

**PŘÍSTROJ PRO ZJIŠŤOVÁNÍ TOPOGRAFIE PLOŠNÝCH KOROZNÍCH VAD
DÁLKOVÝCH PLYNOVODŮ****A DEVICE FOR PIPELINE AREA CORROSION DEFECTS SCANNING**Jiří Čáp¹, František Valenta²**Abstract:**

This paper presents a design of a device to be used for scanning gas pipeline external surface damaged by water corrosion. The device provides a 3D-map of the scanned surface in the form of the defect surface deviation from an ideal cylindrical shape. These 3D-map data obtained serve as input data for the remaining carrying capacity assessment of the pipeline by means of the finite element method (FEM). The device applies a polar coordinate system which seems to be the most suitable one for this task. A relatively small mass of the device, together with its battery feeding, enable an easy manipulation in field conditions. The device is able to operate when being attached in any position on the pipe surface. Its control and settings are provided by a computer. The area scanned by the apparatus can in maximum reach 550 x 300 mm in the longitudinal and circumferential pipe directions, respectively. If a larger area of a pipe defect is to be scanned it is possible to connect more sections alongside. In order to achieve a sufficient measuring speed, e.g., 100 points per minute, the device operation is based on contactless optical measuring methods. When using a short measuring step of 1 mm, as many as 165 000 scanned point are attained. Several examples of scanned pipe surface obtained when using the newly developed experimental appliance are presented.

Klíčová slova

dálkový plynovod, MKP, korozní poškození, topografie, bezdotykové měření vzdálenosti

Úvod

Při provozu dálkových plynovodů uložených v zemi, občas dochází k porušení izolační vrstvy. V místě poruchy pak na vnější kovový povrch proniká voda a způsobuje korozní defekty. Plocha těchto defektů se pohybuje od jednotek čtverečních centimetrů až po mnoho desítek čtverečních decimetrů, podle rozsahu poškození izolace a doby působení vody do jejich odhalení a odkrytí. Po očištění mají tyto defekty tvar různě hlubokých prohlubní, kde úbytek materiálu může tvořit až 50% tloušťky stěny. Prohlubně jsou na poškozené části rozmístěny izolovaně, nebo se s šířením korozního napadení spojují a navazují různě na sebe. Tyto defekty, které způsobují oslabení stěny, snižují pevnost potrubí a mohou se stát příčinou jeho roztržení. V provozu jsou tyto defekty vyhledávány ultrazvukovými sondami umístěnými na mobilních zařízeních, které pojíždějí vnitřkem potrubí. Tato zařízení však nejsou schopna přesnějšího kvalitativního hodnocení defektů a slouží tedy jen k jejich vyhledávání a lokalizaci. V případě, že tato kontrola nalezne korozní defekt, je potrubí v daném místě

¹ Ing. Jiří Čáp, Ústav přístrojové a řídicí techniky, Odbor přesné mechaniky a optiky, ČVUT v Praze, Fakulta strojní, Technická 4, 166 07 Praha 6, ČR, e-mail: cap@fsih.cvut.cz

² Prof. Ing. František Valenta CSc., Ústav mechaniky, Odbor pružnosti a pevnosti, ČVUT v Praze, Fakulta strojní, Technická 4, 166 07 Praha 6, ČR, e-mail: valenta@fsid.cvut.cz

odkryto a defekt očištěn. Pak nastává nutnost hodnocení závažnosti defektu a rozhodnutí, zda poškozenou část potrubí vyjmout a nahradit nebo opravit izolaci, zpevnit opásáním a ponechat.

Hodnocení zbytkové pevnosti stěny potrubí se provádí na základě výpočtu metodou MKP. Pro generování MKP sítě je však potřeba znát tvar povrchu vady tzn. její 3D topografii. Tato problematika se dříve řešila zhotovováním kontaktních odlitků ze silikonového kaučuku a dále vytvářením již pozitivních otisků z epoxidové pryskyřice. Tyto otisky pak byly měřeny na klasických laboratorních třísouřadnicových měřících strojích a takto vzniklý popis tvaru povrchu byl použit pro tvorbu MKP sítě. Jak je z popisu patrné tento způsob byl poměrně zdoluhavý a technicky náročný, zvláště v případech k se vada vyskytuje na spodní části potrubí, je zhotovování odlitku velmi problematické. Také přesnost přenesení tvaru není při této metodice zcela zaručena.

