

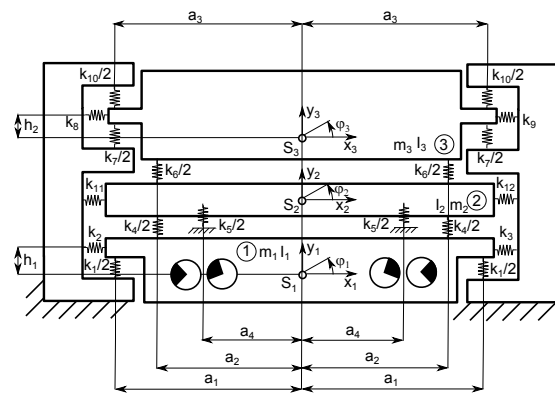
## Dynamická analýza vibračního stroje na hutnění betonové směsi

Bc. Štěpán Dyk<sup>1</sup>, Ing. Miroslav Byrtus, PhD.<sup>2</sup>

### 1 Úvod

Množství produktů betonářského průmyslu se v současné době vyrábí pomocí technologie vibrolisování. Jde o proces, při němž dochází ke zformování a zhutnění betonové směsi tak, aby bylo dosaženo požadovaného tvaru a životnosti výrobku. Typickými produkty vyráběnými vibrolisováním jsou tenkostěnné tvárnice, nejrůznější profily zámkové dlažby, betonové trubky ap., jež se v současné době hojně používají ve stavitelství.

Vibrolis je zařízení, v němž dochází ke vlastnímu zformování a zhutnění betonové směsi. V současné době bývá ve velkovýrobách vibrolis součástí automatizované linky a jeho činnost se cyklicky opakuje. Jeden cyklus činnosti tohoto zařízení sestává ze tří základních fází. V první z nich je do prostoru vibrolisu pomocí transportního zařízení dopravena podložka - dřevěná deska, která je volně uložena na tzv. dorazové lišty. Ve vibrolisu je pomocí pryžových silentbloků uchycena forma na příslušné profily, jež je následně spuštěna na podložku. V další fázi dochází k naplnění formy betonovou směsí a k vlastní vibraci, kdy tzv. vibrační stůl začíná vertikálně kmitat. V průběhu pohybu zdola naráží pomocí tzv. vibračních lišt do podložky. Podložka dopadá na vibrační či dorazové lišty a při dopadu dochází k vypuzování přebytečného vzduchu z betonové směsi, a tedy k vlastnímu zhutnění. V další fázi podložka se zhutněnými a zformovanými výrobky opouští prostor vibrolisu a celý cyklus se znovu opakuje.



**Obrázek 1:** Vibrolis jako soustava s devíti stupni volnosti

### 2 Matematický model nelineární soustavy

Pro vytvoření matematického modelu byl vibrolis uvažován jako rovinný systém, sestávající ze tří dokonale tuhých těles - vibračního stolu, podložky a formy s betonovou směsí (viz obr. 1). Poloha  $i$ -tého tělesa je určena pomocí horizontální výchylky  $x_i$ , vertikální výchylky  $y_i$  a úhlu natočení  $\varphi_i$ ,  $i = 1, 2, 3$ . Tělesa jsou vázána pružně viskózními vazbami podle obr. 1. Elastické vazby  $k_4, k_5, k_6$  představují pružné nárazky - jsou uvažovány jako aktivní pouze v případě, že dojde ke kontaktu mezi příslušnými dvěma tělesy, v opačném případě jsou elastické účinky těchto vazeb uvažovány jako nulové. Matematický model nelineární soustavy má tvar

$$M\ddot{\mathbf{q}}(t) + B\dot{\mathbf{q}}(t) + K\mathbf{q}(t) = \mathbf{f}_e(t) + \mathbf{f}_g + \mathbf{f}_n(\mathbf{q}) = \mathbf{f}(\mathbf{q}, t), \quad (1)$$

<sup>1</sup> student navazujícího studijního programu Aplikovaná věda a informatika, obor Mechanika, specializace Aplikovaná mechanika, e-mail: stepan24@students.zcu.cz

<sup>2</sup> ZČU v Plzni, FAV, Katedra mechaniky, Univerzitní 22, 306 14 Plzeň, e-mail: mbyrtus@kme.zcu.cz

