

# ANALÝZA A EXPERIMENTÁLNE MERANIE ZAŤAŽENIA RAMENA MANIPULÁTORA K1-K5

## ANALYSIS AND EXPERIMENTAL MEASUREMENT OF THE MANIPULATOR K1-K5 ARM LOADING

Ján VAVRO, Miroslav KOPECKÝ, Miriam FANDÁKOVÁ<sup>1</sup>

### *Abstrakt*

Článok sa zaoberá statickou analýzou ramena manipulátora K1-K5 pomocou matematického modelovania metódou konečných prvkov pri použití programov Pro-Engineer a Cosmos M. Výsledky experimentálnych meraní sú porovnávané s numerickou analýzou konštrukcie manipulátora metódou konečných prvkov. Analytické výsledky sú overované v bodech (1) a (2) na obr.6 a porovnávané s nameranými hodnotami overenými experimentálne použitím odporových tenzometrov.

**Kľúčové slová:** zatáženie, statická analýza, Cosmos M, Pro-Engineer, experimentálne meranie, snímač.

### *Abstract*

The article is dealing about static analyse of the K1 - K5 manipulator arm loading by the help of the mathematic modelling of finite element method with utilization of Pro-Engineer and Cosmos M programs. Experimental results of the measurement are compared to numerical analysis of manipulator structure based on finite elements methods. The analytical results are evaluated for points (1) and points (2) Fig.6 and compared with the measured value obtained in testing using an electric resistance strain gauge.

**Keywords:** loading, static analysis, Cosmos M, Pro/Engineer, experimental measurement, strain gauge.

## ÚVOD

Hlavným výrobným programom Matador Machinery, a. s. Dubnica nad Váhom sú

zariadenia pre gumárensky priemysel, ktoré tvoria v súčasnosti 75 % produkcie. K výrobnému programu pre gumárensky priemysel patrí i manipulátor K1-K5 (obr.1) ktorý slúži na prenos formy pri vulkanizačnom lise pri výrobe pneumatík.

Rameno manipulátora LA 425 ktorého statická analýza bola urobená s ohľadom na prevádzkové zatáženie je na obr.2.

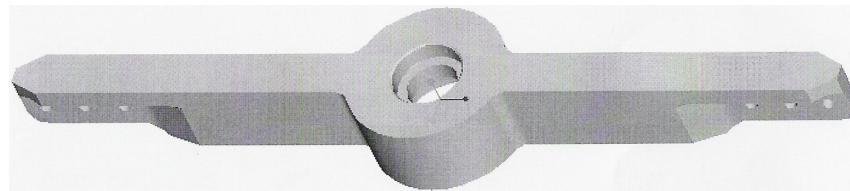
Manipulátor bol nakreslený pomocou systému Pro/Engineer, ktorého geometria bola pretransformovaná pomocou súboru Igs do programu pre vytvorenie konečno-prvkového modelu.



Obr.1 Manipulátor K1 – K5

---

<sup>1</sup> doc. Ing. Ján VAVRO, PhD., prof. Ing. Miroslav KOPECKÝ, PhD., Ing. Miriam FANDÁKOVÁ, FPT v Púchove, TnU AD v Trenčíne, [vavro@fpt.tnuni.sk](mailto:vavro@fpt.tnuni.sk), [mirkopecky@inmail.sk](mailto:mirkopecky@inmail.sk),  
Lektoroval: prof. Dr. Ing. Milan SÁGA, KAM, SjF ŽU v Žiline, [Milan.Saga@fstroj.utc.sk](mailto:Milan.Saga@fstroj.utc.sk)

