

Stroj na pohyb v potrubí s velkým průměrem

Jaroslav Rusnák

Článek představuje návrh a konstrukční zhotovení modelu potrubního stroja na pohyb v potrubí s velkým průměrem s cílem táhání káblov (telefonných, datových) do už existujících potrubných sítí. Na řízení pohybu využívá potrubný stroj mikropočítačové řízení. Článek tiež obsahuje návrh dalšího smerovania vo vývoji tohto potrubného stroja.

Úvod

Dnešné veľkomestá sú priam popretkávané rôznymi potrubnými systémami a pri opravách, inšpekčnej činnosti v potrubí či pri aplikáciách rôznych zariadení a káblov (datových, telefonných atď.) do potrubia dochádzalo k rôznym obmedzeniam dopravy a v neposlednej miere aj k zvýšeným finančným nárokom. Preto sa v súčasnosti vo svete venuje návrhu a realizácii potrubných strojov, zariadení či robotov značná pozornosť. Ich používaním sa nielen uľahčuje práca človeka, ale šetrí sa aj čas a finančné náklady [1].

Cieľom tohto článku je predstaviť a opísať konštrukciu potrubného stroja, ktorý vznikol ako diplomová práca. Úlohou bolo navrhnúť a realizovať potrubný stroj na pohyb v potrubí s vnútorným priemerom nad 100 mm, ktorý bude slúžiť na ťahanie káblov cez už existujúce potrubia a bude ovládaný modulom s jednočipovým procesorom. Ďalej bude tento potrubný stroj po pridaní kamery v potrubí vykonávať inšpekčnú (kontrolnú) a monitorovaciu činnosť. Keďže pri kolesových potrubných strojoch dochádza k nežiaducemu preklzávaniu kolies v potrubí, bolo potrebné vypracovať návrh zariadenia na elimináciu vplyvu preklzávania kolies v potrubí. Celý návrh bol orientovaný tak, aby bolo možné zhotoviť prototyp potrubného stroja. Tvorba potrubného stroja bola inšpirovaná niektorými fotografiami z riešení použitých v dielach publikovaných na internetových stránkach zahraničných univerzít, podnikov či firiem.



Obr.1 Potrubný stroj I-Pi2005 [1]

1. Hlavné technické parametre potrubného stroja I-Pi2005

Rozmery:

dĺžka 159 mm šírka 83 mm výška 57 mm

Hmotnosť:

Celková 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 na rotačný pohyb FUTABA S3003

Napájanie:

Externé; stabilizovaný zdroj 6 V DC, 1 A



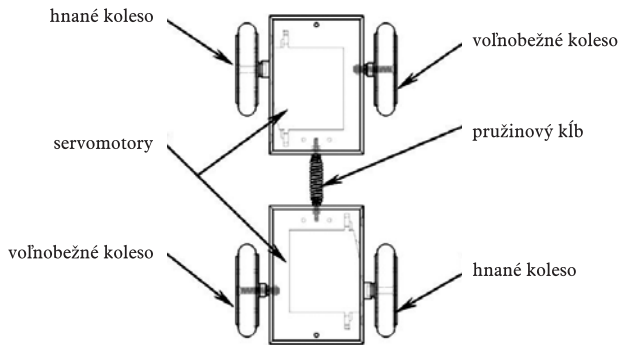
Obr.2 Potrubný stroj I-Pi2005 v potrubí s vnútorným priemerom 104 mm



Tento potrubný stroj možno použiť v potrubíach, ktoré majú vnútorný priemer v rozsahu od 100 mm do 130 mm.

1.1 Riešenie pohybu potrubného stroja

Pohyb potrubného stroja v potrubí je realizovaný pomocou kolies, z ktorých dve kolesá sú hnané a dve voľnoběžné. Hnané kolesá sú prichytené k servomotorom, pomocou ktorých je zabezpečené odvalovanie kolies. Voľnoběžné kolesá sú prichytené k modulom potrubného stroja pomocou skrutiek, ktoré prechádzajú cez rúрку vedenú cez stred kolesa. Spojenie dvoch hnaných modulov potrubného stroja je realizované pomocou pružinového kľbu.



