

MULTIAXIAL VARIABLE FORCE TRANSDUCER MULTIAXIÁLNÍ VARIABILNÍ SILOVÝ SNÍMAČ

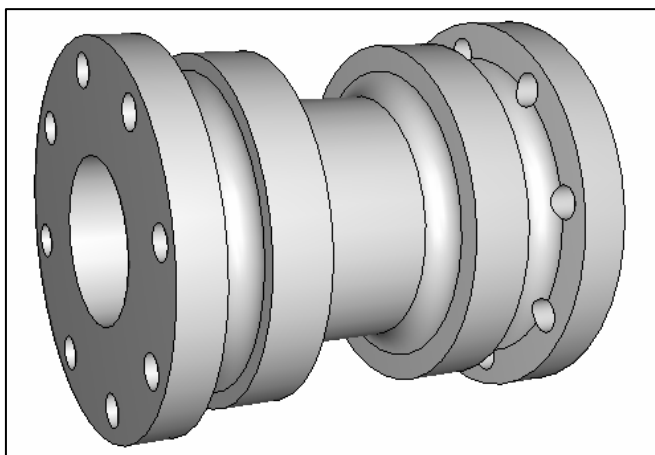
Karel Vítek¹

Abstract: *Multiaxial transducers are much more complex as regards demands for their basic mechanical construction. The measuring of a particular deformation field on the construction is the basic principle of their use. The design of a transducer sets broad range of requirements, which have to be fulfilled. These are: compliance of bodies of respective sensors with strength criteria, optimization of range of measuring circuit signal sensitivity and stability guarantee of sensor parameters. Complexity of demands concerning the design of multiaxial transducers leads towards optimization techniques, because of the necessary criteria, which have to be fulfilled, are of different character. High-strength steel with low material hysteresis and closely fitting the Hooke's law are used for bodies of sensors at most. First optimization criterion is minimalization of influence of the support imperfections at the transducer measuring zone. Second criterion is balanced state of stress of the transducer critical parts. Optimization of the measuring range of the force transducers can be based on use of a residual bending stresses in their strain gage measuring design. Using this special design moves the measuring rang for application nonsymmetric force loading of the transducers. The variable multiaxial transducer design enables to create several combinations of the force transducer configurations.*

Keywords: *Force transducer, imperfection, optimum structure design, variable design*

1. Úvod

Multiaxiální silové snímače se běžně neprodávají, jsou složitější v nárocích na vlastní mechanickou konstrukci a většinou bývají předmětem zakázkových prací. Cílem je optimalizačními postupy vyvinout a navrhnout vhodné konstrukce multiaxiálních silových snímačů široce využitelné v průmyslové praxi. V principu jsou multiaxiální silové snímače založeny na snímání vhodného pole deformací. Komplexnost nároků na konstrukce multiaxiálních snímačů vytváří konstrukční optimalizační úlohy, ve kterých kritéria kladená na tyto konstrukce jsou odlišné povahy a je zde třeba respektovat široké spektrum požadavků. Je třeba dodržet kritéria pevnosti vlastních těles snímačů, naproti tomu optimalizovat pole citlivostí signálů měřících obvodů respektující s eliminací hystereze Hookeův zákon. Současně je nutno zaručit stabilitu parametrů snímače, která je závislá na charakteru uložení snímače v měřené konstrukci, respektive na citlivosti měřících obvodů na imperfekce

