

# NUMERICKÉ ŘEŠENÍ VIBROIZOLACE STROJE

Jiří Vondřich.1, Radek Havlíček.2

Katedra mechaniky a materiálů, Fakulta elektrotechnická, ČVUT Praha

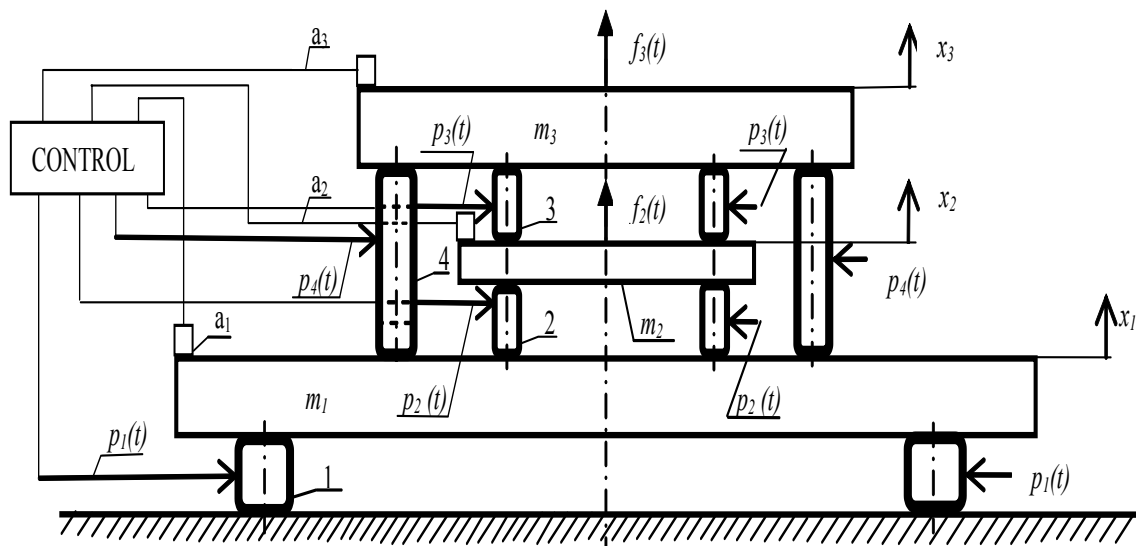
## Abstract

Vibrace stroje způsobují nevyvážené rotující části stroje, popř. působící rázové zatížení, mající za následek vznik vůlí v kinematických dvojicích, které pak vlivem vzrůstajících odstředivých sil mohou vést až k havárii stroje. Je proto vhodné uložení jednotlivých částí stroje na tlumících prvcích, potlačující tyto nežádoucí vibrace na minimum. V článku je provedeno numerické řešení pomocí Simulinku vhodného uložení vibrujícího stroje. Jako vibroizolační prvky byly navrženy pneumatické pružiny, u kterých je pak možné vypočítat tlaku vzduchu tak, aby výchylky kmitajících částí stroje byly co nejmenší. Dle působícího harmonického zatížení a konstant tuhosti a tlumení byly pak navrženy konkrétní velikosti pneumatických pružin.

## 1 Model vibrujícího stroje

Model stroje naznačený na Obr. 1 představuje rám stroje o hmotnosti  $m_1$  uloženém na čtyřech tlumících prvcích 1, dále dvě části stroje o hmotnostech  $m_2$  a  $m_3$ , na které působí harmonické zatížení  $f_2(t)$  a  $f_3(t)$ , kde každá tato kmitající část je uložena rovněž na čtyřech tlumících prvcích (Obr. 1). Vhodným tlumícím prvkem je uložení vibrujících částí stroje pomocí pneumatických pružin 1, 2, 3, 4 (Obr. 1), u kterých je pak možné dle výchylek jednotlivých částí stroje  $x_1, x_2, x_3$ , změřených akcelerometry  $a_1, a_2, a_3$  prostřednictvím řídicího členu, regulovat tlak vzduchu  $p_i(t), (i = 1 \div 4)$  v těchto pneumatických pružinách.

Použití pneumatických pružin se ukazuje jako vhodné z důvodu regulace tlaku vzduchu v případě proměnného zatížení působícího na jednotlivé části stroje. Obecné použití pneumatických pružin je k eliminování vibrací namáhající uložení jednotlivých částí stroje a rovněž k potlačení vibrací přenášených základem do okolí. Pneumatická pružina se skládá z pryžotextilního vlnovce, dvou upínacích patkových kroužků, horního víka s přívodem vzduchu, spodního víka a kroužku mezi vlnami. Víka umožňují připevnění k vibrujícím částem stroje. Ke zdroji vzduchu je připojen ventil umožňující regulaci vzduchu.