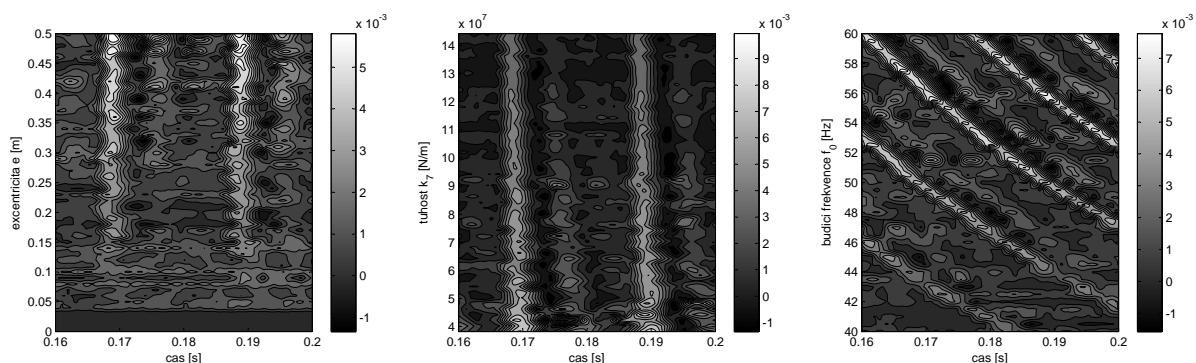
kde  $M, B, K \in \mathbb{R}^{9,9}$  jsou matice hmotnosti, tlumení a tuhosti,  $\mathbf{q}(t) \in \mathbb{R}^9$  je vektor zobecněných souřadnic a  $\mathbf{f}(\mathbf{q}, t)$  je vektor buzení. Vektor  $\mathbf{f}_e(t)$  reprezentuje buzení od excentrů,  $\mathbf{f}_g$  gravitační sílu a  $\mathbf{f}_n(\mathbf{q})$  nelineární síly, vznikající při vzájemných nárazech jednotlivých těles. Pro numerickou integraci pohybových rovnic bylo s výhodou využito formulace matematického modelu (1) ve stavovém prostoru

$$\dot{\mathbf{u}} = \mathbf{A}\mathbf{u} + \mathbf{F}(t, \mathbf{q}), \quad (2)$$

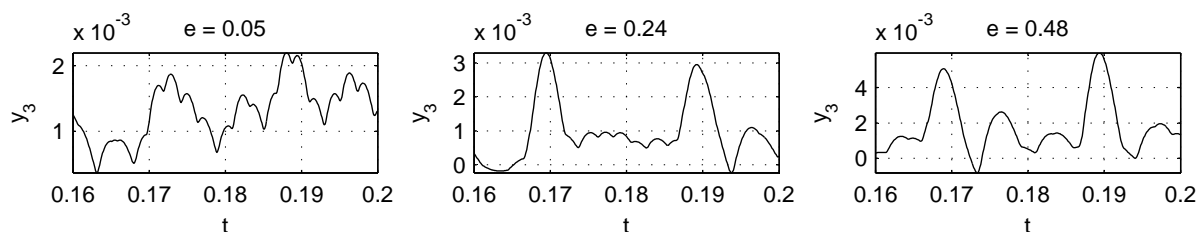
kde  $\mathbf{A}$  je tzv. systémová matice,  $\mathbf{u}$  je stavový vektor a  $\mathbf{F}(\mathbf{q}, t)$  je vektor buzení ve stavovém prostoru. Ty jsou dány jako

$$\mathbf{u} = \begin{bmatrix} \mathbf{q} \\ \dot{\mathbf{q}} \end{bmatrix}, \quad \mathbf{A} = - \begin{bmatrix} \mathbf{0} & -\mathbf{E} \\ \mathbf{M}^{-1}\mathbf{K} & \mathbf{M}^{-1}\mathbf{B} \end{bmatrix}, \quad \mathbf{F} = \begin{bmatrix} \mathbf{0} \\ \mathbf{M}^{-1}\mathbf{f} \end{bmatrix}. \quad (3)$$

Na matematickém modelu (2) byly provedeny numerické simulace pohybu vibrolisu. Byl zkoumán vliv tuhosti uchycení formy  $k_7$ , excentricity budiče  $e$  a frekvence buzení  $f_0$  na pohyb soustavy. Obr. 2 představuje vrstevnicové grafy závislostí výchylky  $y_3(t)$  na parametrech  $k_7, e$  a  $f_0$ , obr. 3 pak časové průběhy vertikálního pohybu formy pro různé hodnoty excentricity  $e$ .



**Obrázek 2:** Vliv tuhosti  $k_7$ , excentricity  $e$  a budicí frekvence  $f_0$  na průběh výchylky  $y_3(t)$



**Obrázek 3:** Vybrané časové průběhy pro různé hodnoty excentricity  $e$

### 3 Závěr

Výsledky ukazují, že změnou provozních parametrů lze zásadně ovlivňovat kmitání formy s hutněnou betonovou směsí. Ze získaných výstupů lze usuzovat, při jakém nastavení zkoumaných parametrů - tuhosti upnutí formy, frekvence budiče a budicí síly - lze dosáhnout požadovaného charakteru kmitání a kdy bude naopak docházet k případným nežádoucím jevům.

### Poděkování

Tato práce byla podpořena grantem SGS-2010-046.