

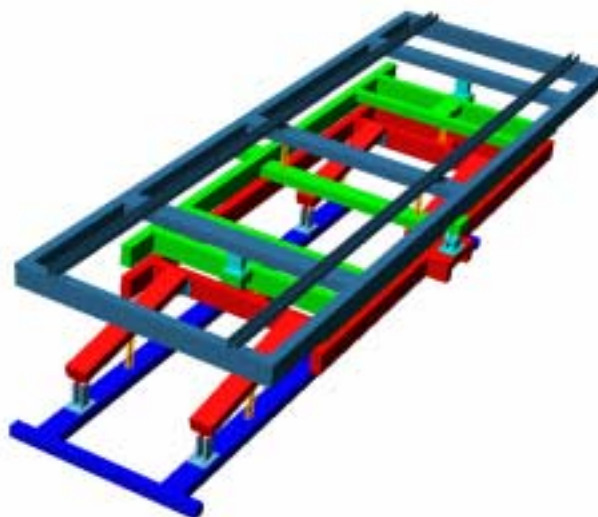
ABOUT THE DEPENDENCE OF THE NATURAL FREQUENCIES OF A VIBROISOLATION SYSTEM ON THE LOAD MAGNITUDE AND POSITION

J. Šklíba*, J. Prokop*, J. Barbora*

Summary: *The suspension of the ambulance couch is realized by pneumatic bearings with parallelogram and double cardan suspension and it has three degrees of freedom. The elastic bearing consist of pneumatic springs. In equilibrium the weight moments are balanced with moments of pneumatic springs. The all natural frequencies must be less than the first natural frequency of the chassis. In the paper the influence of the weight magnitude and its position on the natural frequencies of the system is analyzed.*

1. Úvod

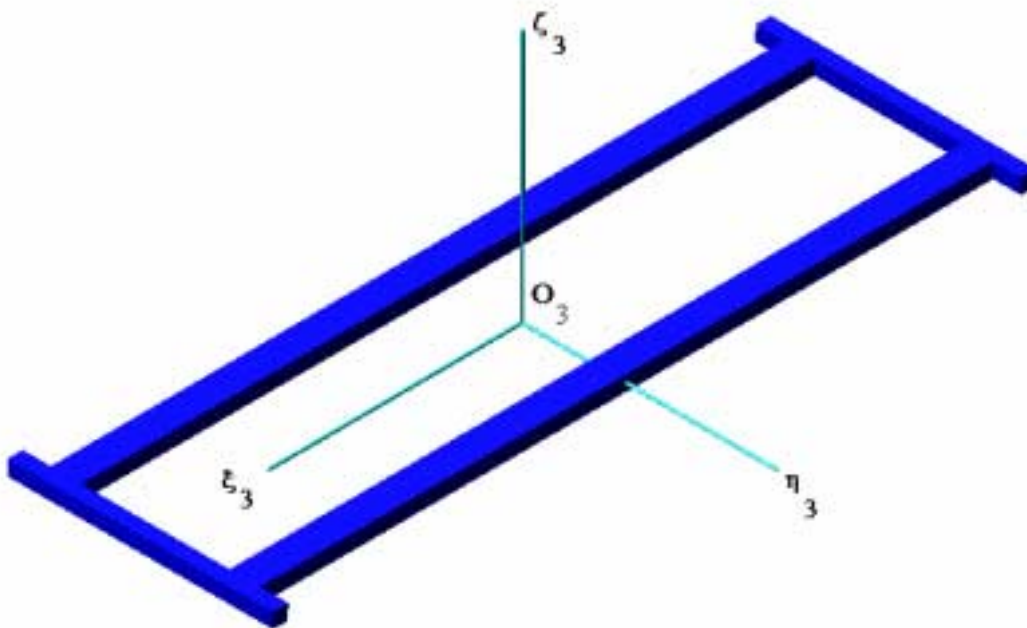
Pružné uložení sanitního lehátka (*Obr. 1*) se třemi stupni volnosti je realizováno vlnovcovými pneumatickými pružinami Dunlop 2x2^{3/4}“ Ověřovací vzorek je koncipován tak, aby umístění pružin bylo volitelné a bylo možné k pružinám připojit přídatné objemy. Na pružící systém je kladen především požadavek, aby všechny vlastní frekvence závěsu ležely pod první vlastní frekvencí vozidla a aby byly v rovnovážné poloze kompenzovány momenty tíhových sil hmot, umístěných mimo osy závěsu.