Obr. 1 Model stroje s jednotlivými částmi uloženými na pneumatických pružinách 1, 2, 3, 4

Mechanická soustava naznačená na Obr. 1 má tři stupně volnosti  $x_1, x_2, x_3$  a je jí možné popsat pohybovými rovnicemi

$$\begin{aligned} m_1 \ddot{x}_1 + 4(c_1 + c_2 + c_4) \dot{x}_1 - 4c_2 \dot{x}_2 - 4c_4 \dot{x}_3 + 4(k_1 + k_2 + k_4)x_1 - 4k_2 x_2 - 4k_4 x_3 &= 0, \\ m_2 \ddot{x}_2 - 4c_2 \dot{x}_1 + 4(c_2 + c_3) \dot{x}_2 - 4c_3 \dot{x}_3 + 4k_2 x_1 - 4(k_2 + k_3)x_2 - 4k_4 x_3 &= f_2(t), \\ m_3 \ddot{x}_3 - 4c_4 \dot{x}_1 - 4c_3 \dot{x}_2 + 4(c_3 + c_4) \dot{x}_3 - 4k_3 x_1 - 4k_3 x_2 - 4(k_3 + k_4)x_3 &= f_3(t), \end{aligned} \quad (1)$$

kde  $k_i, (i = 1 \div 4)$  jsou konstanty tuhosti pneumatických pružin 1, 2, 3, a 4,  $c_i, (i = 1 \div 4)$  jsou konstanty tlumení v pružinách 1, 2, 3 a 4,  $f_2(t), f_3(t)$  harmonické zatížení působící na části stroje 2 a 3.

Pro parametry stroje numerickým řešením pomocí Simulinku byly určeny výchylky  $x_1, x_2, x_3$  částí stroje 1, 2 a 3.

## 2 Návrh tlumících prvků

Simulinkové schéma řešení rovnic (1) je uvedené na Obr. 2. Numerické řešení bylo provedeno pro stroj jehož parametry jsou (Obr. 1):

|                                   |                                  |                                    |                                   |
|-----------------------------------|----------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|
| $m_1=272$ kg                      | $m_2=45$ kg                      | $m_3=136$ kg                       |                                   |
| $k_1= 960\ 016$ Nm <sup>-1</sup>  | $k_2= 15\ 885$ Nm <sup>-1</sup>  | $k_3= 24\ 850$ Nm <sup>-1</sup>    | $k_4= 48\ 200$ Nm <sup>-1</sup>   |
| $c_1= 32\ 000$ Nm <sup>-1</sup> s | $c_2= 5\ 300$ Nm <sup>-1</sup> s | $c_3= 4\ 900$ Nm <sup>-1</sup> s   | $c_4= 16\ 060$ Nm <sup>-1</sup> s |
| $f_2(t)=F_2 \sin \omega_2 t$      | $F_2= 493$ N                     | $\omega_2 = 314$ s <sup>-1</sup>   |                                   |
| $f_3(t)=F_3 \sin \omega_3 t$      | $F_3= 13\ 708$ N                 | $\omega_3 = 523$ s <sup>-1</sup> . |                                   |

Výchylky  $x_1, x_2, x_3$  rámu 1 a částí stroje 2 a 3 určené numerickým řešením jsou uvedeny na Obr. 3, Obr. 4, a Obr. 5.

Tlak vzduchu  $p_i, (i = 1 \div 4)$  v jednotlivých pružinách je pak možné určit dle vztahu