Proto bylo v rámci řešení grantu GAČR přistoupeno k vývoji a výrobě jednoúčelového měřícího zařízení, které by tento problém řešilo.

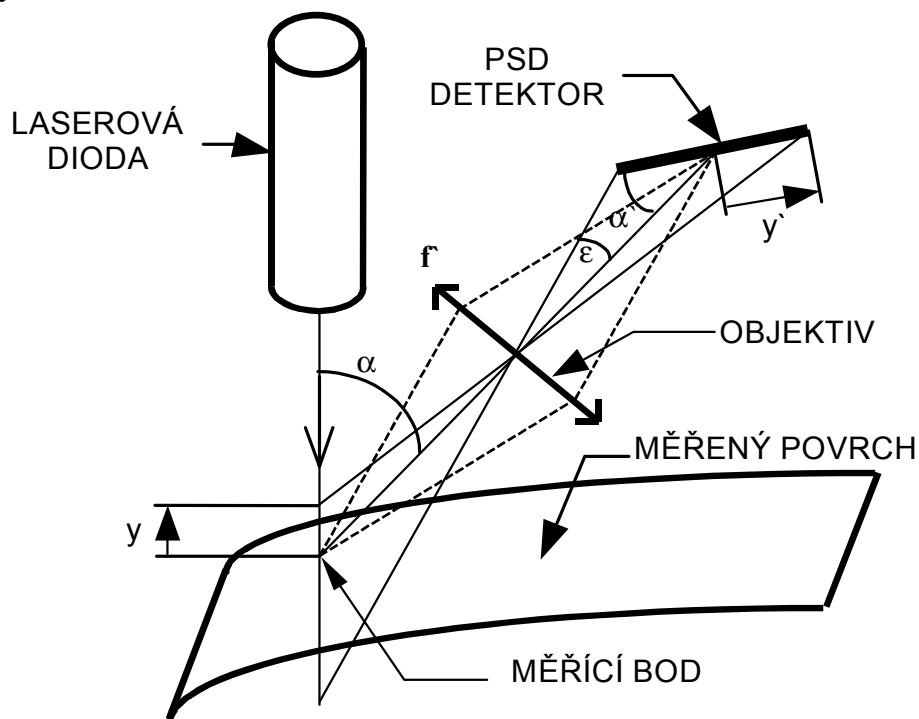
Stručná charakteristika přístroje

Zařízení je koncipováno jako přenosný třísouřadnicový měřící přístroj s bezdotykovým odměřováním jedné souřadnice. Měření povrchu je bodové s posuvem měřící sondy nad povrchem ve dvou směrech. Způsob měření je dynamický, tzn. měřící sondou se nenajíždí přímo do poloh jednotlivých měřených bodů, ale pouze se registruje průchod příslušnou polohou a odečítá se hodnota zbývajících souřadnice. Tento princip, který se užívá u kontaktních měřících souřadnicových strojů, měření zrychluje a snižuje nároky přesnost polohování měřící sondy. Zařízení je určeno pro měření potrubí o průměru od 500 do 1200 mm, na kterých umožňuje proměřovat oblast přibližně 300 krát 550 mm (přesný rozměr proměřované plochy závisí na průměru měřeného potrubí). Při potřebě proměření větších oblastí je možné na sebe navázat více měření s přestavěním polohy přístroje na potrubí. Při maximální hustotě měřící sítě (krok 1 mm) tato oblast představuje 165 000 bodů. Proměření této oblasti trvá přibližně 30 minut. Přesnost odečítání polohy bodu povrchu je do 0,1 mm. Zařízení je ovládáno přes řídicí program na PC. Celková hmotnost zařízení je do 15 kg bez PC. Rozměry přístroje jsou 730 x 470 x 150 mm. Spotřeba elektrické energie je hrazena z akumulátoru. Výstupem měření je třírozměrná mapa povrchu ve formátu textového souboru obsahující odchylky tvaru poškozeného měřeného povrchu od původní válcové plochy povrchu.