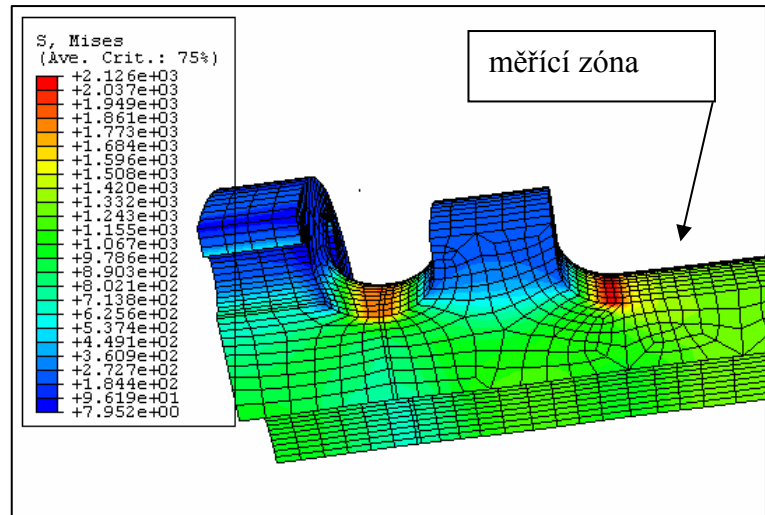


Obr. 1 Optimalizovaná konstrukce snímače

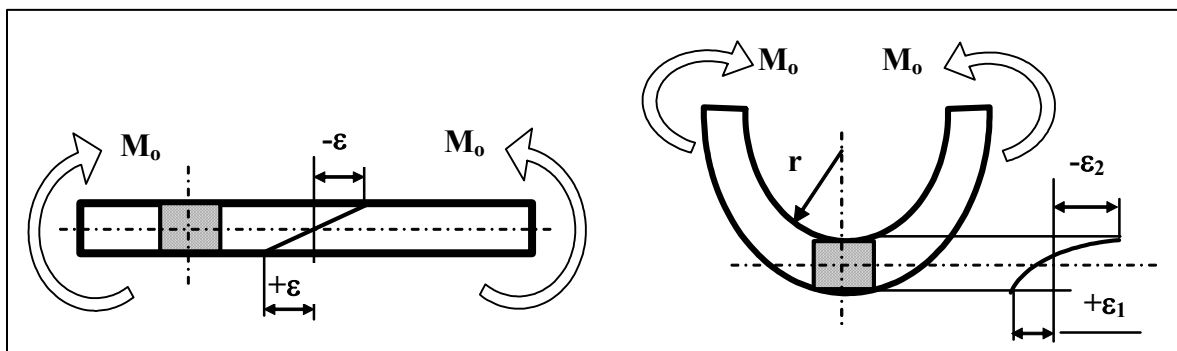
¹ Ing. Karel Vítek, CSc.: Ústav mechaniky, Biomechaniky a mechatiky, Fakulta strojní, ČVUT v Praze, Technická 4, 166 07 Praha 6, e-mail: karel.vitek@fs.cvut.cz.

vznikající v uložení silového snímače, jehož konstrukci dle obr. 1 optimalizovanou k souhrnu parametrů jsme uvedli v [1]. Krajní příruby multiaxiálního silového snímače zde slouží k jeho montáži a střední zóna - chráněná mohutnými vnitřními tlumícími kotouči před vlivem imperfekcí vznikajících v krajních úchytných přírubách, je určena k umístění měřících obvodů snímače, viz obr. 2.

Silový snímač využívající k indikaci silového namáhání elastické deformace měřené v ohybové zóně tělesa jsme uvedli ve [3]. Zatěžovací rozsah tohoto snímače je možno plastizací průřezu posunout. Praktické využití silových snímačů na tomto principu může být v praxi široké, neboť v řadě případů má silové zatížení vůči nulové hladině nesymetrický charakter. Potom je zde také nesymetrická charakteristika silového snímače účelná, neboť umožňuje užít citlivější konstrukci snímače.



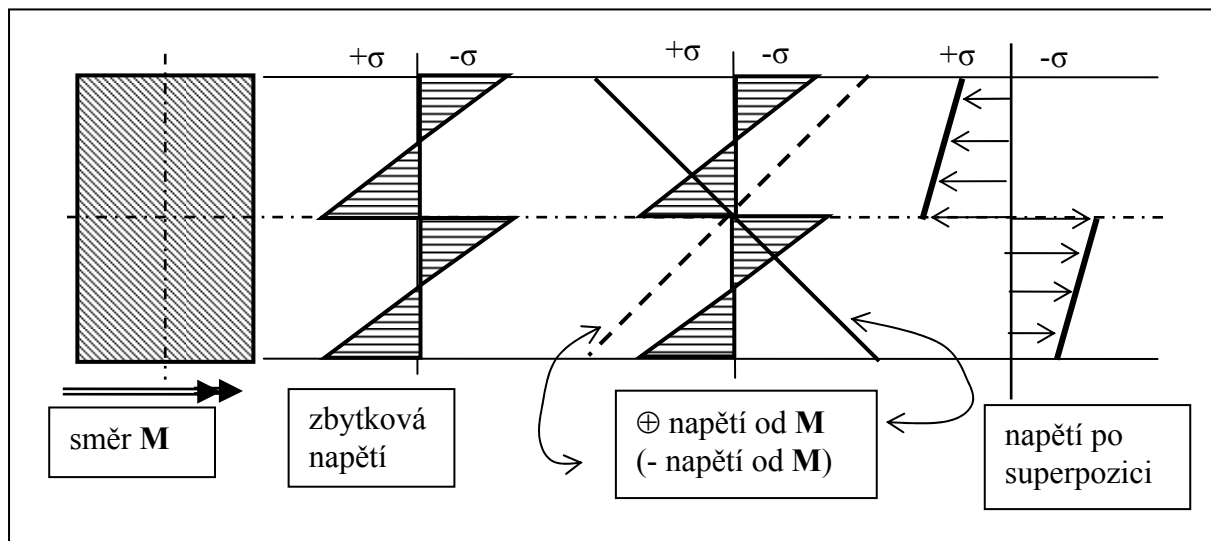
Obr. 2 Napjatost silového snímače zatíženého tahem