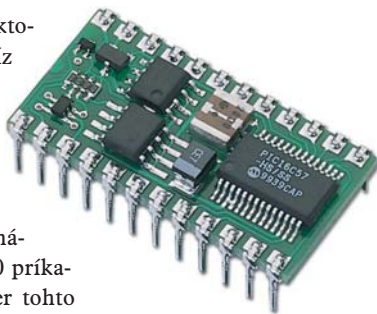
Obr.3 Kinematická schéma uloženia kolies na potrubnom stroji [1]

2. Hlavné časti potrubného stroja – subsystémy

2.1 Subsystém riadenia

Na riadenie potrubného stroja je použitý mikropočítač od firmy Parallax, Inc., s označením BasicStamp 2 (BS2) (obr. 4).

Tento mikropočítač má taktovaciu frekvenciu 20 MHz a integrovaný interpret jazyka PBASIC. Obsahuje 16 vstupno-výstupných liniek, ktoré sú ovládané programovými príkazmi. Rýchlosť vykonávania príkazov je asi 4 000 príkazov za sekundu. Pre výber tohto mikropočítača som sa rozhodol preto, že je ľahko programovateľný, dá sa s ním dobre manipulovať a zapojenie vonkajších zariadení na mikropočítač je jednoduché [1].



Obr.4 Mikropočítač BS 2 [2]

2.2 Subsystém motoriky

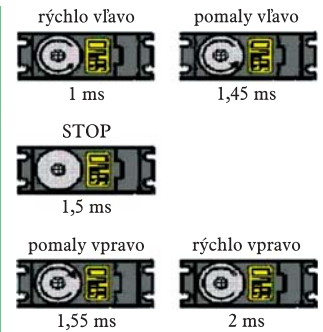
Z množstva rôznych druhov pohybu potrubných zariadení v potrubí (napr. pohyb pomocou kolies, pásov, nôh, techniky inchworm, pomocou zotrvačného krokovacieho princípu) som si zvolil pohyb v potrubí realizovaný pomocou kolies. Kolesá som si zvolil preto, že sa dnes štandardne vyrábajú s rôznym priemerom, z rôzneho materiálu a ich dostupnosť a cena na trhu je dobrá [1].

Pohybové akčné členy

Na vyvedenie pohybu potrubného stroja sú použité dva modelárske servomotory Futaba S3003, zložené z jednosmerného motorčeka, viacstupňovej prevodovky, späťoväzbového snímača – potenciometra a riadiacej elektroniky. Servá sú napájané a riadené pomocou troch vodičov (+5 V, zem, riadiaci signál). Štandardne sú tieto servá určené na vytvorenie rotačného pohybu v rozsahu 90°, resp. 180°. Poloha výstupného hriadeľa serva zodpovedá proporcionálne šírke riadiaceho impulzu. Riadiaci impulz je kladný s amplitúdou 5 V a aktívnou šírkou premenlivou



Obr.5 Servomotor [3]



Obr.6 Princíp činnosti servomotora [4]

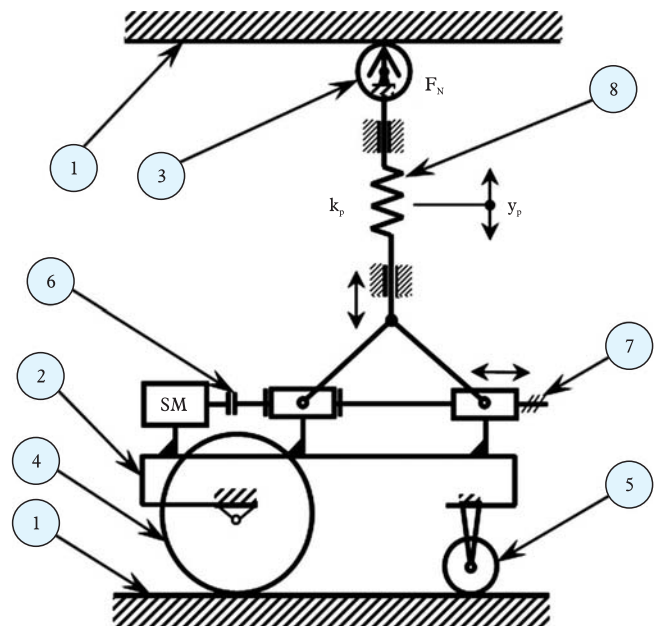
od 1 ms do 2 ms, čo zodpovedá rozsahu polohy výstupného hriadeľa serva v rozsahu 90° [3].