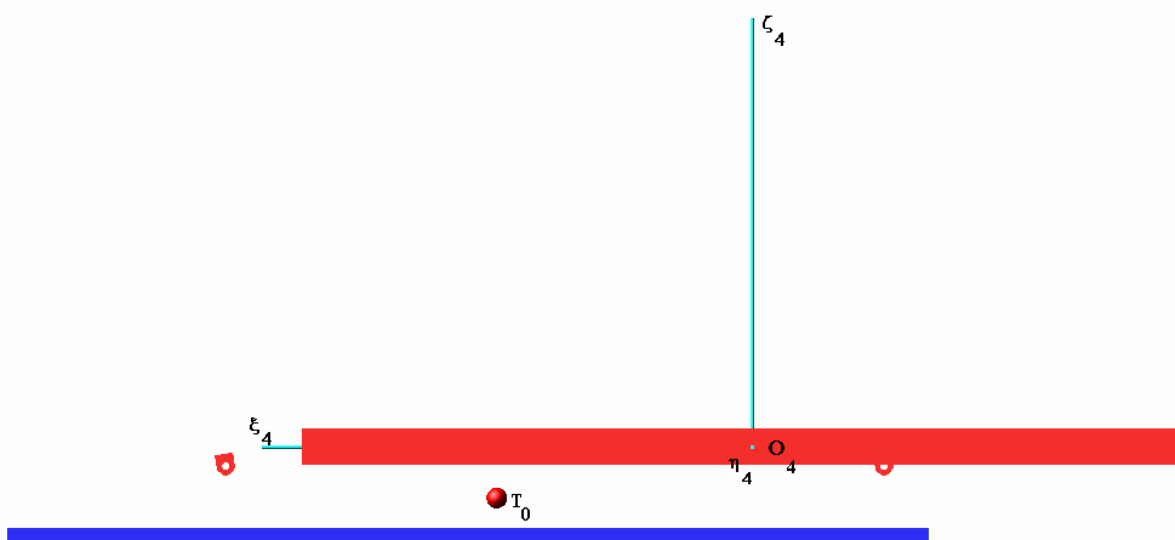
Obr. 1: Schéma konstrukce sanitního lehátka

2. Přípravné úvahy

Při určení rovnovážné polohy vycházíme z předpokladu, že systém 3, pevně spojený s karoserií sanitního vozu je inerciální a osa O_{ζ_3} je totožná s vertikálou (viz *Obr. 2*). V této soustavě jsou známy souřadnice čepů pák paralelogramu $C_i(x_{3C_i}, y_{3C_i}, z_{3C_i}), i = 1 \dots 4$ a souřadnice bodu $T_0(x_T, y_T, z_T)$, který je středem kruhové dráhy těžiště horní základny, do něhož klademe počátek souřadného systému 4, jehož osy jsou s osami systému 3 stále rovnoběžné (*Obr. 3*).