Měřící metoda

Pro dosažení potřebné rychlosti měření byla vybírána vhodná bezdotyková metoda měření jedné souřadnice a to měření vzdálenosti bodu na povrchu od referenční plochy. Po zhodnocení možností byla vybrána metoda optické triangulace, kdy se na měřený povrch kolmo promítá úzký světelný paprsek z intenzivního zdroje záření (laserové diody). Ten vytvoří na měřeném povrchu osvětlený bod. Obraz tohoto bodu je pak přes objektiv zobrazen na vhodný detektor. Z polohy obrazu osvětleného bodu na detektoru lze stanovit vzdálenost osvětleného místa na měřeném povrchu od detektoru. Jako detektor je možné použít buďto řádkový CCD chipu nebo velkoplošnou PSD diodu (Obr. 1). Použití řádkového CCD prvku má výhodu v možnosti dosažení větší přesnosti, ale vyžaduje poměrně složitou elektroniku a následné vyhodnocení signálu. Použití PSD snímače v našem případě přesností vyhovuje, výhodou je jednodušší zpracování signálu a jeho vyhodnocení. Tato metoda má výhodu v jednoduchosti konstrukce, malým zastavěným prostorem a rychlostí zpracování signálu. Nevýhodou je sekvenční měření jednotlivých bodů a tedy nutnost zajištění posuvu snímače

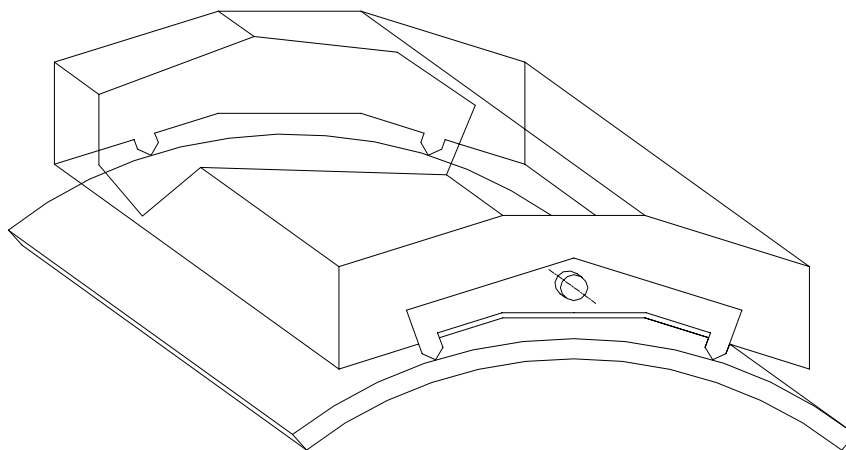
nad měřeným povrchem ve dvou souřadnicích. Ve snímači jsou použity PSD detektory a kvůli zamezení ztráty měření v případě velkého sklonu povrchu je osvětlený bod pozorován z dvou protilehlých stran.



Obr. 1: Schéma sondy pro bezdotykové měření vzdálenosti

Popis konstrukce

Zařízení je vestavěno do plochého tvaru kopírujícího povrch potrubí. K potrubí se připevňuje pomocí délkově nastavitelných popruhů, které se kolem potrubí obepnou. Poloha zařízení na potrubí je tedy libovolná a je ji možno nastavit podle místa výskytu vady (Obr. 2). Přesné vymezení polohy zařízení vůči povrchu je provedeno dosedacími hroty, které jednoznačně vymezují vzdálenost zařízení od povrchu potrubí. Umístění dosedacích hrotů je voleno tak, aby měřená část povrchu potrubí ležela v měřicím rozsahu zařízení pro všechny uvažované průměry měřených potrubí.



