Petr Kubíček (*1971)

vystudoval obor vodní hospodářství a vodní stavby na stavební fakultě ČVUT v Praze. V období 1995–2011 se věnoval projektování plynárenských zařízení. V roce 2002 se stal autorizovaným inženýrem ČKAIT v oboru technologická zařízení staveb. Od roku 2011 působí ve společnosti CEPS a. s. jako vedoucí technický pracovník.



Obr. 7. Sušicí jednotka (kontejner) s kompresorem

nástroje pohybovaly stejnými rychlostmi, z čehož lze usuzovat na kompaktní pohyb celé vodní zátky potrubím. Počáteční inženýrská úvaha, že hybnost vodní zátky podpořená lubrikačním účinkem vody bude tlumit výkyvy v rychlosti pohybu inspekčních ježků pozorované při pohonu samostatného ježka stlačeným vzduchem, byla potvrzena bezvýhradně. Potvrzeny byly rovněž předpokládané snížené nároky na spotřebu vody a časovou náročnost oproti metodě pohonu inspekčního nástroje pouze vodou.

Lektoři: Ing. Václav Herman, Ing. Jaroslav Petroš

Literatura

- [1] CEPS a.s., Technický archiv
- [2] GAS s.r.o., Plynárenská příručka, Praha, 1997
- [3] Krieg Wolfgang (ROSEN Group), Practical Solutions for Unpigging Pipelines – From In-Line Inspection to Robotic Applications, Unpigging Pipeline Solutions Forum, Houston, 2011
- [4] T.D. Williamson, Inc., Guide to Pigging, 2011

Summary:

Aleš Brynych, Petr Kubíček:
Alternative drive for inspection pigs

Using water for driving inspection tools, in combination with the technology of pipeline drying by dry air as the desiccant, offers a realistic option for in-line inspection even in the case of pipelines for which the conventional method, i.e., the inspection tool drifting in the flow of the fuel being transported, cannot be employed. In addition, a modification – well tested in practice – of this method, whereby the inspection pig is pushed through the pipe as part of a water plug driven by compressed air, the time needed for the whole process can be shortened and water consumption can be considerably reduced. The aqueous environment can also be used for ultrasonic inspection tools, which offer a more comprehensive picture of the condition of the inspected pipe than MFL tools. The advantages of driving inspection tools by water are mainly beneficial in the gas industry, in which the application of ultrasonic technology for in-line inspection would mean a significant upgrade in ensuring pipeline integrity.