Pre použitie servomotora rozhodli jeho nesporné výhody, najmä jednoduché zapojenie, ľahké ovládanie impulzmi, nízke energetické požiadavky, integrácia prevodovky, nízka hmotnosť, ľahká prestavba na neobmedzený rotačný pohyb, jednoduché ovládanie rýchlosti pohybu, dosahovaný vyšší krútiaci moment, priaznivá cena. Pre kontinuálny rotačný pohyb sú obe servá upravené [4], [5].

Oproti tomuto postupu prestavby serva [4] boli posledné kroky upravené. Pretože nastavenie nulovej polohy bolo pomocou potenciometra veľmi obtiažne, bol 5 kΩ potenciometer nahradený sústavou dvoch rezistorov a jedného odporového trimra, čím sa zlepšila citlivosť pri nastavovaní nulovej polohy servomotora [1].

Návrh zariadenia na elimináciu preklzavania hnaných kolies v potrubí

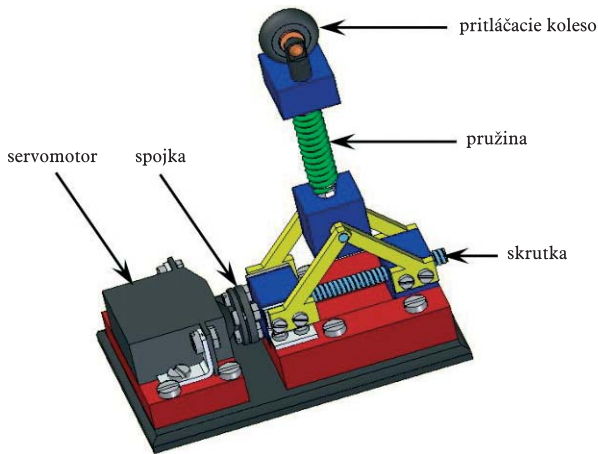
Nevýhodou použitia kolies na pohyb v potrubí je ich tendencia preklzávať, preto bolo potrebné vypracovať návrh zariadenia na odstránenie alebo elimináciu tohto nežiaduceho vplyvu. Z rôznych variantných riešení zariadenia na elimináciu preklzavania kolies v potrubí bolo vybrané riešenie, ktoré opisuje kinematická schéma (obr. 7). Toto zariadenie je založené na využití servomoto-



1 – stena potrubia
2 – teleso potrubného stroja
3 – prítlačacie koleso
4 – hnané koleso
5 – pomocné koleso
6 – spojka
7 – skrutka
8 – pružina
SM – servomotor

Obr.7 Kinematická schéma návrhu zariadenia na elimináciu preklzavania hnaných kolies v potrubí s využitím servomotora [1]





Obr.8 Priestorový model návrhu zariadenia na elimináciu preklzavania kolies v potrubí [1]

ra ako akčného člena na ovládanie prtláčania kolesa o stenu potrubia. Skrutka je cez spojku spojená so servom, ktoré otáča skrutkou, na základe čoho sa koleso prtláča k stene potrubia.

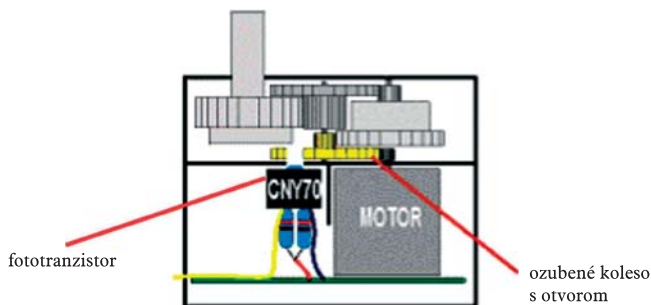
Výhodou tohto variantu je možnosť jemného prtláčania kolesa k stene potrubia. Ďalšou nespornou výhodou je úspora energie, pretože skrutka je samosvorná a po nastavení prtláčacieho kolesa do potrebnej polohy sa môže servo odpojiť od zdroja el. energie.

