

POTRUBNÉ STROJE PRE POTRUBIA S VNÚTORNÝM PRIEMEROM DO 300 mm

THE IN-PIPE MACHINES FOR PIPES WITH INNER DIAMETER INTO 300 mm

Jaroslav RUSNÁK¹

Abstrakt

Článok mapuje súčasný prehľad potrubných strojov riešených vo svete, ale i u nás, ktoré sú schopné prechádzať cez rôzne zakrivenia potrubí; cez rôzne nečistoty, či technologické prekážky, ktoré sa v potrubí môžu nachádzať.

Ďalej sa článok zaobera rôznymi spôsobmi pohybu potrubných strojov v potrubí a výberom vhodného druhu pohybu.

Kľúčové slová: potrubný stroj, komponent, modul, koleso

Abstract

This paper is mapping present time of in-pipe machines on the world, but and in our place that are able to locomote cross the curve radius pipe; cross variously dirts or technological obstruction, that are in-pipe.

This paper contains also variously methods to locomote in-pipe machines in pipe and selection suitable to locomote.

Key words: in-pipe machine, component, module, wheel

ÚVOD

V súčasnosti vo svete venuje návrhu a realizácií potrubných strojov, zariadení či robotov značná pozornosť. Ich používaním sa nielen uľahčuje práca človeka, ale šetrí sa aj čas a finančné náklady.

Potrubné stroje začínajú pokrývať pomerne širokú oblasť použitia a niektoré činnosti sú dnes bez ich využitia takmer nemysliteľné, ako napr. inšpekcia potrubí jadrového reaktora. Keďže dnešné veľkomesta sú priam popretkávané rôznymi potrubnými systémami a pri opravách, inšpekčnej činnosti v potrubí či pri aplikáciách rôznych zariadení, káblov (dátových, telefónnych, atď.) do potrubia dochádza k rôznym obmedzeniam dopravy a v neposlednej miere aj zvýšeným finančným nárokom.

Cieľom tohto článku je zmapovať súčasný prehľad potrubných strojov riešených vo svete, ale i u nás s ich využitím. Ďalej sa článok zameriava na realizáciu prechodov, spojení medzi jednotlivými modulmi.

¹ Ing. Jaroslav RUSNÁK, KAMaM, SjF Technickej univerzity v Košiciach, jaroslav.rusnak@tuke.sk
Lektoroval: prof. Ing. Alexander GMITERKO, PhD., KAMaM, SjF TU v Košiciach,
alexander.gmiterko@tuke.sk

SPÔSOBY POHYBU POTRUBNÝCH STROJOV V POTRUBÍ

V súčasnej dobe sa tieto systémy využívajú v celej škále činnosti. Od inšpekcie starých potrubných systémov pred rekonštrukciou, cez nedeštruktívne skúšky zvarov až po detekciu korózie a priesakov odpadových vôd a olejov [1].

Potrubné systémy sa navzájom odlišujú priemerom potrubia, prepravovaným médiom, usporiadaním potrubia atď. [2].

Podľa toho akú kategóriu z hľadiska geometrických rozmerov predstavuje potrubný stroj, sú potrubia klasifikované do dvoch skupín [2]:

- ***makropotrubia***
- ***mikropotrubia***

V mikropotrubí sa môžu pohybovať stroje patriace do kategórie mikrostrojov. Pod mikrostrojmi sa vo všeobecnosti chápu stoje, ktoré sa ako celok vzhľadom na svoje rozmery nachádzajú v mikroblasti, ale zároveň aj stroje vyrobené montážou extrémne malých funkčných častí okolo 1 mm [2].

Potrubné pohybujúce sa stroje sú schopné pohybovať sa v obmedzenom priestore. Ide o obmedzenie z hľadiska vonkajších rozmerov pohybujúceho sa mobilného zariadenia. S tým úzko súvisia aj použité materiály, technológia a princípy pohybu.

Z hľadiska princípu pohybu je možné pohyb potrubných strojov rozdeliť na *syntetické a biologicky inšpirované* [2].