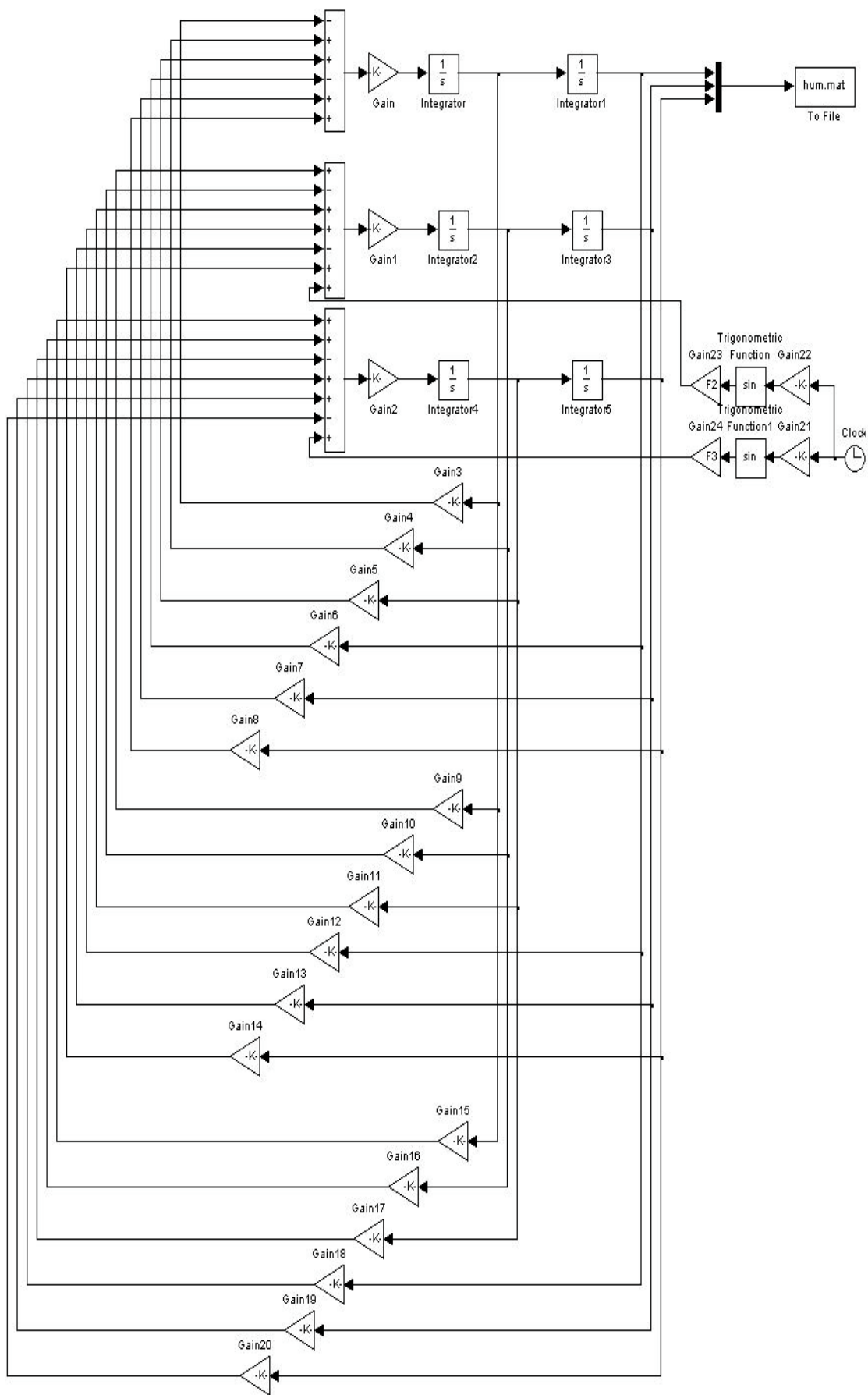
$$p_i = \frac{k_i \cdot S_i}{\kappa \cdot V_i}, \quad (i = 1 \div 4), \quad (2)$$

kde  $S_i, i = (1 \div 4)$  je průřez vnitřní činné plochy pružiny,  $\kappa$  je adiabatický mocnitel vstupujícího vzduchu a  $V_i, (i = 1 \div 4)$  je činný vnitřní objem pneumatické pružiny.

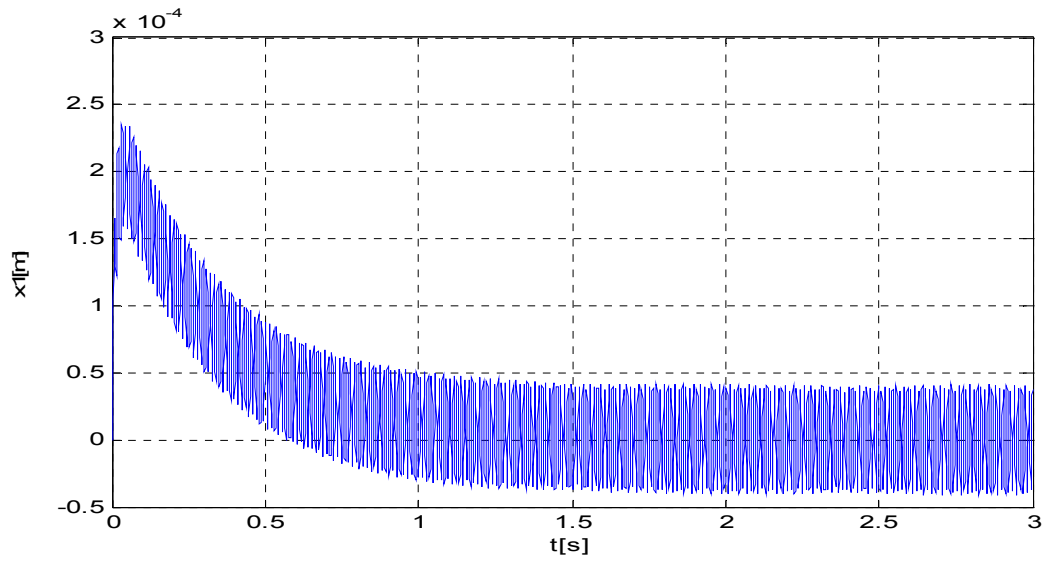
Pro uložení jednotlivých částí byly navrženy pneumatické pružiny typu SML výrobce Farrat Isovel Ltd, Velká Británie z důvodu jejich kvality a bezporuchovosti. Ze vztahu (2) je pak možné, pomocí konstant tuhosti  $k_i, (i = 1 \div 4)$  a z katalogových listů výrobce uvedených rozměrů pneumatických pružin, vypočítat pro jednotlivé pneumatické pružiny tyto tlaky a dle katalogu výrobce navrhnout pneumatické pružiny typu SML:

|                       |                  |        |
|-----------------------|------------------|--------|
| pneumatická pružina 1 | $p_1 = 76$ bar,  |        |
| pneumatická pružina 2 | $p_2 = 1,74$ bar | SML 1, |
| pneumatická pružina 3 | $p_3 = 2,73$ bar | SML 1, |
| pneumatická pružina 4 | $p_4 = 5,29$ bar | SML 6. |

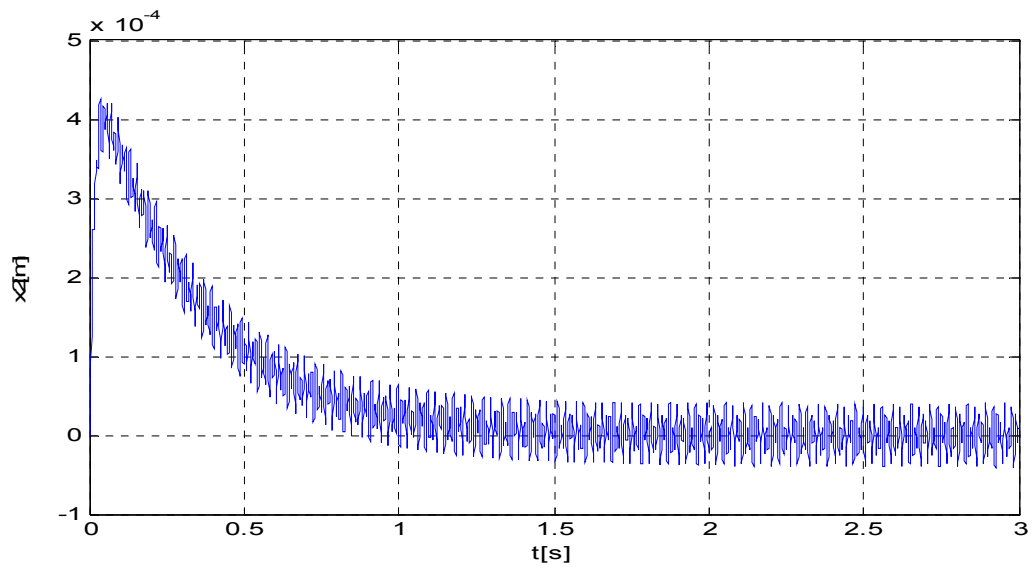
Z důvodu značného vstupního tlaku u pneumatické pružiny 1 bylo namísto pneumatické pružiny navrženo uložení rámu stroje na vibroizolačních podložkách CF 90 E stejného výrobce.



