

# Potrubné mikrostroje - štetiny namiesto kolies (1)

Michal Kelemen, Tatiana Maťašovská

## Úvod

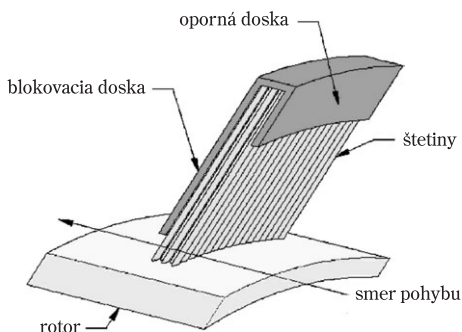
Ak si predstavíme prostriedok pohybujúci sa po pevnom povrchu, väčšina z nás si predstaví akési „monštrum“ s kolesami. Nielen kolesá však hýbu svetom, a sú situácie, keď si kolesá nedokážu poradiť. Vtedy sa deje to, čo často vidíme na zasnežených a zľadovatených cestách. Stále častejšie sa preto používajú nekonvenčné typy kontaktných prvkov medzi pohybujúcim sa prostriedkom a povrchom. Drvivá väčšina z nich je inšpirovaná biologickými vzormi. Stačí nám pohľad na fascinujúci pohyb pavúka, húsenice či švába a pod.

Potrubné mikrostroje sa pohybujú v potrubí a ich úlohou sú väčšinou inšpekčné práce, oprava potrubia alebo inštalácia káblov do potrubí, prípadne iné špeciálne úlohy. So zmenšujúcim sa vnútorným priemerom potrubia sa preklzávanie kolies stáva vážnym problémom, a to najmä v prípade znečistených potrubí [1], [2], [3].

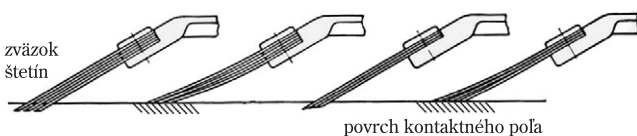
Namiesto kolies je možné ako kontaktný prvok použiť napr. štetiny – vtedy hovoríme o štetinových potrubných mikrostrojoch (angl. bristle in-pipe micromachine). Tento článok sa venuje problematike aplikácie štetín v úlohe nosných prvkov pre potrubné mikrostroje, ktorých riešením sa v rámci grantových úloh zaoberajú pracovníci na Strojníckej fakulte Technickej univerzity v Košiciach.

## Fenomén štetín

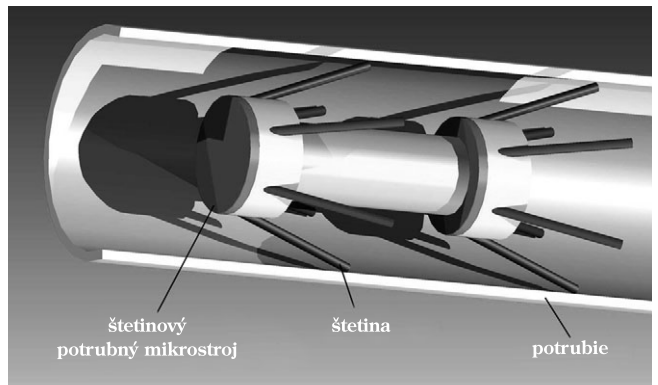
Štetiny (angl. bristle) potrubného mikrostroja sú ohybové pružiny, ktoré sú na jednom konci votknuté. Štetiny sú v bežnej praxi často používané napr. na utesňovanie ložiskových priestorov rotujúcich častí (obr. 1), ktoré sú vystavené extrémnym podmienkam (ako je vysoký tlak a teplota, prítomnosť agresívnych látok a pod.) [4]. Ak sa vyžaduje vysoká priľacná sila pri obmedzenej dĺžke štetiny, používa sa viac štetín, ktoré sa usporiadajú nad sebou, a tak vzniknú zväzky štetín, resp. pružinové kefy.



Obr.1 Štetiny použité na utesnenie rotora parnej turbíny [4]



Obr.2 Zväzky štetín použité v otočných prepínačoch [5]