Medzi synteticky inšpirované pohyby potrubných strojov patria: *pohyb pomocou kolies* (angl. wheeled principle) a *pohyb pomocou pásov* (angl. crawled principle).

Medzi biologicky inšpirované pohyby potrubných strojov môžeme zaradiť: *pohyb pomocou nôh* (angl. legged principle), *pohyb pomocou techniky inchworm* (angl. inchworm principle), *pohyb pomocou zotrvačného krokovacieho princípu* (angl. inertial stepping principle), *pohyb pomocou diferencie trenia – červíkový princíp* (angl. worm-like principle), *pohyb pomocou pohybujúcej sa „cestujúcej vlny“* (angl. travelling wave).

Ďalšie spôsoby pohybov je možné realizovať modifikáciou týchto základných pohybov alebo ich kombináciou, ale aj objavovaním iných spôsobov.

Aby sa v potrubí mohol realizovať pohyb je potrebné u mobilného stroja splniť tieto dve podmienky [2]:

1. Tretia sila medzi časťami mobilného zariadenia dotýkajúcimi sa potrubia a potrubím musí byť väčšia ako sila spôsobená gravitačnými účinkami mobilného zariadenia.
2. Tretia sila v smere pohybu musí byť menšia ako v spätnom smere.

Na voľbu vhodného druhu pohybu v reálnom potrubí vplýva veľké množstvo rôznych prekážok, ktoré je možné charakterizovať nasledujúcou kvalifikáciou [2]:

1. **Tvarové zmeny prierezu potrubia** (odbočka, redukcia prierezu, krížovka, výčnelky, veľké zmeny prierezu, drsnosť povrchu).
2. **Plynne látky** pôsobiace nepriaznivo na chod pohybujúceho sa prostriedku prípadne na jeho komponenty.
3. **Kvapalné látky** pôsobiace nepriaznivo na chod pohybujúceho sa prostriedku prípadne na jeho komponenty. Prítomnosť ropných produktov (rozprúštanie niektorých plastov), olej, voda – zvýšená možnosť preklzávania pri vlastnom pohybe.
4. **Materiál potrubia** (môže predstavovať prekážku použitia niektorých komponentov, ktoré pracujú na princípe elektromagnetického poľa, magnetostričných zliatin a pod.)
5. **Cudzie objekty v potrubí** (nečistoty, zvyšky prepravovanej látky a iné)
6. **Externe elektrické a magnetické polia** (stacionárne typy)

7. Elektromagnetické typy žiarenií (infra, ultra, radioaktívne)

8. Iné prekážky.

Na základe tejto kvalifikácie rôznych prekážok, ktoré ovplyvňujú pohyb potrubného stroja v potrubí a na základe toho, že sa jedná o potrubné stroje pre veľké potrubia prichádzajú do úvahy dva pohyby v potrubí a to:

- pohyb pomocou kolies,
- pohyb pomocou pásov.

Ostatné, tzv. biologicky inšpirované pohyby potrubných zariadení v potrubí sú skôr vhodné pre mikropotrubia.

RÔZNE TYPY POTRUBNÝCH STROJOV REALIZOVANÝCH VO SVETE

Kolesové potrubné stroje:

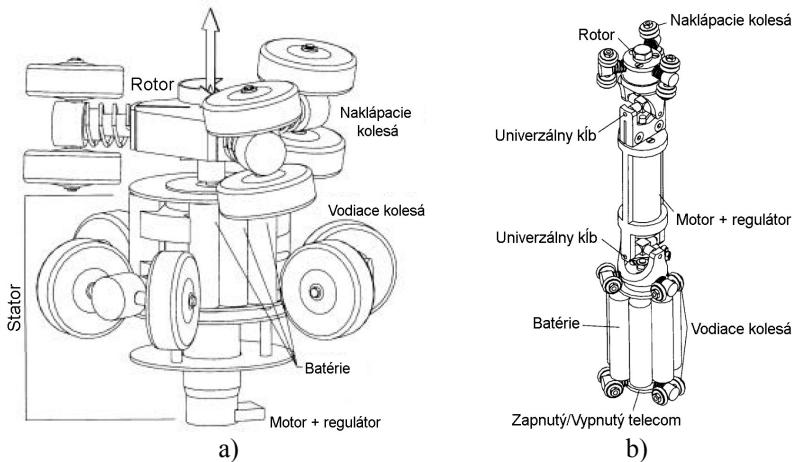
Kolesový potrubný stroj pre inšpekcii potrubia [3]:

Tento potrubný stroj bol vyvinutý na univerzite v Bruseli v Belgicku, pozostáva z dvoch častí spojených univerzálnym kľbom. Jedná časť, je vodiacou časťou potrubného stroja v potrubí, kde pohyb je realizovaný pomocou kolies pohybujúcich sa rovnobežne s osou potrubia, kým druhá časť potrubného stroja vykonáva špirálovitý pohyb v potrubí vďaka naklápaniu kolies rotujúcich okolo osi potrubia.

Na vydelenie pohybu je použitý jednosmerný motor, ktorý je umiestnený medzi dvoma časťami potrubného stoja. Všetky kolesá sú umiestnené na pružných elementoch, ktoré sú schopné prispôsobovať sa rôznym priemerom potrubia a zákrut v potrubí. Tento potrubný stroj je autonómny, na jeho tele sú umiestnené batérie s rádiovým spojením.

Boli skonštruované štyri odlišné prototypy pre rôzne priemery potrubí a to pre potrubia o priemeroch 170, 70 a 40 mm v tomto poradí. Pre malé priemery môžu byť batérie a rádiový prijímač umiestnené na dodatočnom (doplňkovom) module, ktorý je tahaný inými modulmi potrubného stroja.

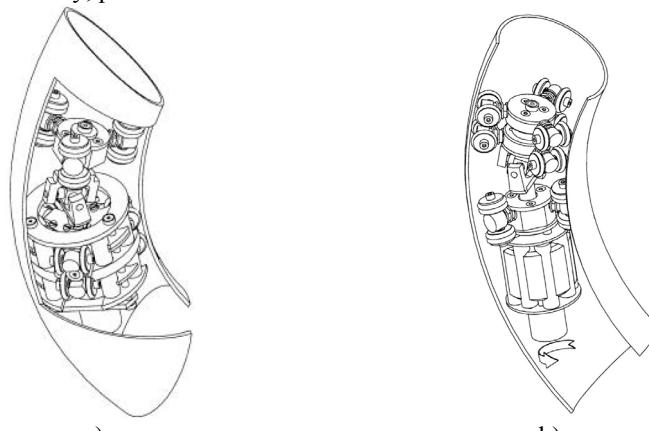
Batérie tohto potrubného stroja majú životnosť okolo dvoch hodín. Štruktúra takého potrubného stroja je jednoduchá a rotačný pohyb môže byť využitý na čistenie potrubí a tiež na inšpekcii potrubí. Štruktúra potrubného stroja je na obr.1.



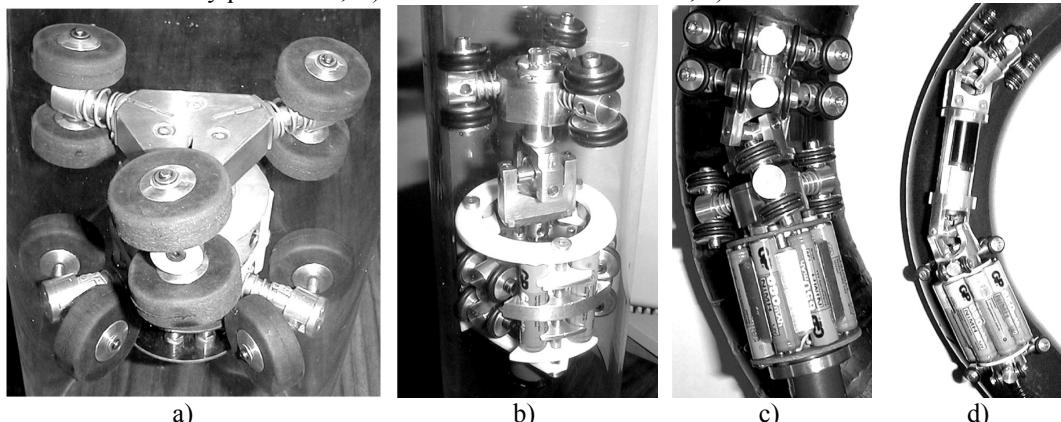
Obr.1 Štruktúra potrubného stroja, a) dvoj – telová štruktúra pre veľké potrubia (D – 170 mm), b) troj – telová štruktúra pre malé priemery (D – 40 mm).