Obr. 3 Model silového snímače s posunutým rozsahem – využitím plastického kloubu

Uvažujeme-li těleso snímače jako prut obdélníkového průřezu podle schéma na obr. 3, lze u přímého tvaru prutu zatíženého ohybovým momentem M v lineární elasticitě předpokládat při jednoosé napjatosti v krajních vláknech obdélníka stejnoměrné rozdělení tahového s tlakovým napětím (v celém průřezu je průběh prakticky lineární). Pro prut zplastizovaný do poloměru zakřivení r bude v závislosti na poloměru průběh ohybového elastického napětí a tedy i odpovídající dominantní deformace nesymetrický (v celém průřezu hyperbolický – například podle teorie tlustých – silně zakřivených prutů). Silné zakřivení prutu tvářením za studena fakticky realizuje průběh napjatosti v prutu odpovídající pružně plastickému stavu. Například u modelu ohybového plastického kloubu dle obr.4 vyvolaná zbytková napětí v průřezu zde umožní posunout rozsah vnějšího zatížení zplastizovaného průřezu prutu. Vnější zatížení ve směru momentu M vytvoří v průřezu plastického kloubu následný průběh ohybových napětí, která se superponují na zbytková ohybová napětí. Výsledný průběh ohybových napětí od momentu působícího ve směru a smyslu plastického momentu má díky zbytkovým napětím příznivější průběh, neboť špičky ohybových napětí v krajních vláknech průřezu jsou ohybovým předpětím omezeny a průřez je tudíž možno ohybem zatěžovat

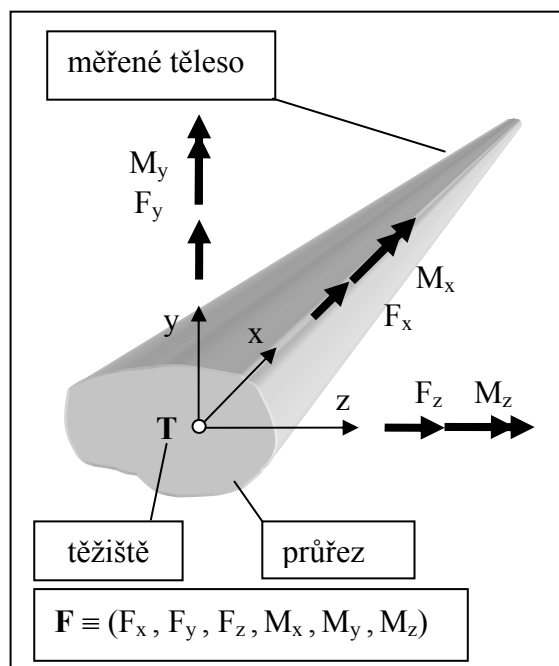
nesymetricky, tedy více ve smyslu kladného momentu M , proto je zde také vhodné osadit právě zplastizovaný průřez měřícími obvody silového snímače.



Obr. 4 Zbytková ohybová napětí plastického kloubu následně zatížená napjatostí od ohybu

2. Konstrukce variabilního multiaxiálního silového snímače

Identifikace vektoru silového namáhání F referenčního místa T z obr. 5 může být realizována tenzometrickým měřením poměrných prodloužení s následným řešením matematického modelu tohoto měření. Silový vektor F se skládá ze tří silových F_x, F_y, F_z a tří momentových M_x, M_y, M_z vzájemně nezávislých složek. U prutového tělesa snímače můžeme pro jednotlivá jednoduchá namáhání vycházet například z publikace [2], kde pro jednotlivá namáhání a jejich superpozice je možno využít osvědčené měřené směry deformací podle obr. 6. Pro typický případ měření kroutícího momentu a posouvající síly jsou osy tenzometrů umístěny pod úhlem $\pi/4$ od osy tělesa prutu, aby reagovaly silným signálem na eventuální napjatost čistého smyku. V případě ohybových momentů a normálové síly očekáváme největší hodnoty měřených deformací ve směru osy prutu, proto je soustava tenzometrů do osy prutu orientována.