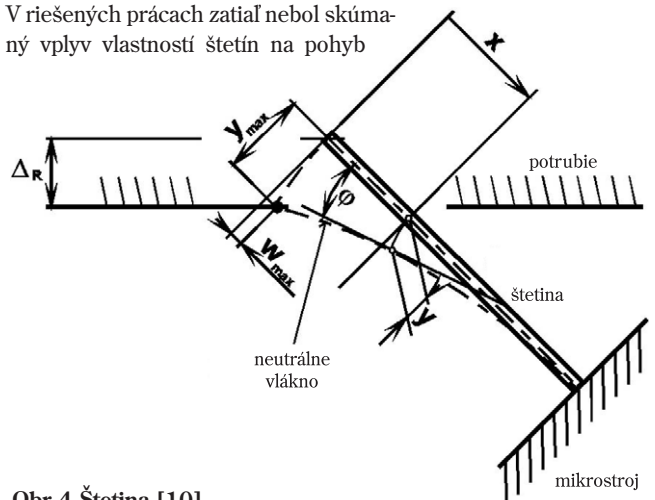


Obr.3 Diagonálne umiestnenie štetín po obvode potrubného mikrostroja

Príkladom použitia takejto konfigurácie štetín (obr. 2) sú napr. otočné spínače [5]. Ďalším príkladom použitia štetín je kontaktný štetinový zväzok spínačov alebo elektromagnetických relé. Väčšinou sa používajú štetiny obdĺžnikového prierezu, v niektorých prípadoch sú však výhodnejšie štetiny, ktorých šírka sa k voľnému konci zužuje [5].

V prácach [6], [7], [8] sa však vyskytujú štetiny v úlohe nosného prvku pre potrubné mikrostroje v rôznych modifikáciách. V prípade riešeného potrubného mikrostroja sú štetiny montované na dvoch moduloch po obvode, pričom vzhľadom k osi mikrostroja a potrubia sú polohované diagonálne (šikmo). Vhodným akčným členom je dosiahnutá cyklická zmena vzdialenosti medzi týmito modulmi so štetinami. V dôsledku toho, že trenie medzi štetinou a stenou potrubia je rozdielne, pri pohybe štetiny vpred a vzad dochádza k pohybu celého mikrostroja. Voľba použitia diagonálnych štetín (obr. 3) vyplýva zo skúseností pri riešení potrubných mikrostrojov, ktoré sú predmetom záujmu grantových úloh. Problémom je navrhnuť štetiny tak, aby bol pohyb mikrostroja čo najefektívnejší.

V riešených prácach zatiaľ nebol skúmaný vplyv vlastností štetín na pohyb



Obr.4 Štetina [10]



mikrostroja v potrubí. Vychádzalo sa len z doposiaľ známych skúseností z iných aplikačných oblastí. Podľa skúseností autorov [6], [7], [8], [9], práve zošíkmenie použitých štetín je základným predpokladom pre pohyb mikrostroja v potrubí.

Štetiny aplikované v potrubnom mikrostroji predstavujú ohybovú pružinu stálega prierezu, ktorá má jeden koniec votknutý a druhý koniec je voľný (obr. 4). Ich charakteristickou vlastnosťou je deformovateľnosť, ktorá je omnoho väčšia než pri ostatných súčiastkach. Značnú deformovateľnosť možno získať použitím materiálu s vysokou poddajnosťou alebo vhodným tvarovaním prierezu materiálu. Štetiny teda v potrubnom mikrostroji predstavujú nosné členy na vytvorenie silového spojenia medzi potrubným mikrostrojom a stenou potrubia.

Vo väčšine aplikácií votknutých nosníkov sú priehyby  $y$  pri ohybe malé v porovnaní s celkovou dĺžkou nosníka. Horizontálne posunutia  $w_{\max}$  možno v týchto prípadoch zanedbať. V prípade štetiny mikrostroja (obr. 4) je jej priehyb až 25 % dĺžky štetiny. Horizontálne posunutie teda v tomto prípade nemožno zanedbať [10].

Najviac používaným modelom priehybovej čiary je diferenciálna rovnica priehybovej čiary, ktorá má tvar:

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = -\frac{M(x)}{E \cdot J_z} \quad (1)$$

$$\left[ 1 + \left( \frac{dy}{dx} \right)^2 \right]^{\frac{3}{2}}$$

- kde  $y$  – priehyb v mieste vo vzdialenosti  $x$  od voľného konca štetiny,  
 $x$  – súradnica skúmaného miesta priehybu na štetine,  
 $M(y)$  – ohybový moment zafažujúci štetinu vrátane osového zafaženia,  
 $E$  – Youngov modul pružnosti v ťahu,  
 $J_z$  – kvadratický moment prierezu v ohybe.

V praxi sa pripúšťa použitie približného, zjednodušeného tvaru tejto diferenciálnej rovnice (zanedbá sa menovateľ ľavej strany rovnice). Nie sú však jednoznačne a jednotne stanovené kritériá, kedy toto zjednodušenie možno pripustiť a neuvádza sa ani maximálna chyba, ak sa pri tomto zjednodušení dopúšťame. Vzťah (1) platí len pri predpoklade Bernoulliho hypotézy (predpoklad zachovania rovinnosti priečnych prierezov).