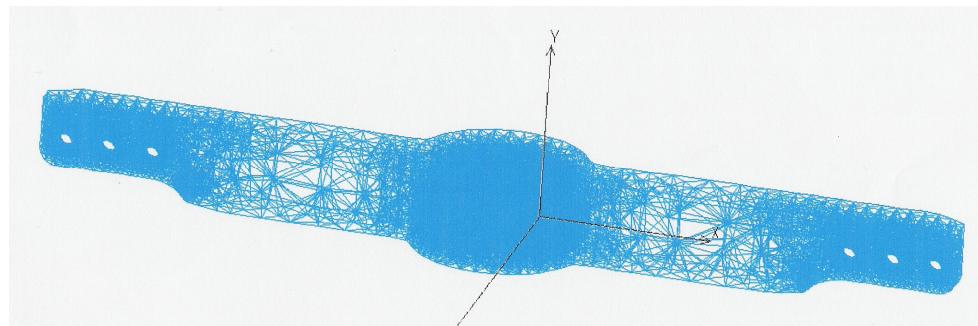


Obr.2 Rameno manipulátora LA 425

## VÝPOČET NAPÄTIA V RAMENE MANIPULÁTORA PRI STATICKOM ZAŤAŽENÍ

Numerická analýza ramena LA 425 u manipulátora K1-K5 bola vykonaná pre statické zaťaženie 4 000 kg pre najväčšie rameno závesu zaťaže.

Pre rameno manipulátora LA 425 (obr.2) bol vytvorený konečno-prvkový model (obr.3) pomocou objemových prvkov.



Obr.3 Konečno-prvkový model ramena manipulátora LA 425

Materiál ramena je 11 523.1. Statická analýza ramena manipulátora zahrňuje riešenie rovnovážnych rovníc (1). Sústava

$$[K]\{u\} = \{R\}, \quad (1)$$

sa rieši Gaussovou elimináčnou metódou. Gaussova eliminácia predpokladá pozitívne definitný symetrický systém rovníc. Algoritmus vykonáva minimálny počet operácií, t.j. nevykonávajú sa operácie  $L^T D L$  s nulovými prvkami.

Po výpočte posunutí uzlových bodov sa vypočítajú napäťia v prvkoch. Vzťah medzi vektorom deformácie  $\{\varepsilon\}$  a posunutím vyjadruje rovnica (2)

$$\{\varepsilon\} = [B]\{u\}, \quad (2)$$

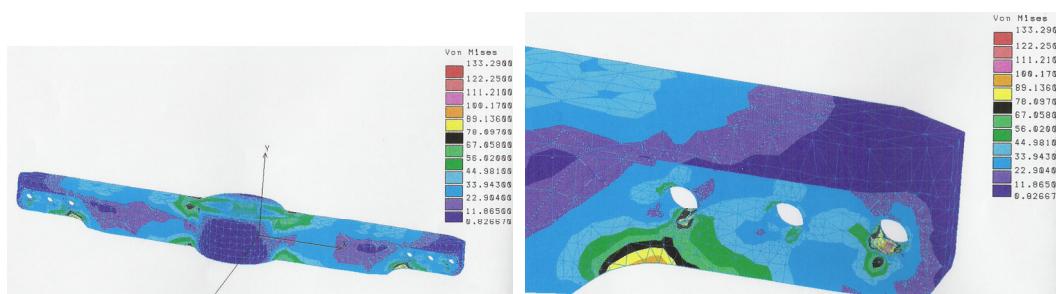
kde matica  $[B]$  je matica transformácie deformácie - posunutia. Vektor napäťia  $\{\sigma\}$  je vyjadrený ako súčin matice transformácie napäťia-deformácie  $[D]$  s vektorom deformácie  $\{\varepsilon\}$ :

$$\{\sigma\} = [D]\{\varepsilon\}. \quad (3)$$

Dosadením (2) do (3) získame vzťah medzi vektorom napäťia  $\{\sigma\}$  a vektorom posunutí uzlových bodov  $\{u\}$

$$\{\sigma\} = [D][B]\{u\}. \quad (4)$$

Rozloženie napäťostí v ramene manipulátora je v [MPa] na (obr.4). a detail rozloženia napäťostí je na (obr.5).