Stator je vybavený súpravou kolies, ktoré dovoľujú pohyb rovnobežný s osou potrubia. Rotor sa môže výhradne pohybovať v smere trajektórie skrutkovice.

Pre priemery potrubí okolo 70 mm je potrubný stroj napájaný deviatimi batériami (NiCd 600 mAh), ktoré sú rozdelené okolo rotora a statora. Potrubný stroj pre priemery potrubí okolo 70 mm má dve alternatívy, podľa obr.2.



Obr.2 Alternatívy pre D – 70, a) motor a batérie sú na statore, b) motor a batérie sú na rotore.



Obr.3 Potrubné stroje, a) D – 170, b) D – 70/1, c) D – 70/2, d) D – 40

Hlavné technické charakteristiky tohto potrubného stoja

Tabuľka 1

Potrubný stroj	D-170	D-70/1	D-70/2	D-40
Priemer potrubia	163-173 mm	68-72 mm	68-72 mm	38-43 mm
Polomer zakrivenia potrubia	>600 mm	>170 mm	>170 mm	>110 mm
Užitočné zaťaženie	5 N	3N	3 N	1 N
Rýchlosť pohybu	8 cm/s	10 cm/s	5 cm/s	3 cm/s
Výkon motora	10 W	6 W	6 W	3.2 W
Prevodový pomer	33.2:1	19:1	32:1	84:1
Veľkosť prekážky	<10 mm	<3 mm	<3 mm	<1 mm
Počet modulov/univerzálne kľby	2 / 0	2 / 1	2 / 1	3 / 2
Hmotnosť	1300 g	470 g	480 g	250 g

Kolesový potrubný stroj I-Pi2005 [2]:

Tento kolesový potrubný stroj bol riešený v rámci diplomovej práce na katedre Aplikovanej mechaniky a mechatroniky Technickej univerzity v Košiciach.

Potrubný stroj I-Pi2005 je určený pre pohyb v potrubí s vnútorným priemerom nad 100 mm, ktorý bude slúžiť na tahanie kálov cez už existujúce potrubia, a ktorý je ovládaný modulom s jednočipovým procesorom. Ďalej tento potrubný stroj po pridaní kamery je schopný v potrubí vykonávať inšpekčnú (kontrolnú) a monitorovaciu činnosť.

Hlavné technické parametre potrubného stroja I-Pi2005:



Obr.4 Potrubný stroj I-Pi2005



Obr.5 Potrubný stroj I-Pi2005 v potrubí
s vnútorným priemerom 104 mm

Rozmery:

Dĺžka	159 mm
Šírka	83 mm
Výška	57 mm

Hmotnosť: 0,164 kg

Maximálna rýchlosť pohybu: $v = 0,123 \text{ m.s}^{-1}$

Teoretická (vypočítaná) trakčná sila: $F = 35,75 \text{ N}$

Mikropočítač: BasicStamp 2, komunikácia s PC pomocou zabudovaného sériového RS232 rozhrania.