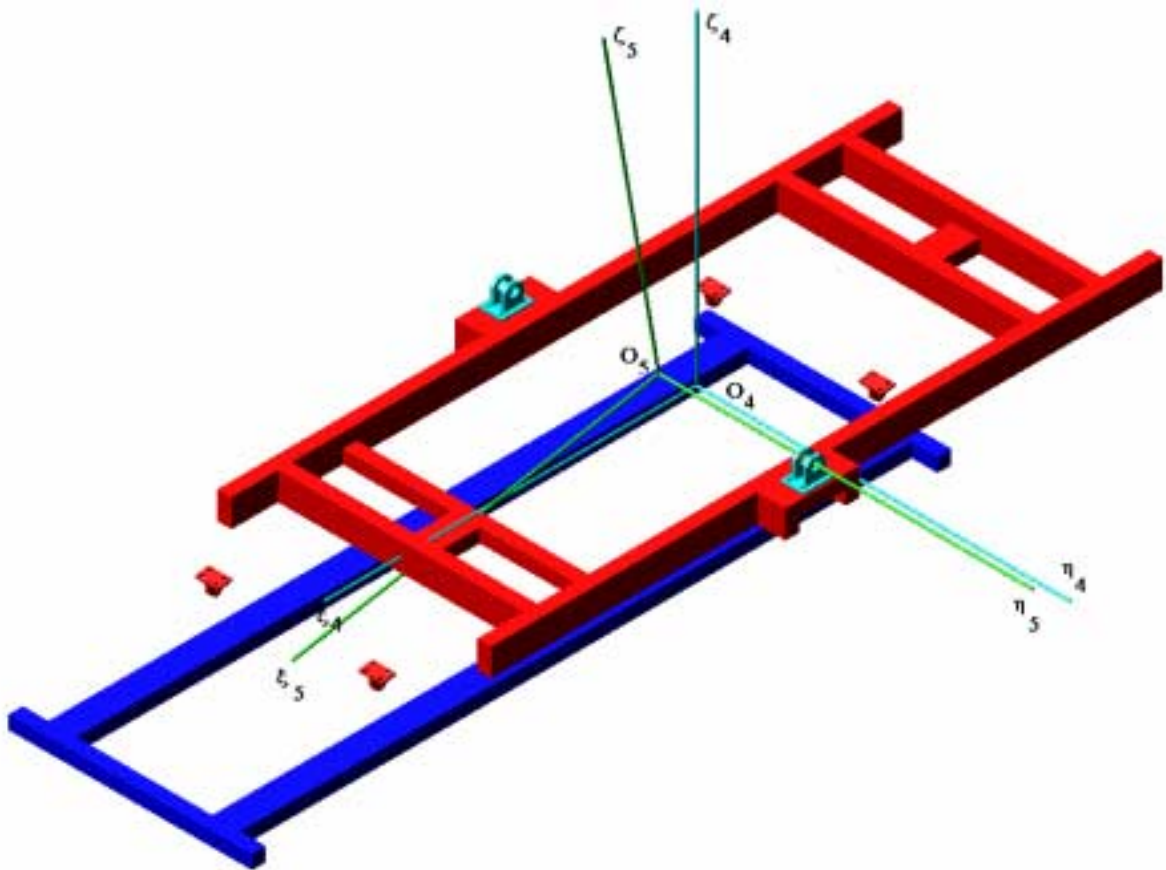


Obr. 2: Systém pevně spojený s automobilem

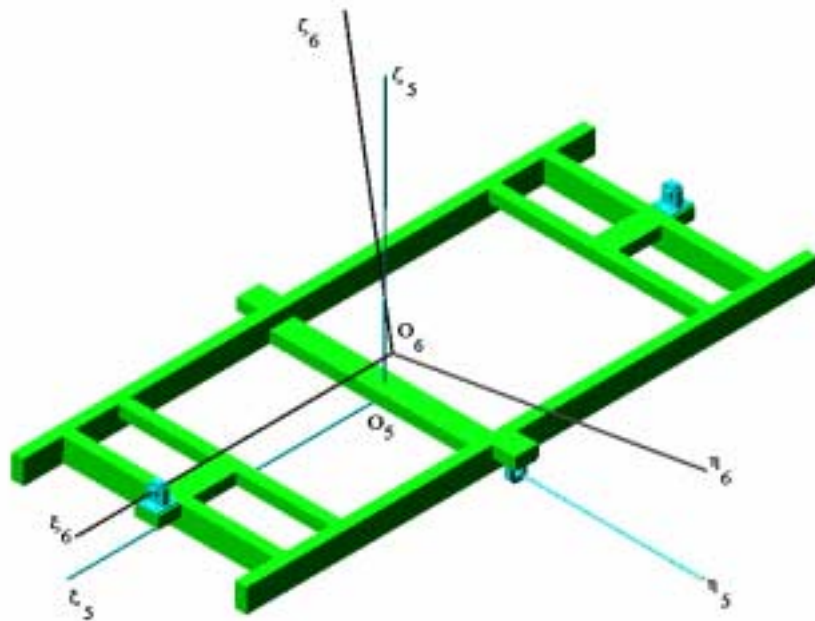


Obr. 3: Souřadný systém 4

Počátek systému 5, pevně spojeného s prvním kardanovým rámem, je vůči 4 posunut do bodu $O_5(x_{45}, 0, z_{45})$ a systém je otočen o úhel φ kolem osy O_{η_5} , rovnoběžné s O_{η_4} (*Obr. 4*).