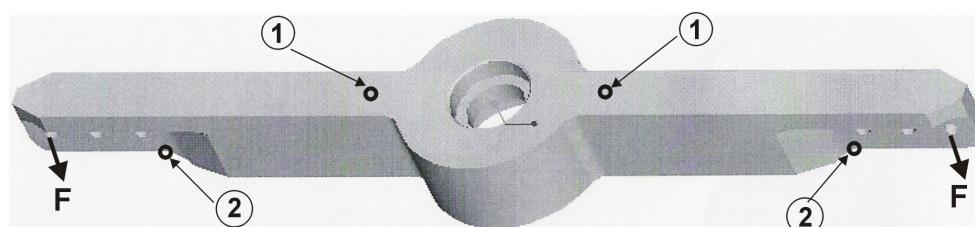


Obr.4 Rozloženie napätosti v [MPa]

Obr.5 Detail rozloženia napätosti v [MPa]

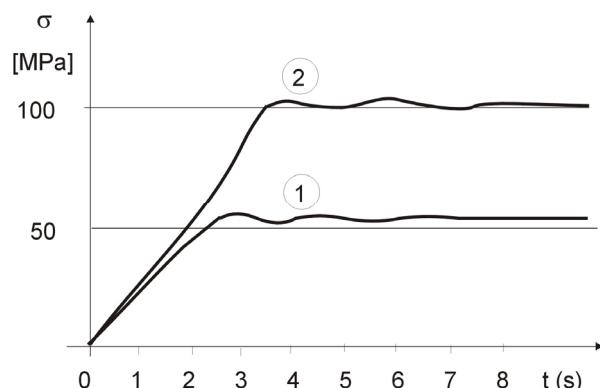
### EXPERIMENTÁLNE MERANIE V RAMENE MANIPULÁTORA PRI STATICKEOM ZAŤAŽENÍ

Experimentálne meranie sa uskutočnilo pomocou meracej aparátu M 1000 cez meraciu kartu PCL 818L. Pre meranie sa použili tenzometry SM 120 s deformačnou citlivosťou tenzometrov  $k = 2$ . Meranie sa uskutočnilo v bode 1 a 2 obr.6 pre statické zaťaženie  $F = 2\ 000$  kg.



Obr.6 Body merania pomocou tenzometrov

Výsledky experimentálneho merania v bode 1 a 2 sú na obr.7



Obr.7 Priebeh zaťaženia na ramene manipulátora v bode 1 a v bode 2

## ZÁVER

Porovnaním numerických a experimentálnych výsledkov v daných bodov 1 a 2 možno konštatovať takmer úplnú zhodu. Rameno LA 425 v plnom rozsahu vyhovuje pre bezpečnú a spoľahlivú prevádzku podľa ČSN 730035. Maximálne zaťaženie sa dosahuje u ramena LA 425 (obr.4) 133 MPa, ktoré je menšie ako  $\sigma_{dov}=210$  MPa.

Príspevok vznikol na základe finančnej podpory grantového projektu VEGA 1/2081/05 a KEGA 3/3213/05.

## LITERATÚRA

- [1] VAVRO, J., KOPECKÝ, M.: *Nové prostriedky a metódy riešenia sústav telies I*, ZUSI, Žilina, 2001
- [2] VAVRO, J., KOPECKÝ, M., SÁGA, M., FANDÁKOVÁ, M.: *Nové prostriedky a metódy riešenia sústav telies II*, Digital Graphic, Trenčín, 2004
- [3] KOŠTIAL, P.: *Fyzikálne základy materiálového inžinierstva I*, ZUSI, Žilina, 2000
- [4] KOŠTIAL, P.: *Fyzikálne základy materiálového inžinierstva II*, ZUSI, Žilina, 2002
- [5] TREBUŇA, F., ŠIMČÁK F.: *Odolnosť prvkov mechanických sústav*, EMILENA, Košice, 2004
- [6] SÁGA, M.: *Príspevok k pevnostnému dimenzovaniu tenkostenných rámov*, zborník pracovného seminára "SETRAS" 97, Žilina, 1997
- [7] SÁGA, M.: *Pevnostné výpočty konštrukcií kolajových vozidiel*, zborník pracovného seminára "Železničná koľaj a vozidlo" Stará lesná, 1991
- [8] TREBUŇA, F., BIGOŠ, P.: *Intenzifikácia technickej spôsobilosti ľahkých nosných konštrukcií*. Vienala, Košice, 1998, 345 str., ISBN 80-967325-3-6
- [9] TREBUŇA, F., ŠIMČÁK, F.: *Tenkostenné nosné prvky a konštrukcie*. Vienala, Košice, 1999, 270 str., ISBN 80-7099-444-4