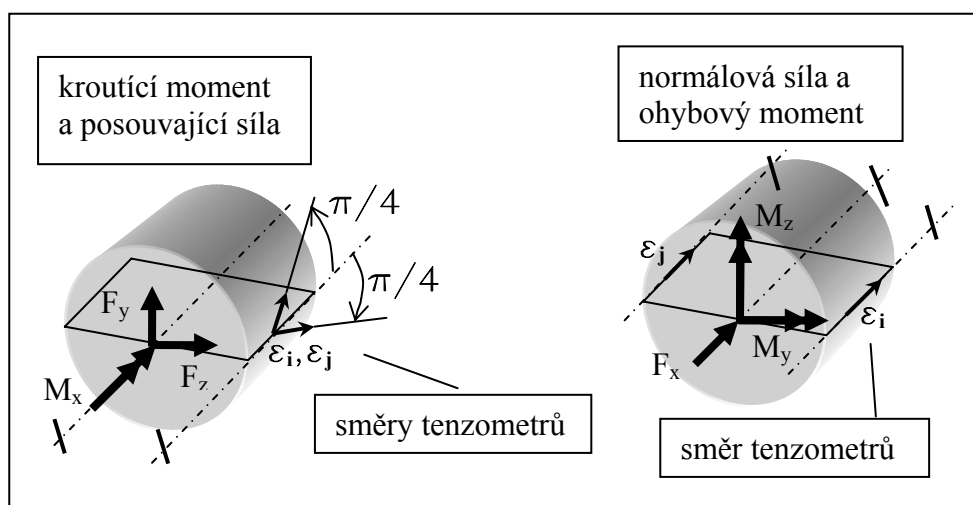
Obr. 5 Namáhání měřeného průřezu

Měřená poměrná deformace ε_i je při multiaxiálním zatížení závislá na všech zatěžujících komponentách podle vztahu (1).

$$\varepsilon_i = c_{i1}F_x + c_{i2}F_y + c_{i3}F_z + c_{i4}M_x + c_{i5}M_y + c_{i6}M_z, \quad (1)$$

zde c_{ik} jsou citlivosti příslušné jednotlivým prvkům silového vektoru - sil F_k , respektive momentům M_k . Cejchování snímače pro jednotlivé parciální složky silového zatěžovacího vektoru probíhá parciálně, kdy příslušná složka citlivosti je dána směrnici regresní přímky odpovídající měřené deformaci. Soustava rovnic měření pro multiaxiální silový snímač o n členech silového vektoru musí mít alespoň n lineárně nezávislých měřících obvodů a má pak tvar rovnice (2).

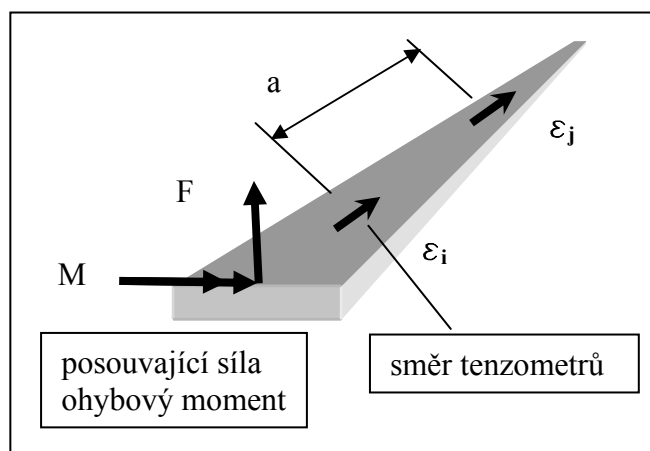
$$\begin{bmatrix} c_{11} & c_{12} & c_{13} & c_{14} & c_{15} & c_{16} \\ \vdots & & & & & \vdots \\ c_{m1} & c_{m2} & c_{m3} & c_{m4} & c_{m5} & c_{m6} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} F_x \\ F_y \\ F_z \\ M_x \\ M_y \\ M_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \vdots \\ \varepsilon_n \end{bmatrix} \quad (2)$$