Obr. 2: Uložení přístroje na potrubí

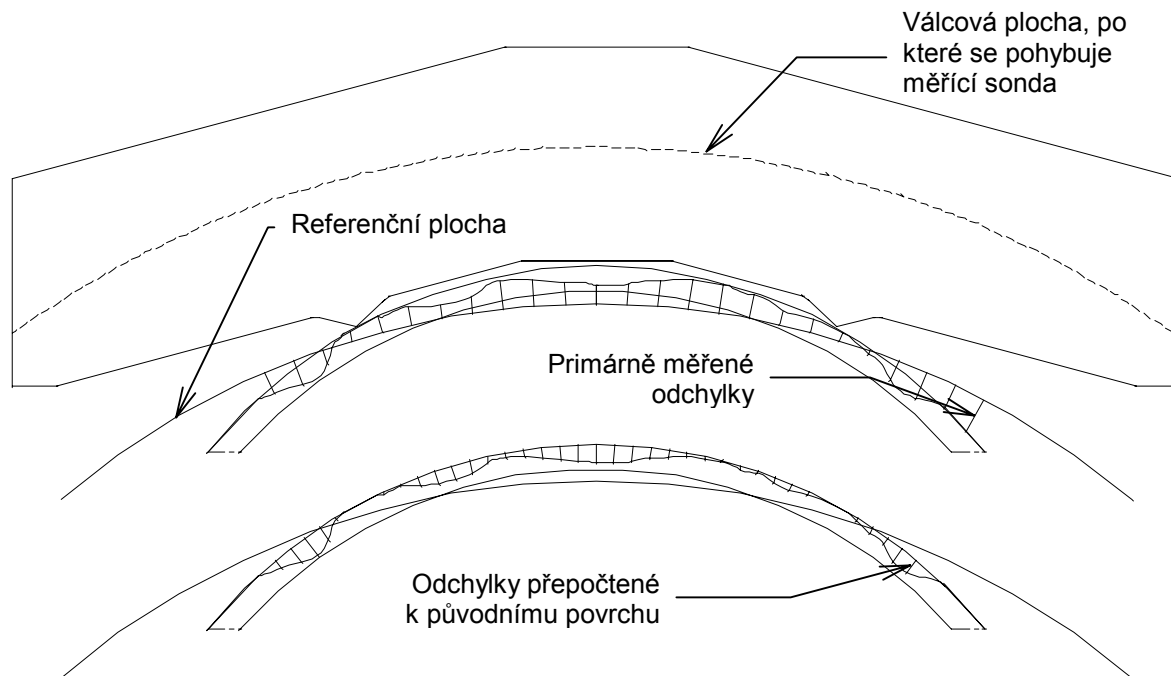
V konstrukci zařízení je převážně použito dílů z lehkých hliníkových slitin, ocelové jsou pouze nezbytné části vedení a pohonů. Pro konstrukci rámu byly použity hliníkové kompozitní materiály - sendviče. Voštiny jsou lepené celohliníkové s Al jádrem i potahovými plechy. Okraje jsou začištěny konstrukční pěnou. Upevnění dalších dílů na desky rámu je provedeno přes vlepované závitové vložky. Jednotlivé voštiny jsou spojované lepenými spoji pojištěnými šrouby. Použití této moderní technologie umožnilo dosáhnout nízké hmotnosti i u poměrně rozměrného rámu zároveň se zachování vysoké tuhosti konstrukce.

Jednotlivé posuvné části zařízení se pohybují po valivých vedeních. Použití valivých vedení zaručuje jak potřebnou přesnost tak nízké pasivní odpory. Nízké pasivní odpory ve vedení jsou důležité pro návrh pohonů, které mohou být dimenzovány na poměrně malý výkon a tím i nízkou spotřebu. Malý výkon pohonů přináší také úspory na hmotnosti, zvláště pak při vhodné volbě elektromotorků. V konstrukci jsou použita oblouková vedení pro pohyb mostu a vedení přímá pro pohyb měřicí sondy po mostě ve směru rovnoběžném s osou potrubí. Tím je umožněn pohyb měřicí sondy po válcové ploše a tedy přibližné kopírování povrchu potrubí sondou. Proto není potřeba příliš velký měřicí rozsah a pro uvažované průměry potrubí lze polohu zařízení volit tak, aby měřené části povrchu potrubí vždy ležely ve válcové oblasti o šířce jen asi 30 mm.