Pohon: 2 upravené servomotory pre rotačný pohyb FUTABA S3003

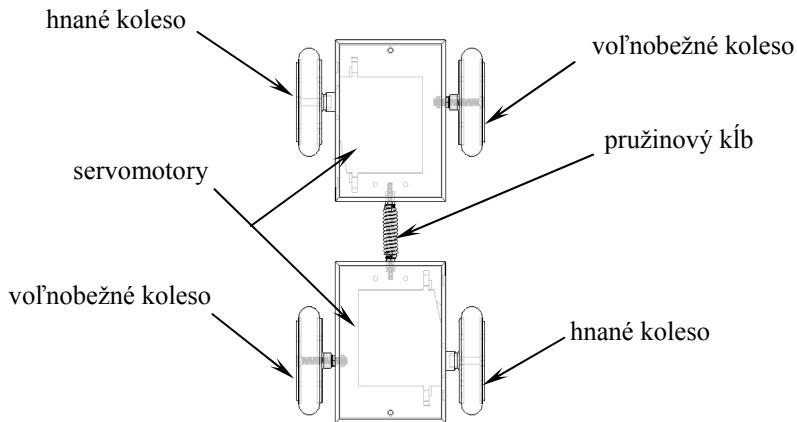
Napájanie: Externé; stabilizovaný zdroj 6V DC, 1A

Tento potrubný stroj je možné použiť v potrubiah, ktoré majú vnútorný priemer v rozsahu od 100 mm do 130 mm.

Riešenie pohybu potrubného stroja:

Pohyb potrubného stroja v potrubí je realizovaný pomocou kolies, z ktorých dve kolesá sú hnané a dve sú voľnobežné. Hnané kolesá sú prichytené k servomotorom, pomocou ktorých je zabezpečené odvalovanie kolies. Voľnobežné kolesá sú prichytené k modulom potrubného stroja pomocou skrutiek, ktoré prechádzajú cez klzné ložiská, ktoré sú umiestnené v strede kolies.

Spojenie dvoch hnaných modulov potrubného stroja je realizované pomocou pružinového kľbu.



Obr.6 Schéma uloženia kolies na potrubnom stroji

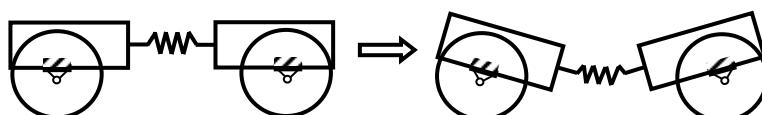
Riešenie spojovacieho komponentu medzi modulmi potrubného stroja:

Spojenie dvoch modulov potrubného stroja je riešené pomocou pružinového kĺbu, ktorý pozostáva z valcovej pružiny, dvoch skrutiek, dvoch matíc a podložiek.

Boli riešené viaceré spôsoby spojovacích komponentov medzi modulmi potrubného stroja, ako napr. spojovací komponent z guľových čapov, ale tieto sa neosvedčili.

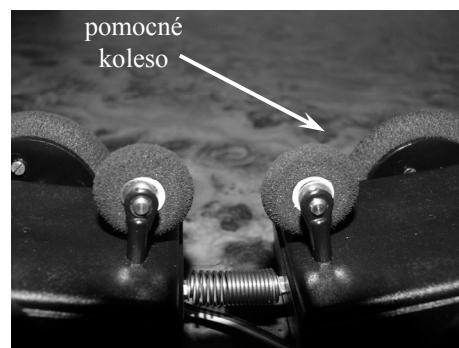
Riešenie pomocného kolesa:

Pri spojení modulov pomocou komponentov vyrobených z pružiny, vystáva problém s preklápaním modulov a to do tvaru písma „v“ (obr. 7)



Obr.7 Kinematická schéma, znázorňujúca preklápanie modulov potrubného stroja

Tento problém preklápania modulov potrubného stroja bol vyriešený zhotovením pomocných (oporných) kolies, ktoré sú vyrobené z modelárskeho kolesa o priemere $\Phi 20$ mm a z dvoch guľových čapov. Ku kolesu sú prichytené guľové čapy pomocou, ktorých sú pomocné koliesá prichytené k modulom potrubného stroja. Pozri obr.8.