Ak teda predpokladáme, že aplikáciou zjednodušeného modelu by sme sa dopustili značných nepresností pri popise správania sa štetiny, je potrebné riešiť analyticky vzťah (1). Vzťah (1) je diferenciálna rovnica 2. rádu obsahujúca funkčnú hodnotu  $y(x)$  a jej prvú a druhú deriváciu. Jej analytické riešenie je veľmi zložité i pre jednoduché tvary funkcie  $M(x)$ . Pokiaľ je opodstatnená potreba jej riešenia, uskutočňuje sa pomocou eliptických integrálov. Ak ide o malé deformácie, zanedbáva sa prvá derivácia funkcie priehybu  $y(x)$  [10].

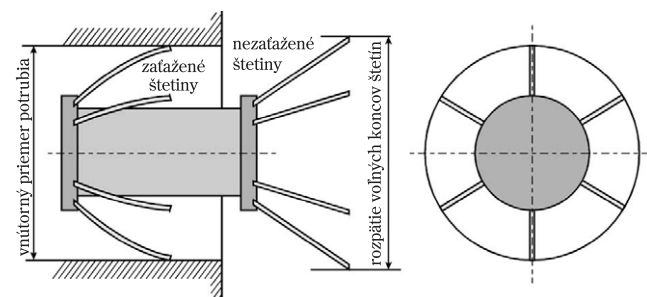
Uvedená závislosť (1) vyjadruje závislosť deformácie štetiny na známom silovom zafažení. V prípade potrubného mikrostroja však zafaženie štetiny nie je realizované silovým pôsobením, ale nepod-

dajnosťou vnútornej steny potrubia (obr. 5). Štetiny sú montované na potrubný mikrostroj tak, že rozpätie ich voľných koncov (priemer kružnice opísanej okolo voľných koncov štetiny) je väčšie než vnútorný priemer potrubia. Deformácie steny potrubia sú v porovnaní s deformáciami štetín zanedbateľné, a teda deformácia štetiny je definovaná vnútorným priemerom potrubia. Z tohto vstupného údaja je ďalej potrebné určiť veľkosť prítláčnej sily na stenu potrubia. Ide teda o neštandardný prípad zafaženia.

## Literatúra

- [1] GMITERKO, A., DOVICA, M.: Dependence of the body sensitivity function on geometrical size for the mechatronic system. International conference Mechatronics and Robotics' 97. 29. 9. – 2. 10. 1997, Brno, Czech Republic, pp. 27 – 30.
- [2] DOVICA, M., GMITERKO, A.: To some questions of components and modules of mini and micromechanisms. Mechanics '98. Proceedings of the International Scientific Conference. Volume I, Rzeszów University of Technology, Poland, June 1998, pp.191 – 198.
- [3] SLIMÁK, I., DOVICA, M., GMITERKO, A.: K niektorým otázkam komponentov a modulov mini a mikromechanizmov. Acta Mechanica Slovaca 1997, č. 2, s. 65 – 77.
- [4] AKSIT, M., F.: A computational study of brush seal contact loads with friction. PhD thesis. New York: Rensselaer Polytechnic Institute Troy 1998.
- [5] RICHTER, O., VOSS, R., V., KOZER, F.: Součásti pro jemnou mechaniku. Praha, SNTL 1961.
- [6] AOSCHIMA, S., TSUJIMURI, T., YABUTA, T.: Design and analysis of a midget mobile robot using piezo vibration for mobility in a thin tube. In the International Conference on Advanced Mechatronics. May 1989, Tokyo, pp. 659 – 663.
- [7] AOSCHIMA, S., TSUJIMURI, T., YABUTA, T.: A miniature mobile robot using piezo vibration for mobility in a thin tube. Transaction of ASME. Vol. 115, June 1993.
- [8] AOYAGI, S., NAKAI, S., MAEDA, K., KAMIYA, Y., OKABE, S.: A basic study on a mobile robot for maintaining pipes. Int. J. Japan Soc. Prec. Eng. Vol. 25, No. 3, Sep. 1991, pp. 233 – 234.
- [9] FUKUDA, T., HOSOKAI, H., OHYAMA, H., HASHIMOTO, H., ARAI, F.: Giant magnetostrictive alloy (GMA) applications to micro mobile robot as a micro actuator without power supply cables. IEEE 1991, pp. 210 – 215.
- [10] KELEMEN, M.: Mechatronické aspekty optimalizácie pohybu potrubného mikrostroja. Doktorandská dizertačná práca. Košice, apríl 2002.
- [11] HOWELL, L., MIDHA, A., NORTON, T., W.: Evaluation of equivalent spring stiffness for use in a pseudo-rigid-body model of large-deflection compliant mechanism. Transaction of ASME. Vol. 118, March 1996, pp. 126 – 131.

*Pokračovanie v budúcom čísle.*



Obr.5 Zafaženie štetín vyvolané nepoddajnosťou steny potrubia [10]

**Ing. Michal Kelemen, PhD.**

**Technická Univerzita v Košiciach, SjF, KAMaM**

**Ing. Tatiana Maťašovská**

**Technická Univerzita v Košiciach, SjF, KPABl**