Pro pohyb sondy nad povrchem jsou použity dva nezávislé elektrické pohony. Volba motorků pohonů je provedena s ohledem na funkci posuvu v zařízení. Protože pohon pro posuv sondy po přímé dráze je v činnosti v průběhu měření, nesmí být tento pohon zdrojem příliš velkých vibrací. Je v něm tedy použit stejnosměrný motorek s převodovkou do pomala. Pro posuv celého mostu po obloukových vedeních byl zvolen krokový motor. V tomto pohonu se využívá možnosti nastavování polohy přímo krokovým motorem. Tento posuv není v činnosti při okamžiku měření. Přenos krouticího momentu motorků na tažnou sílu pro pohyb mostu a sondy je proveden lankovými převody. Výhodou těchto převodů je nízká hmotnost a snadné rozvedení tažné síly po konstrukci na místo potřeby. Vzhledem k pohybu mostu po oblouku bylo nutno vyřešit také zajištění jeho tažení po obloukové dráze. To je provedeno soustavou kladiček, které lanko vedou po krátkých lomených přímkových úsecích, které oblouk přibližně kopírují. Vzdálenost kladiček je volena tak, aby odchylka nastavení polohy vlivem nedodržení přesného oblouku byla pro požadovanou přesnost měření nevýznamná. Aby poměrně velký počet kladiček nezpůsobil svými pasivními odpory příliš velkou zátěž pro pohon, jsou všechny kladičky uloženy valivě na kuličkových ložiskách. Jako lanka jsou použity pletená ocelová lanka. Tyto splňují požadavek dostatečné pevnosti a pružnosti. Lankové převody jsou uspořádány jako uzavřené s třecím přenosem z hnané kladičky na lanko. Třecí přenos na lanko také zaručuje ochranu motorku před přetížením při případném zablokování pohybu. K dosažení přenosu potřebné tažné síly musí být lanko předepruto. Předepnutí je řešeno vlastní pružností lanka.

Souřadnice polohy sondy na přímém vedení je odečítána pomocí rotačního inkrementálního čidla. Čidlo je nasazeno přímo na hřídeli stejnosměrného motorku zajišťujícího posuv. Protože inkrementální čidlo zajišťuje pouze relativní odečítání je nutné definování základní polohy, ke které bude odečítání vztaženo. Nulový bod je určen před každým měřením najetím sondy do počáteční polohy na koncový spínač. Poloha sondy v druhé souřadnici, tj. poloze na obloukovém vedení není přímo odečítána. Měření této souřadnice je zajištěno nastavením polohy celého mostu krokovým motorem. Protože měřené průměry potrubí jsou různé, nevychází pohyb sondy nad potrubím vždy paralelně s povrchem a osvětlovací paprsek nedopadá kolmo na povrch. Proto k dosažení rovnoměrného kroku měřené sítě na potrubí je třeba nastavovat nerovnoměrný krok v pohybu sondy, přičemž velikost kroku je ovlivněna průměrem měřeného potrubí a okamžitou polohou souřadnice

sondy na obloukovém vedení. Toho je dosaženo vhodným převodem úhlového natočení rotoru motoru na posuv lanka a využíváním elektronického mikrokrokování krokového motoru. Nastavení počáteční polohy je rovněž vyřešeno najetím posuvu na koncový spínač. Pro měření se využívá obou směrů pohybu sondy po mostní části. Tím dochází k úspoře času na přejíždění do počáteční polohy.