Obr.8 Fotografia pomocných kolies na potrubnom stroji

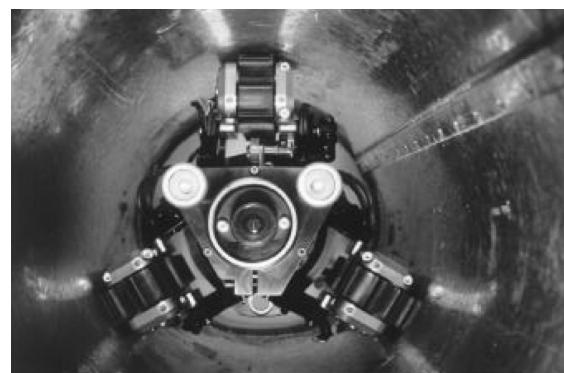
*Pásový potrubný stroj:***Pásový potrubný stroj VersaTrax Vertical Crawler [4]:**

Koncepcia riešenia tohto potrubného je v tvare tzv. trojnožky, kde každý pás je odsadený o 120° (obr. 5). Tento pásový potrubný stroj je schopný sa pohybovať po horizontálnych a vertikálnych potrubbiach o priemeroch od 200 až po 300 mm. Rýchlosť pohybu tohto potrubného stroja v potrubí je do 9 m/min. Je ovládaný pákovým ovládačom (tzv. joystickom), ktorý ovláda systém, ktorý zabezpečuje riadenie potrubného stroja. Tento pásový potrubný stroj je schopný zdolávať rôzne zakrivenia potrubí a je schopný prechádzat' cez rôzne spojenia potrubia, ako napr. zvary a pod. O sile, akú je potrebné vyuvinúť pre pohyb potrubného stroja a o uhle zakrivenia zákrut v potrubí informuje riadiaci systém pomocou displeja, ktorý sa na ňom nachádza.

VersaTrax Vertical Crawler je vhodný pre rôzne použitia v potrubí. Keďže je vybavený farebnou CCD kamerou, je ho možné použiť na inšpekciu vnútorných stien potrubí.



Obr.9 Pásový potrubný stroj VersaTrax Vertical Crawler s celým zariadením



Obr.10 Pásový potrubný stroj VersaTrax Vertical Crawler v potrubí

Hlavné technické charakteristiky tohto potrubného stoja:

Rýchlosť pohybu:	0 – 9 m/min
Kamera:	$\frac{1}{4}''$ CCD, 320 TV liniek
Dĺžka napájacieho kábla:	90 m
Priemery potrubia:	200 – 300 mm
Osvetlenie potrubného stroja:	2 x 20 W
Operačná teplota:	0 – 50 °C
Veľkosť napájacieho napäťia:	110 – 220 V

ZÁVER

Výrobou, navrhovaním a aplikáciami potrubných strojov, či robotov sa vo svete zaobera množstvo firiem a univerzít. V tomto článku som sa snažil opísť aké spôsoby pohybov v potrubí existujú a čo vplýva na výber vhodného druhu pohybu v potrubí. Spomenul som aj niektoré aplikácie potrubných strojov kolesových a pásových riešených v zahraničí.

Autor týmto dakuje slovenskej grantovej agentúre pre vedu GU VEGA 1/2188/05 „Výskum princípov lokomócie potrubného stroja v potrubí za účelom ľahania káblov do existujúcich potrubných sietí“ a GU VEGA 1/3078/06 „Špecifické aspekty merania koncentrácie tuhých znečistujúcich látok v pracovnom prostredí pomocou optických metód a kalibrácie optických metód merania pomocou referenčných metód“ za čiastkovú podporu tejto práce.

LITERATÚRA

- [1] MOHYLA, P.: *Technické řešení inspekčního robota*, diplomová práca. Ostrava, Fakulta strojní, Technická univerzita Ostrava, Katedra robototechniky, 2001
- [2] RUSNÁK, J.: *Potruba stroj pre pohyb v potrubí s vnútorným priemerom nad 100 mm*, diplomová práca. Košice, SjF TU Katedra aplikovanej mechaniky a mechatroniky, 2005
- [3] HORODINCA, M.; DOROFTEI, I.; MIGNON E.; PREUMONT A.: *A simple architecture for in-pipe inspection robots*, Brussels, Belgium, Active structures laboratory, Universite libre de Bruxelles, 2001
- [4] VersaTrax Vertical Crawler. *Vertical Pipe and Duct Inspection System*, PDF [online]. 2006, [cit. 2006-10-04]. Dostupný na: WWW:<<http://www.roboprobe.com>>