



Problematika výpočtu amplifikovaných spekter odezvy pro seismickou kvalifikaci zařízení

Radek Bulín¹

1 Úvod

V současné době jsou kladeny stále vyšší nároky na rozsah dokladování odolnosti zařízení jaderných elektráren vůči všem možným mimořádným událostem, které mohou při jejich provozu nastat. Do této kategorie externích mimořádných událostí patří i zemětřesení, které může způsobit vysokou mechanickou zátěž budovám i vnitřním zařízením. Ta musí být navržena tak, aby tato zátěž nebyla kritická, nedošlo k poškození zařízení a byla zachována jejich funkčnost. Tento příspěvek se stručně zabývá způsobem matematického modelování zařízení a vysvětlením metody spekter odezvy. Dále je naznačen způsob využití výpočtového modelu ke stanovení amplifikovaných spekter odezvy, která mají využití při experimentálním či výpočtovém ověření seismické odolnosti různých komponent zařízení. Důvodem tvorby amplifikovaných spekter odezvy je skutečnost, že hodnocená komponenta je instalována na konstrukci s určitou dynamickou odezvou, která způsobuje amplifikaci podlažních spekter odezvy.

2 Matematický model zařízení a metoda spekter odezvy

Nejčastěji využívaným matematickým nástrojem pro tvorbu komplexních modelů složitých zařízení je v současné době tzv. *metoda konečných prvků* (MKP), viz Fish a Belytschko (2014). Diskretizovaný matematický model zařízení, které je buzeno pohybem základu (báze) s výchylkou $u_j(t)$, $j=1,2,3$ ve třech navzájem kolmých směrech, lze uvažovat v tomto tvaru

$$\mathbf{M}\ddot{\mathbf{q}}(t) + \mathbf{B}\dot{\mathbf{q}}(t) + \mathbf{K}\mathbf{q}(t) = -\sum_{j=1}^3 \mathbf{m}_j \ddot{u}_j(t), \quad (1)$$

kde $\mathbf{q}(t) = [q_i(t)]$, $i=1, \dots, n$ je vektor zobecněných souřadnic a n počet stupňů volnosti, \mathbf{M} , \mathbf{B} a \mathbf{K} představují postupně matici hmotnosti, tlumení a tuhosti, $\ddot{u}_j(t)$ je zrychlení báze ve směru j a vektor hmotnostní parametrů \mathbf{m}_j , viz Zeman a Hlaváč (2012). Řešením rovnice (1) lze libovolnou výchylku $q_i^{(j)}(t)$ z vektoru zobecněných souřadnic při buzení v jednom směru j vyjádřit jako

$$q_i^{(j)}(t) = \sum_{v=1}^n q_{i,v}^{(j)}(t), \quad q_{i,v}^{(j)}(t) = -v_{i,v} \mathbf{v}_v^T \mathbf{m}_j \int_0^t \ddot{u}_j(\tau) g_v(t-\tau) d\tau, \quad (2)$$

kde $g_v(t)$ je impulzní funkce, viz Zeman a Hlaváč (1999).

¹ student doktorského studijního programu Aplikované vědy a informatika, obor Aplikovaná mechanika, e-mail: rbulin@students.zcu.cz

Spektrum odezvy výchylky $S_d(\Omega, D)$ je dle práce Zeman a Hlaváč (2012) definováno jako maximální absolutní hodnota výchylky $q(t)$ soustavy s jedním stupněm volnosti vybuzečné posuvným pohybem báze s akcelerogramem $\ddot{u}_j(t)$, zapsáno

$$S_d^{(j)}(\Omega, D) = \max_t |q(t)| = \max_t \left| \int_0^t \ddot{u}_j(\tau) g(t - \tau) d\tau \right|. \quad (3)$$

Porovnáním výrazů (2) a (3) je patrné, že maximální absolutní hodnota výchylky lze vyjádřit pomocí napočítaných spekter odezvy.

Pokud je známé spektrum zrychlení v úrovni terénu pro danou lokalitu, lze pomocí matematických modelů budov napočítat podlažní spektra zrychlení pro různé úrovně podlaží a pro různé poměrné útlumy. Podlažní spektra pak slouží jako podklad pro seizmickou kvalifikaci zařízení, která může být provedena experimentálně, kdy se zařízení odzkouší na seizmické stolici v dynamické zkušebně, nebo výpočtově, kdy je na matematickém modelu sledována odezva zařízení především v podobě materiálového napětí v kritických místech, nebo kombinací obou postupů.

U konstrukčně složitých zařízení není možné do matematického modelu zahrnout všechny komponenty. Základem je tedy dané zařízení do modelu zjednodušit tak, aby byly postihnuty základní dynamické vlastnosti, a složitější komponenty zařízení (například motory apod.) pak kvalifikovat zkouškou. V takovém případě je tedy nutné vypočítat spektra zrychlení uvnitř zařízení v místě uložení složitějších komponent, neboť vlivem odezvy konstrukce, na niž jsou komponenty instalovány, dochází k amplifikaci podlažních spekter odezvy. Tato amplifikovaná spektra pak poslouží pro přípravu zadání seizmické zkoušky. Postup při jejich generování je shrnut na obr. 1.



Obrázek 1: Postup při generování amplifikovaného spektra odezvy v místě uložení komponenty zařízení

Poděkování

Příspěvek byl podpořen projektem SGS-2016-038.

Literatura

- Fish, J., Belytschko, T., 2014. *A First Course in Finite Elements*. John Wiley and Sons Ltd. Chichester.
- Zeman, V., Hlaváč, Z., 1999. *Kmitání mechanických soustav*. Skriptum FAV ZČU. Vydavatelství ZČU v Plzni. Plzeň.
- Zeman, V., Hlaváč, Z., 2012. Využití modální metody v dynamice kinematicky buzených systému. *Bulletin ČSM*, No. 2, pp. 5-20.