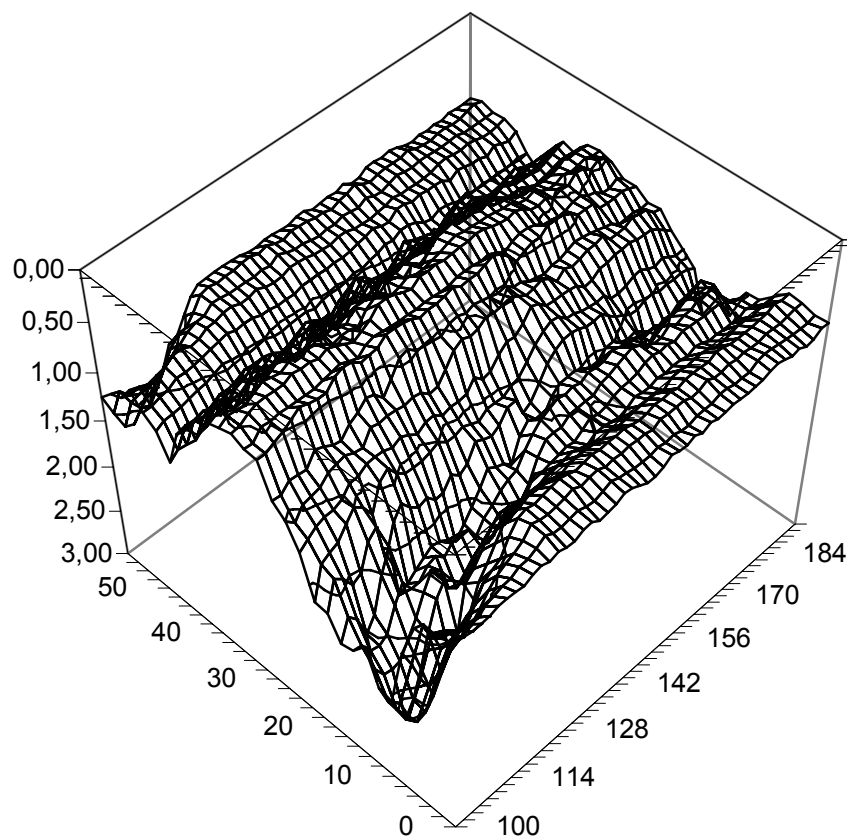


Obr. 3 Měřené a transformované odchylky povrchu

Přístroje je řízen programem z PC. Vzhledem k tomu, že zařízení samotné zařízení nemá autonomní logické řízení, komunikují všechny měřicí a řídicí prvky přímo s PC. Mimo PC jsou jen obvody primárního zpracování signálu z PSD detektorů (zesilovače), tranzistorový přepínač směru otáček stejnosměrného motorku a ovládání krokového motoru. Mezi PC a zařízením je tedy nutný oboustranný přenos signálů po řadě linek. K tomu je použito univerzální měřicí ISA karty Advantech a ISA karty pro odečítání polohy inkrementálního čidla ESSA. Řídicí program je napsán v jazyce Borland Object Pascal. Pro přístup k funkcím měřících karet využívá jejich DLL ovladačů. Grafická prezentace dat je provedena v programu Microsoft Excel za použití makro jazyka Visual Basic. Tvar povrchu je přehledně zobrazen do 3D grafu. Program umožňuje nastavení parametrů měření jako je rozsah měřené oblasti a hustota sítě. Protože při měření jsou primárně odečítány odchylky povrchu od válcové plochy po které se pohybuje měřicí sonda program musí provádět transformaci dat do souřadnicového systému definovaného vůči poloměru měřeného potrubí. Na obr. 3 jsou měřené odchylky pro přehlednost vztaženy k válcové ploše v polovině měřícího rozsahu a znázorněny po přepočtu na odchylky od původního nepoškozeného povrchu. Data mohou být programem exportována do textového souboru pro další zpracování, především pevnostní analýzu metodou MKP.

Závěr

S přístrojem byla provedena řada laboratorních měření na vzorcích korozních vad potrubí. Byla ověřována způsobilost zařízení, metodika ovládání atd. Na grafu (Obr. 4) je povrch vzorku části vady potrubí o průměru 700 mm ve formě odchylek od původního válcového povrchu. Výsledky měření byly také srovnávány se vzorky měřenými na klasickém tříosouřadnicovém stroji. Shoda měření byla v tolerancích požadované přesnosti přístroje.



Obr. 4: Vzorek korozní vady potrubí o průměru 700 mm, odchylky od původního válcového povrchu

Výsledky dosavadního testování přístroje naznačují, že by mohl být v budoucnu s úspěchem nasazen na měření v reálných podmínkách a umožnit tak spolu s výpočetním zázemím kvalifikované a efektivní posuzování technického stavu potrubí dálkových plynovodů poškozených plošnou korozi a tím napomoci předcházet havarijním stavům.

[1] VALENTA, František ao. Assessment of a transmission gas pipeline destruction. A.A.Balkema/Rotterdam/Brookfield/1997

[2] ĎAĎO, Stanislav, KREIDL, Marcel. Senzory a měřicí obvody. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1996, ISBN 80-01-01500-9

Projekt je podporován grantem GAČR 106 98 1423