2.3 Subsystem senzory

Snímanie otáčok hnaného a voľnoběžného kolesa potrubného stroja predstavuje dôležitú úlohu pri riadení eliminácie preklzavania hnaných kolies v potrubí.

Spôsob snímání otáčok hnaného kolesa

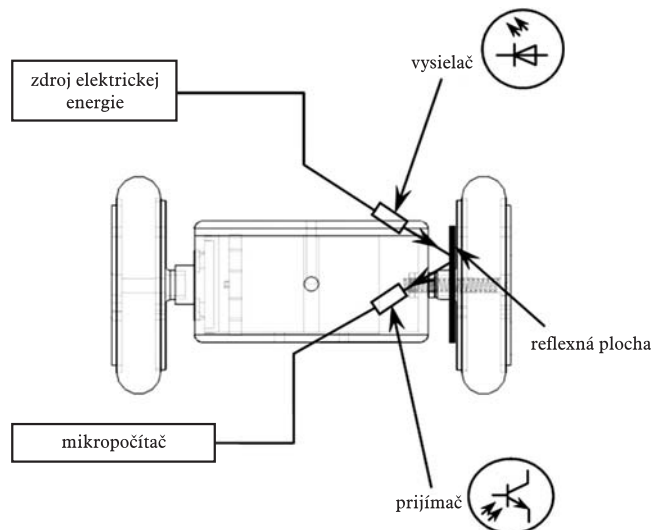
Celé snímacie zariadenie je umiestnené vnútri serva, takže nie je ovplyvňované okolím, ani okolie neovplyvňuje snímacie zariadenie. Pri realizácii takéhoto snímání otáčok hnaného kolesa sa dá využiť to, že po úprave serva na otáčavý pohyb (pozri [4], [5]) sa z neho vyberie potenciometer, čím vznikne v jeho vnútri voľný priestor na snímacie zariadenie spolu s potrebnými rezistormi. Samotné snímacie zariadenie pozostáva z prijímača (fototranzistor) a vysielča (využije sa jedno z ozubených kolies serva, do ktorého sa urobí otvor, cez ktorý bude prechádzať svetlo z diódy alebo iného vysielča svetla na fototranzistor).



Obr.9 Schéma úpravy serva na snímání otáčok hnaného kolesa [6]

Spôsob snímání otáčok voľnoběžného kolesa

Z vysielča – fotodiódy sa na reflexnú vrstvu, ktorá sa nachádza na voľnoběžnom kolese, vyšle signál, ktorý sa odrazí od reflexnej vrstvy. Tento signál prijme prijímač, ktorým je fototranzistor. Zistia sa otáčky voľnoběžného kolesa, ktoré sa porovnajú s otáčkami na hnanom kolese. Ak sú otáčky na hnanom kolese väčšie ako na voľnoběžnom (preklzávanie), vyšle sa signál z mikro počítača na zvýšenie normálovej sily, aby sa viac prtláčilo prtláčacie koleso o stenu potrubia, čím sa zabráni preklzávaníu hnaného kolesa v potrubí.