Obr.6 Měření namáhání v prutových modelech silových snímačů

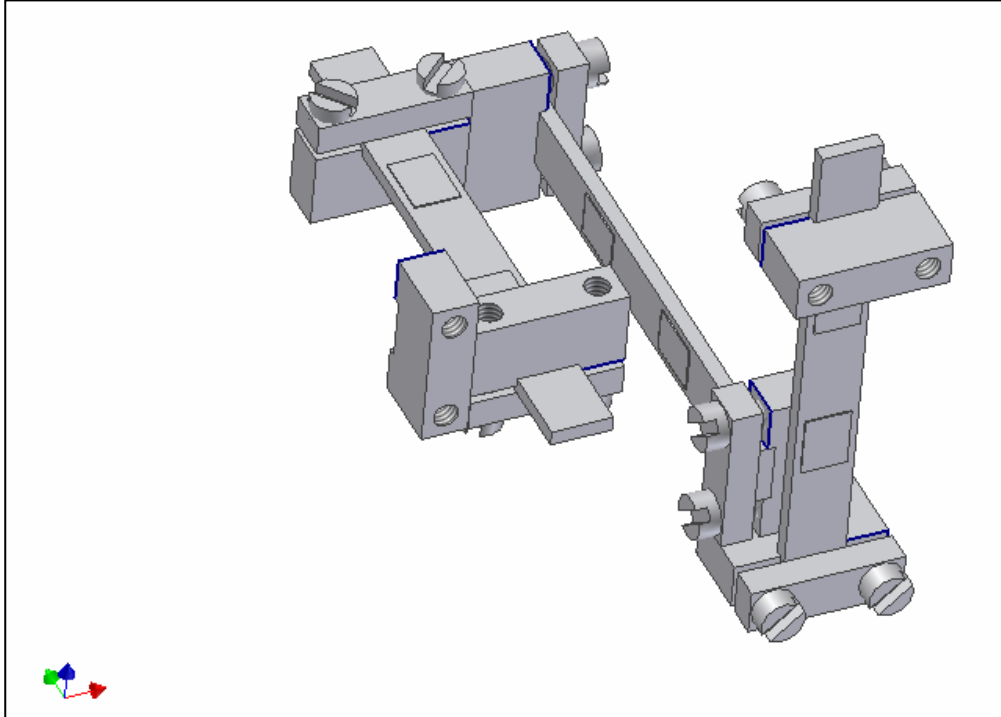
Konstrukce variabilního multiaxiálního silového snímače je založena na konstrukčně kombinovatelném měřícím prvku podle schéma na obr. 7. Je-li tento prvek s dvěma nezávislými měřícími obvody použit v sérii alespoň třikrát s vhodnou kombinací směrů, je tato sestava dostatečná pro měření úplného šesti složkového silového vektoru.

Tyto měřící prvky jsou sériově mezi sebou propojeny spojkami, které na volných koncích krajních měřících prvků tvoří úchyty snímače, kterými se snímač montuje do měřené konstrukce. Spojky umožňují variabilní sestavení měřících prvků snímače jednak počtem měřících prvků, dále délkou měřících prvků, která je měnitelná nastavením polohy spojek a také variabilní polohou měřících prvků tvořících těleso silového snímače. Snímač umožňuje různými možnostmi sestavení měnit svůj tvar a polohu úchytnů i počet měřených veličin podle toho, kolik měřících oblastí



Obr. 7 Kombinovatelný měřící prvek

konkrétně sestavený snímač tvoří. Variabilita tvaru multiaxiálního silového snímače implikuje také variabilitu jeho matice citlivosti z rovnice (2). Jestliže měřené směry respektují globální kartézské souřadnice, jedná se v případě kombinace sestav konstrukce o pravouhlé silové snímače, jehož příkladná konstrukce je uvedena na obr. 8. Počet možných kombinací sestav tohoto silového snímače je značný a v principu je vhodný využít k řadě aplikací.



Obr. 8 Příkladná konstrukce variabilního silového snímače

Poděkování: Tento výzkum podporuje „Výzkumné centrum spalovacích motorů a automobilů Josefa Božka II, 1M6840770002 MSMT“.

Literatura

- [1] Vítek, K.: *Optimization of Measuring Range of Transducers*, 17th Danubia-Adria Symposium on Experimental Methods in Solid Mechanics, Prague 2000, pp. 337-338.
- [2] Hoffmann, K.: *An Introduction to Measurements using Strain Gages*, Hottinger Baldwin Mestechnik GmgH, 1989.
- [3] Vítek, K.: *Optimalizace měřicího rozsahu silových snímačů*, Experimentální analýza napětí - EAN 2000. VUT Brno 2000, s. 369-370. ISBN 80-214-1569-X.