Obr. 4: Souřadný systém 5, pevně spojený s prvním rámem
 Počátek systému 6 pevně spojeného s druhým kardanovým rámem je posunut do bodu $O_6(x_{56}, 0, z_{56})$ a systém je otočen o úhel ψ kolem O_{ξ_6} , rovnoběžné s O_{ξ_5} , přičemž veličina x_{56} je určena tak, aby O_6 byl totožný s těžištěm druhého rámu (Obr. 5).



Obr. 5: Souřadný systém 6, pevně spojený s druhým rámem

Závěs sanitního lehátka má tedy 3 stupně volnosti a jeho poloha je určena třemi úhly ϑ, φ, ψ . Konečně na druhém rámu je umístěna vlastní zátěž (obvykle ležící lidské tělo na zádech nebo na boku), souřadnice jehož těžiště (x_{LT}, y_{LT}, z_{LT}) se mohou měnit v určitém rozsahu, stejně jako vlastní hmotnost m_L . Poznamenejme, že v závislosti na dvou parametrech, výšce a tíže těla jsou známy souřadnice hmotných středů, velikosti hmot a momenty setrvačnosti ([4]) jednotlivých částí těla a že tedy můžeme výsledné těžiště i celkové momenty setrvačnosti těla stanovit známým způsobem.

3. Potenciální energie a momenty tíhových sil

Za těchto předpokladů můžeme odvodit, že potenciální energie je dána vztahem

$$U_i = \sum_{i=3}^6 m_i g z_i \quad (1)$$

kde hmotnosti a absolutní souřadnice těžišť (v systému 3) jsou označeny

i=3 ... ramena paralelogramu

i=4 ... horní základna paralelogramu

i=5 ... první kardanův závěs

i=6 ... druhý kardanův rám + lidské tělo

neboli (viz [7])

$$U(\vartheta, \varphi, \psi) = m_4(z_{04} + R \sin(\vartheta + \vartheta_0)) + m_R \left(\sum_{i=1}^4 \left(r_{Ci} + \frac{R}{2} \sin(\vartheta + \vartheta_0) \right) \right) + \\ + m_5(z_{45} + x_{45} \sin \varphi + R \sin(\vartheta + \vartheta_0)) + m_6(-x_{T6} + x_{56}) \sin \varphi + (y_{T6} \sin \psi + z_{T6} \cos \psi + z_{56}) \cos \varphi$$

Pro momenty tíhových sil k jednotlivým osám platí:

$$\frac{\partial U}{\partial \vartheta} = (m_4 + m_5 + m_6 + 2m_R) g R \cos(\vartheta + \vartheta_0) \quad (2)$$

$$\frac{\partial U}{\partial \varphi} = m_5 g (x_{45} \cos \varphi - (x_{T6} + x_{56}) \cos \varphi - (y_{T6} \sin \psi + z_{56} \cos \psi + z_{T6}) \sin \varphi) \quad (3)$$

$$\frac{\partial U}{\partial \psi} = m_6 g (y_{T6} \cos \psi - z_{T6} \sin \psi) \cos \varphi \quad (4)$$

4. Momenty nekonzervativních sil

Na základě principu virtuálních prací byly v [7] resp. v [8] odvozeny vztahy pro momenty sil pneumatických pružin, uvážíme-li, že rozsah úhlů ϑ, φ, ψ nepřevyšuje 10° , a že vzhledem ke konstrukčnímu uspořádání lze v tomto pracovním rozsahu zanedbat vyosení pružin.

V pracovním bodě, tj. pro základní délku $l = l_0$ lze závislost efektivní plochy vlnovcové pružiny nahradit polynomem k-tého stupně

$$S(l) = \sum_{j=0}^k S_j (l - l_0)^j \quad (5)$$

Pro momenty $M_{p\vartheta}, M_{p\varphi}, M_{p\psi}$ jsou v [7] odvozeny vztahy

$$M_{p\vartheta} = \left[r_4 S_{40} + \sum_{j=1}^k S_{4i} r_4^{j+1} \vartheta^j \right] \cdot 4 \cdot p_4 \quad (6)$$

$$M_{p\varphi} = p_{51} \left(r_{51} S_{501} + \sum_{j=1}^k r_{51}^{j+1} S_{5j1} \varphi^j \right) + p_{52} \left(-r_{52} S_{502} + \sum_{j=1}^k (-r_{52})^{j+1} S_{5j2} \varphi^j \right) \quad (7)$$

$$M_{p\psi} = p_{61} \left(r_6 S_{60} + \sum_{j=1}^k S_{6j} r_6^{j+1} \psi^j \right) + p_{62} \left(-r_6 S_{60} + \sum_{j=1}^k S_{6j} (-r_6)^{j+1} \psi^j \right) \quad (8)$$

kde respektujeme, že pružiny na prvním kardanově rámu pracují na různých ramenech a že pružiny jsou v základní poloze nahuštěny obecně na různý tlak.