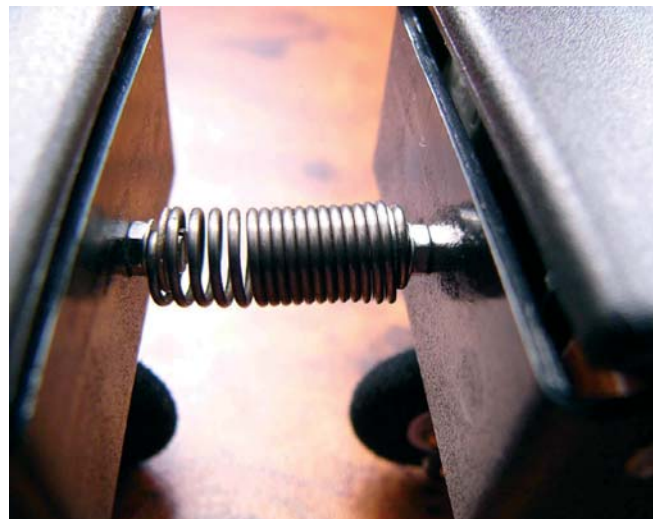
Obr.10 Kinematická schéma návrhu snímání otáčok voľnoběžného kolesa [1]

3. Konštrukcia potrubného stroja

Potrubné pohybujuce sa stroje sú schopné pohybovať sa v obmedzenom priestore. Ide o obmedzenie z hľadiska vonkajších rozmerov pohybujuceho sa mobilného zariadenia. S tým úzko súvisia aj použité materiály, technológia a princípy pohybu [1]. Pri realizácii návrhu potrubného stroja sa využívali materiály, ktoré sú bežne dostupné, napr. plast pre jeho výhody, ako sú nízka hmotnosť, pomerne nízka cena, ľahká dostupnosť, opracovateľnosť, úprava, dá sa ľahko spájať aj lepením a iné. Jednotlivé časti sú spolu prichytené pomocou skrutiek, čo umožňuje ľahkú výmenu poškodeného dielu alebo výmenu dielu za iný. Pri realizácii potrubného stroja bolo potrebné mať na pamäti, že v potrubí môžu byť rôzne nečistoty, voda a iné látky, ktoré by mohli nepriaznivo vplyvať na celé zariadenie. Preto bolo potrebné, aby servá a ostatné elektronické súčiastky boli chránené pred vniknutím rôznych tekutín alebo nečistôt, ktoré by nepriaznivo ovplyvnili chod potrubného stroja v potrubí.

3.1 Riešenie spájacieho komponentu medzi modulmi potrubného stroja

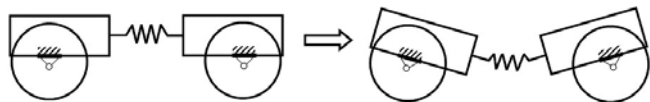
Spojenie dvoch modulov potrubného stroja je riešené pomocou pružinového kľbu, ktorý pozostáva z pružiny, dvoch skrutiek, dvoch matíc a štyroch podložiek. Boli riešené viaceré spôsoby spájacích komponentov medzi modulmi potrubného stroja, napr. spájací komponent z guľových čapov, ale neosvedčili sa [1].



Obr.11 Fotografia spojenia dvoch modulov potrubného stroja pomocou pružinového kľbu [1]

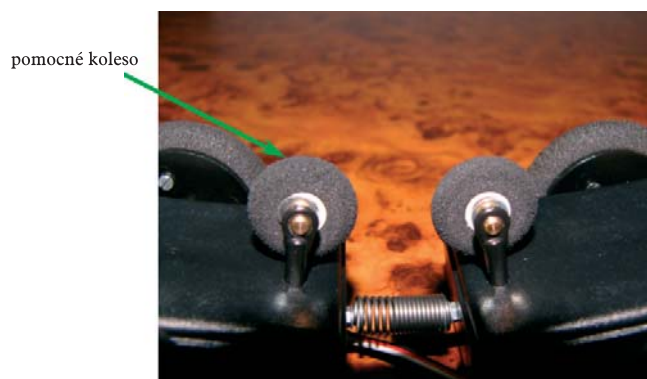
3.2 Riešenie pomocného kolesa

Pri spojení modulov pomocou komponentov vyrobených z pružiny vzniká problém s preklápaním modulov, a to do tvaru písmena „V“ (obr. 12).