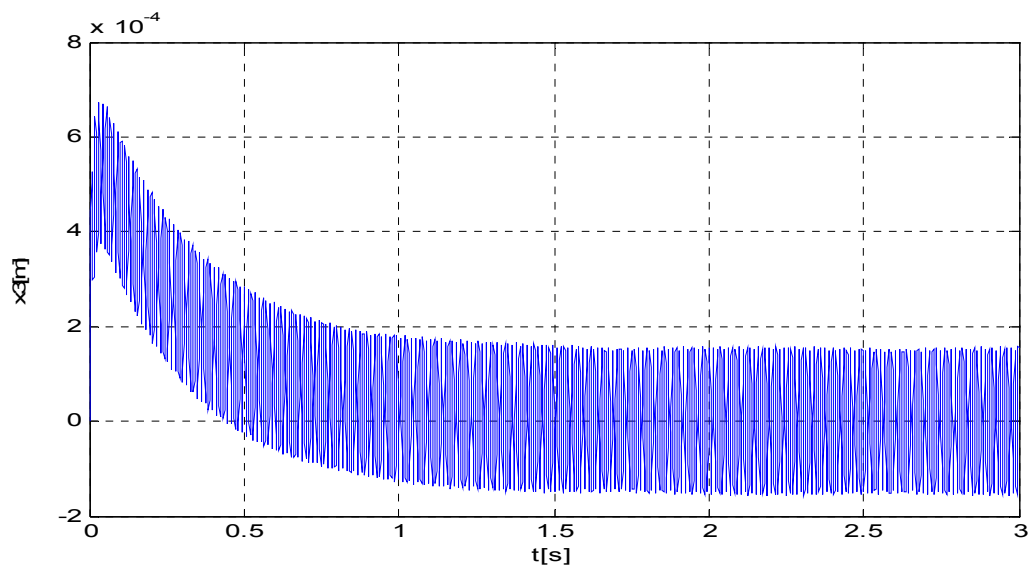
Obr. 5 Simulinkové schéma řešení výchylek rámu 1 a části stroje 2 a 3



Obr. 3: Výchylka  $x_1$  rámu stroje o hmotnosti  $m_1$



Obr. 4: Výchylka  $x_2$  části stroje 2 o hmotnosti  $m_2$



Obr. 5: Výchylka  $x_3$  části stroje 3

### 3 Závěr

Numerickým řešením pomocí Simulinku (Obr. 2) modelu vibrujícího stroje (Obr. 1) při zadaných parametrech stroje a zvolených konstant tuhosti  $k_i$ , ( $i = 1 \div 4$ ) a konstant tlumení  $c_i$ , ( $i = 1 \div 4$ ) byly určeny výchylky jednotlivých částí stroje (Obr. 3, Obr. 4, Obr. 5). Pro utlumení vibrací pak bylo k utlumení vibrací částí stroje navrženo použití pneumatických pružin 2, 3 a 4. Ze vztahu (2) pak byly určeny tlaky v těchto pružinách. Vzhledem k značnému tlaku v původně navržené pneumatické pružině 1, bylo provedeno její nahrazení vibroizolační podložkou.

Numerickým řešením rovnic (1) pomocí Matlabu, při požadavku minimálních výchylek  $x_1, x_2, x_3$  je rovněž možné určit optimalizační konstanty tuhosti  $k_i$ , ( $i = 1 \div 4$ ) a konstanty tlumení  $c_i$ , ( $i = 1 \div 4$ ) v pružinách 1, 2, 3 a 4. Numerické řešení a návrh velikosti pneumatických pružin bude ověřen na reálném modelu kmitající hmoty uložené na pneumatických pružinách a zatížení různým druhem zatížení.

### Literatura

- [1] J. Vondřich, E. Thöndel. *Absorption of Machine Vibration*, Proceeding of 48<sup>th</sup> International Conference of Machine Elements and Mechanisms Departments 2007, Smolenice, September 12 - 14<sup>th</sup>, 2007, Faculty of Mechanical Engineering, STU Bratislava
- [2] R. Havlíček, J. Vondřich. *Impact of Vibrations on the Dynamics of a Device with Flexible Mounting*, Proceeding of 48<sup>th</sup> International Conference of Machine Elements and Mechanisms Departments 2007, Smolenice, September 12 - 14<sup>th</sup>, 2007, Faculty of Mechanical Engineering, STU Bratislava
- [3] J. Vondřich, E. Thöndel, R. Havlíček. *Control of Machine Vibration with Absorber*. Journal of Machine Engineering. 2006, vol. 2006, no. 3, s. 72-80. ISSN 1895-7595
- [4] J. Vondřich, E. Thöndel. *Modelling of Tuneable Absorber*. Proceedings of the Sixth IASTED International Conference on Modelling, Simulation, and Optimization [CD-ROM]. Calgary: IASTED, 2006
- [5] J. Vondřich, E. Thöndel. *Modeling and Design of Absorber*. XI-th International Conference: Computer Simulation in Machine Design-COSIM2006. Warsaw: Warsaw University of Technology, 2006, vol. 1, s. 367-374. ISBN 83-89703-12-2
- [6] J. Vondřich, R. Havlíček. *Utlumení vibrací stroje absorbérem*. 47. mezinárodní konference kateder částí a mechanismů strojů, sborník prací. Praha: Česká zemědělská univerzita, Technická fakulta, 2006, díl 1, s. 315-318. ISBN 80-213-1523-7