5. Rovnovážná poloha a matice tuhosti

Na základě rovnováhy sil tíhy a sil pneumatických pružin v bodě $\vartheta = 0, \psi = 0, \varphi = 0$ obdržíme

$$(m_4 + m_5 + m_6 + 2m_R)gR \cos \vartheta_0 = 4p_4 r_4 S_{40} \quad (9)$$

$$(m_5 x_{T5} - m_6 (x_{56} + x_{T6}))g = p_{51} r_{51} S_{501} - p_{52} r_{52} S_{502} \quad (10)$$

$$m_6 y_{T6} g = (p_{61} - p_{62}) r_6 S_{60} \quad (11)$$

s vedlejšími podmínkami silové rovnováhy na obou rámech

$$(m_5 + m_6)g = (p_{51} + p_{52})S_{50} \quad (12)$$

$$m_6 g = (p_{61} + p_{62})S_{60} \quad (13)$$

Tím jsou určeny velikosti přetlaků v pružinách v rovnovážné poloze a tedy i tuhosti pneumatických pružin, které jsou dány druhými členy v mocninných rozvojiích .

Matice tuhosti je diagonální a platí

$$C_{11} = 4S_{41} r_4^2 p_4$$

$$C_{22} = p_{51} r_{51}^2 S_{501} + p_{52} r_{52}^2 S_{502}$$

$$C_{33} = r_6^2 (p_{61} + p_{62}) S_{60}$$

Matice hmotnosti byla odvozena v [7]. Je symetrická a platí:

$$A_{11} = (m_4 + m_5 + m_6)R^2 + 4J_{4y}$$

$$A_{12} = -m_6 R \cdot z_{56} [\sin \vartheta_0]$$

$$A_{13} = m_6 R \cdot y_T [-\cos \vartheta_0]$$

$$A_{22} = J_{5y} + J_{6y} + m_6 \cdot z_{56}^2$$

$$A_{23} = -D_{6xy}$$

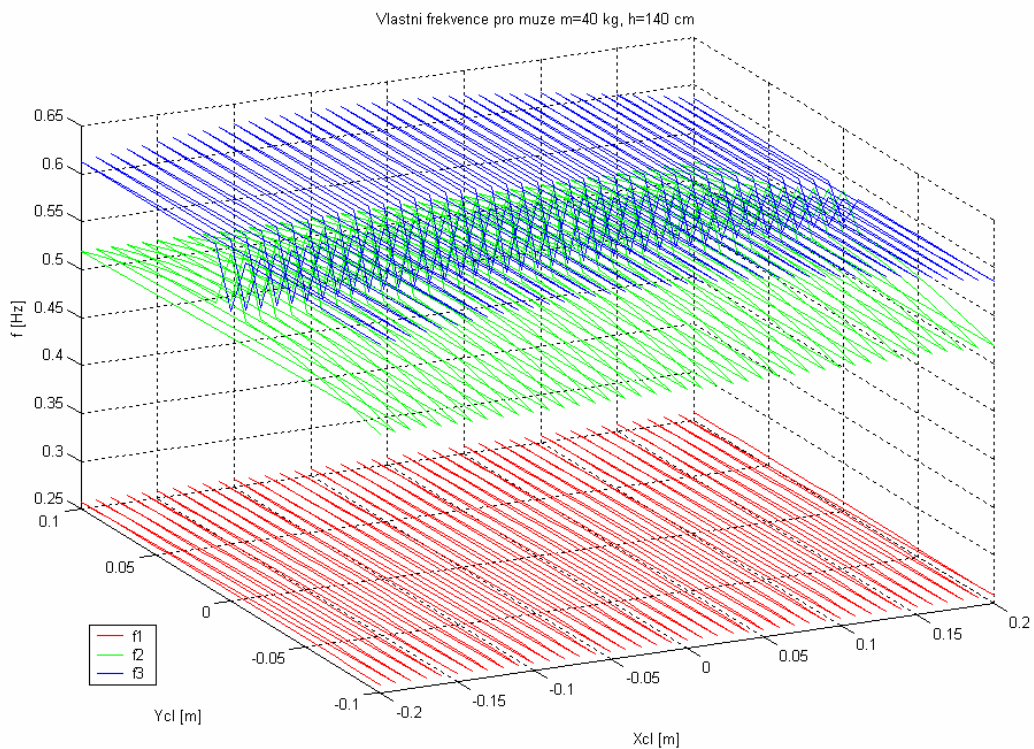
$$A_{33} = J_{6x}$$

$$A_{21} = A_{12}, \quad A_{31} = A_{13}, \quad A_{32} = A_{23}$$

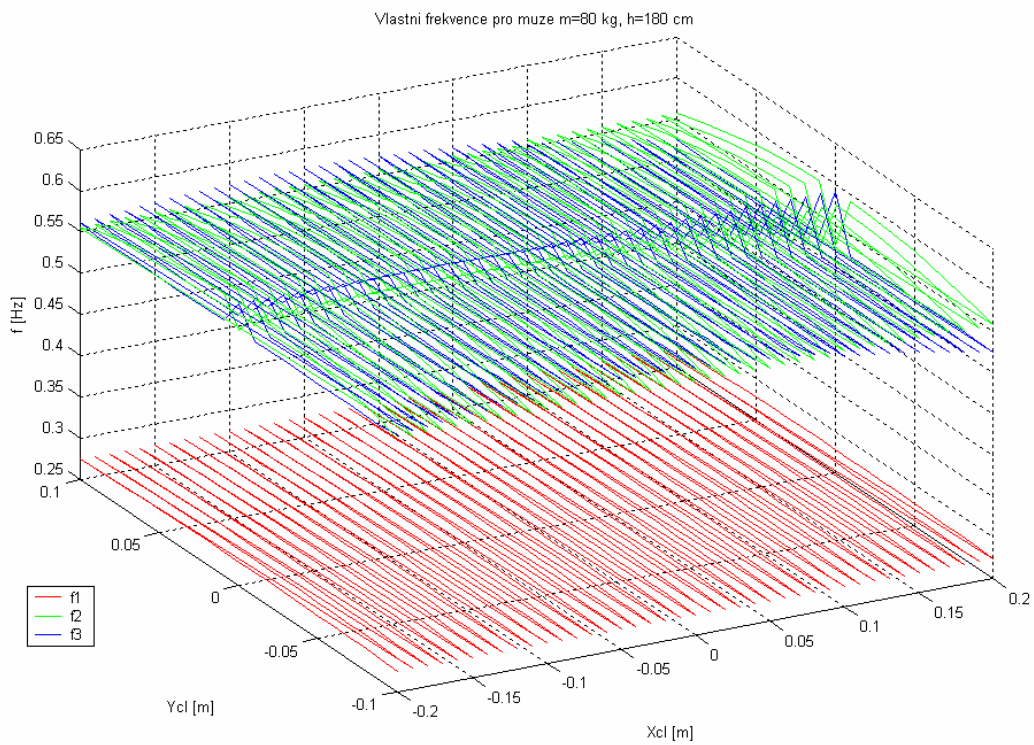
6. Vlastní frekvence systému v závislosti na poloze lidského těla

Výpočet byl proveden pro tělo, jehož hlavní osy setrvačnosti jsou rovnoběžné s hlavními osami setrvačnosti druhého kardanova rámu. Uvažujeme možnou změnu polohy těžiště těla