Obr.12 Kinematická schéma znázorňujúca preklápanie modulov potrubného stroja [1]

Tento problém preklápania modulov potrubného stroja bol vyriešený zhotovením pomocných (oporných) kolies, ktoré sú vyrobené z modelárskeho kolesa s priemerom $\varnothing 20$ mm a z dvoch guľových čapov. Ku kolesu sú prichytené guľové čapy, pomocou ktorých sú pomocné kolesá prichytené k modulom potrubného stroja (obr. 13).



Obr.13 Fotografia pomocných kolies na potrubnom stroji [1]

Záver

Potrubný stroj I-Pi2005 využíva jednočipový mikropočítač na platforme jednoduchého programovacieho jazyka Basic.

Pre náročnejšie aplikácie možno použiť výkonnejšie verzie mikropočítača BasicStamp, alebo viac mikropočítačov prepojených sériovou linkou, ktorú tieto mikropočítače podporujú, alebo ich možno vzájomne prepojiť vytvorením vlastného komunikačného protokolu a osadením niekoľkých vstupno-výstupných liniek.

V budúcnosti je, samozrejme, možné integrovanie ďalších zariadení na zlepšenie jeho mechanických a snímacích vlastností a na zvýšenie komfortnosti jeho použitia pridaním nových funkcií a ďalších doplnkov, napr.:

- použitie kamery na zlepšenie navigácie potrubného stroja v potrubí a na zisťovanie rôznych prekážok v potrubí (monitoring potrubia),
- použitie LCD displeja na lepšie zobrazovanie informácií,
- využitie snímačov na zisťovanie otáčok hnaných kolies,
- prídanie ďalších modulov k hnaným modulom potrubného stroja,
- prídanie aktívnych kĺbov medzi moduly potrubného stroja, aby bolo možné s potrubným strojom prechádzať cez „kolená“ potrubí a rôzne zakrivenia potrubia,

- ovládanie pomocou gamepadu, joysticku, diaľkovo pomocou infravšetelného zdroja, ultrazvukom alebo modernejšie pomocou Bluetooth s on-line komunikáciou s ostatnými zariadeniami a pod.

Niektoré nápady neboli v tomto článku spomínané pre ich zložitosť, časovú a priestorovú náročnosť, ale aj naopak, pre niektoré prípady bol prototyp navrhnutý, aj keď toto riešenie ich nevyužíva, napr. zariadenie na elimináciu preklzavania hnaných kolies v potrubí, snímanie otáčok hnaného a voľnobežného kolesa. Ďalšie funkcie a riešenia, ako zlepšiť tento potrubný stroj, sú v štádiu návrhov.

Podakovanie

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

Literatúra

- [1] RUSNÁK, J.: Potrubný stroj pre pohyb v potrubí s vnútorným priemerom nad 100 mm. Diplomová práca. Košice, SjF TU Katedra aplikovanej mechaniky a mechatroniky, 2005.
- [2] PARALLAX, Inc.: Basic Stamp tutorial [online] 2003, [cited 18 April 2005]. Available from World Wide Web: <http://www.parallax.com/html_pages/downloads/basicstamps/documentation_basic_stamp.asp>
- [3] FUTABA – RC: Standard servos [online] 2004, [cited 18 April 2005]. Available from World Wide Web: <<http://www.futaba-rc.com/servos/servos.html>>
- [4] ROTTA: TIPY A TRIKY 2/01 – úpravy modelárskych servomotorů, [online] 2001, [cited 18 May 2004]. Available from World Wide Web: <<http://www.rotta.cz/PDF/tat102.pdf>>
- [5] KRONOS ROBOTICS AND ELECTRONICS: Convert a futaba 3003 servo to continuous operation. [online] 2003 [cited 18 April 2005]. Available from World Wide Web: <http://www.kronosrobotics.com/an116/GAN116_3003.shtml>
- [6] ROBOTIKA: RoboKrysa aneb Robutek II. ještě žije, [online] 2005, [cited 10 May 2005]. Available from World Wide Web: <<http://www.robotika.cz/robokrysa.html>>

Ing. Jaroslav Rusnák

Technická univerzita
Strojnícka fakulta KAMaM
Letná 9, 042 00 Košice
e-mail: jaroslav.rusnak@tuke.sk

62