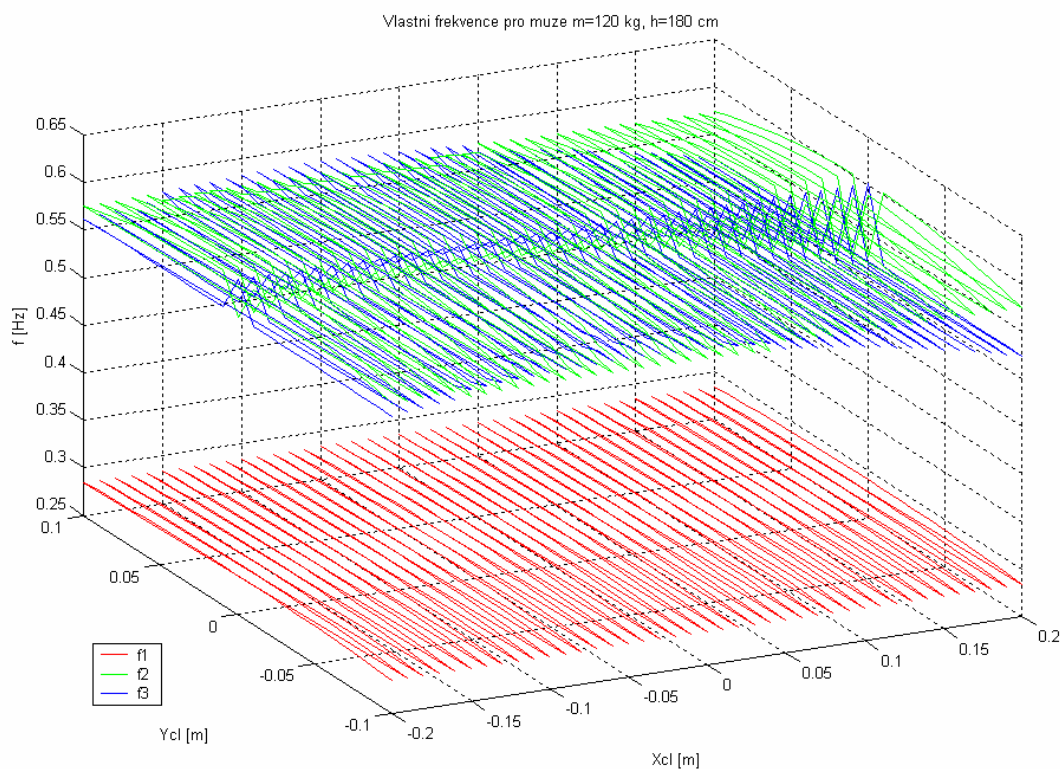
od těžiště lehátka (druhého kardanova rámu) v rozsahu ± 10 cm v příčném směru a ± 20 cm v podélném směru. Výsledky jsou znázorněny graficky na Obr. 6, 7, 8.



Obr. 6: Vlastní frekvence pro muže $m=40$ kg a $h=140$ cm



Obr. 7: Vlastní frekvence pro muže $m=80$ kg a $h=180$ cm



Obr. 8: Vlastní frekvence pro muže m=120 kg a h=180 cm

7. Závěr

Z výsledků řešení vyplývá, že při zvoleném převodu pneumatických pružin bylo docíleno hlavního požadavku, tj. aby všechny vlastní frekvence vibroizolačního systému ležely níže, než první vlastní frekvence podvozku ($1 \div 1.7 \text{ Hz}$). Ukazuje se dále, že vlastní frekvence závisí málo nejen na velikosti, ale i na umístění zátěže na lehátku. Nízkou první frekvenci bude zřejmě možné zvýšit patřičnou úpravou převodu na pákách paralelogramu.

8. Poděkování

Práce vznikla za podpory výzkumného záměru MŠMT 242100001 "Interakce vibroizolačního systému s okolním prostředím".

9. Literatura

- [1] Janoušek, J.: Pružně uložené sanitní lehátko, Diplomová práce, VŠST Liberec, 1984
- [2] Juliš, K. – Brepta, R. a kol.: Mechanika II. díl. Dynamika, SNTL Praha, 1987
- [3] Krejčíř, O.: Pneumatická vibroizolace. Doktorská disertační práce, VŠST Liberec, 1986

- [4] Polach, P.: Jednoduchý parametrický multibody model člověka, Sborník konference Výpočtová mechanika 2002, Nečtiny, 2002
- [5] Prokop, J.: Určování charakteristik jednovlnkových pneumatických pružin na základě experimentálních měření, Dílčí výzkumná zpráva VZ 1453/2002/03, Liberec, 2002
- [6] Prokop, J.: Výzkum vlastností dvouvlnovcové pneumatické pružiny, Dílčí výzkumná zpráva VZ 1453/2003/04, Liberec, 2003
- [7] Šklíba, J. – Prokop, J.: Kinematický a dynamický rozbor pružně uloženého sanitního lehátka, Dílčí výzkumná zpráva VZ 1453/2003/12, Liberec, 2003
- [8] Šklíba, J. – Prokop, J.: Základní kinematický a dynamický rozbor pružně uloženého sanitního lehátka, Sborník konference Colloquium dynamics of machines 2004, Praha, 2004