

# Odpružení budovy v základové spáře jako ochrana proti seismickým účinkům od dopravy

Daniel Makovička<sup>1</sup> a Daniel Makovička<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ČVUT v Praze, Kloknerův ústav, 166 08 Praha 6, Šolínova 7, Česká republika,

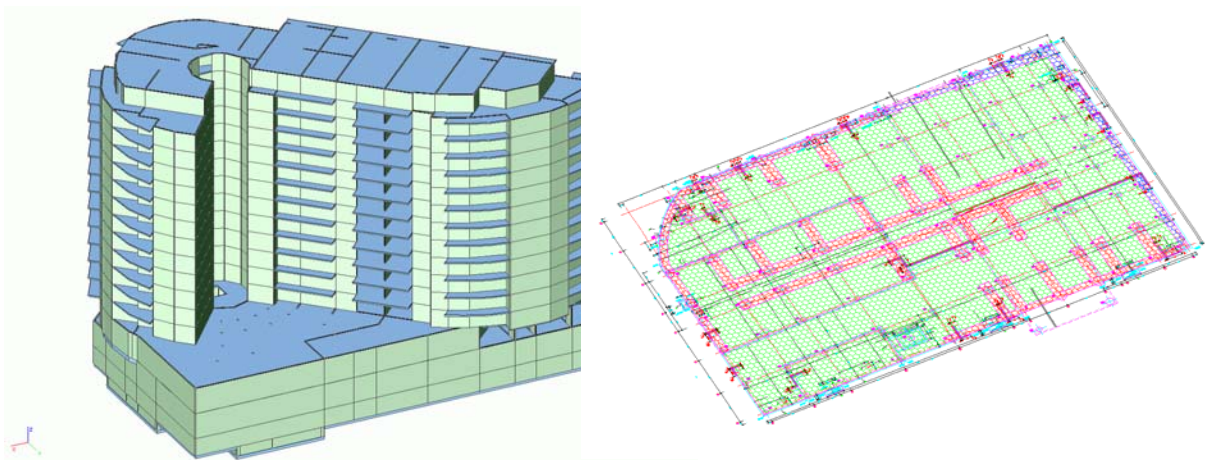
<sup>2</sup> Statika a dynamika konstrukcí, 284 00 Kutná Hora, Šultysova 170, Česká republika.

## Abstract

The paper deals with the response analysis of the rubber vibro-base insulated building structure. The structure is loaded by the groundborne vibration from rail systems of underground in the vicinity of building. The actual history of dynamic load measured on the foundation structure was used as an input data for dynamic analysis of structure. The vibration response of residential structure is compared with an input vibration.

## 1 Úvod

Bytová a zčásti i hotelová budova přiléhá svou jihozápadní podélnou stranou ke stanici metra v Praze 5, z druhé strany je městská komunikace. Objekt má celkem 15 nadzemních a 1 podzemní podlaží. Dvě nejnižší podlaží mají přibližně obdélníkový tvar o rozměrech 64 m × 40 m a jsou využita převážně pro garážová stání. Budova bude založena na pilotách, vzájemně provázaných základovou deskou. Založení objektu umožňuje provedení plošné vibroizolace. Základová deska je provedena jako dvojitá. Mezi horní a dolní část základové desky jsou v celé ploše vloženy vibroizolační pryžové desky z extrudované pryže, které jsou zdola i shora chráněny hydroizolací, zabraňující proniknutí vody nebo cementového mléka do vibroizolace. Pryžová vrstva je vyskládána z pryžových desek 500×500×25 mm z jednotlivých druhů pryže na celé odpružované ploše. Vzájemné rozestupy (spáry) mezi pryžovými deskami jsou od 3 do 5 mm. Pryž je použita i na svislých plochách obvodových stěn od okrajů vodorovné vrstvy v základové desce až po úroveň terénu. Pro řešení odpružení byl použit 3-D model konstrukce (obr.1). Pryžová vrstva byla modelována v kombinaci pružného podloží Winkler-Pasternakova typu a pružných osamělých a liniových podpor v místě osazení pilot a základových pasů pod základovou deskou. O poddajnosti uložení horní části celého objektu na základové konstrukci pak rozhoduje použitá vrstva a typ pryže.



Obr. 1 Výpočetní model konstrukce a rozmístění pryží v základové spáře (rozlišeny barevně)

## 2 Výpočet odezvy konstrukce

Použité dynamické zatížení odpovídá měřením vibrací na trase metra (obr. 2). Dynamické zatížení ve tvaru časového průběhu zrychlení je vneseno do konstrukce ve stejný okamžik v místě podpor základové desky, odpovídající rozmístění pilot a se stejnou fází. Zatížení je aplikováno s exponenciálně zmenšující se intenzitou se vzdáleností od tunelu metra. Vybraný časový průběh z měření byl normalizován a použita z něj pouze časová funkce  $a^*(t)$ , jejíž amplitudové měřítko (maximální naměřený výkmit zrychlení) byl uvažován bezrozměrný a rovný hodnotě 1,0. Odezva celé konstrukce na toto normalizované dynamické zatížení byla pak rovněž normalizována vůči maximální dynamické výchylce v základové spáře. Výhodou tohoto postupu je, že je stanovena poměrná dynamická výchylka a její časový průběh ve všech podlažích vibroizolovaného objektu. Útlum konstrukce budovy byl zvolen konzervativně logaritmickým dekrementem o velikosti 0,2, který odpovídá přibližně poměrnému útlumu 3%.

Pro stanovení rovnoměrného namáhání pryže v celé základové spáře byla použita statická zatížení a stálá složka variabilních zatížení, odpovídající dlouhodobým stálým zatížením objektu.

Výpočet vlastního kmitání konstrukce byl proveden pro pružně uloženou budovu na pryži. Z hlediska dynamické odezvy objektu na účinky zatížení od vnějších zdrojů (dopravy) je rozhodující co nejnižší naladění osazení budovy. Podrobnější popis nejnižších vlastních tvarů a frekvencí ke uveden v tab. 2.

Nejnižší vlastní tvary kmitání zahrnují zejména ohyb a natáčení vlastního objektu, včetně kroucení. Pro vynucené kmitání jednotlivých stropních desek jsou rozhodující vlastní tvary ohybového kmitání těchto desek, které leží ve frekvenční oblasti nad 6 Hz. Kromě základních šesti tvarů vlastního kmitání se ve výpočtu vlastního kmitání objevují vlastní frekvence kmitání jednotlivých podlaží, případně stěn a dalších prvků v těchto podlažích, převislých konců stropních desek nebo balkonů, které způsobují, že odezva objektu v každém podlaží je mírně jiná – větší či nižší, případně s kmitnami na jiných stanovištích. Popis těchto vyšších tvarů se vymyká rozsahu příspěvku.

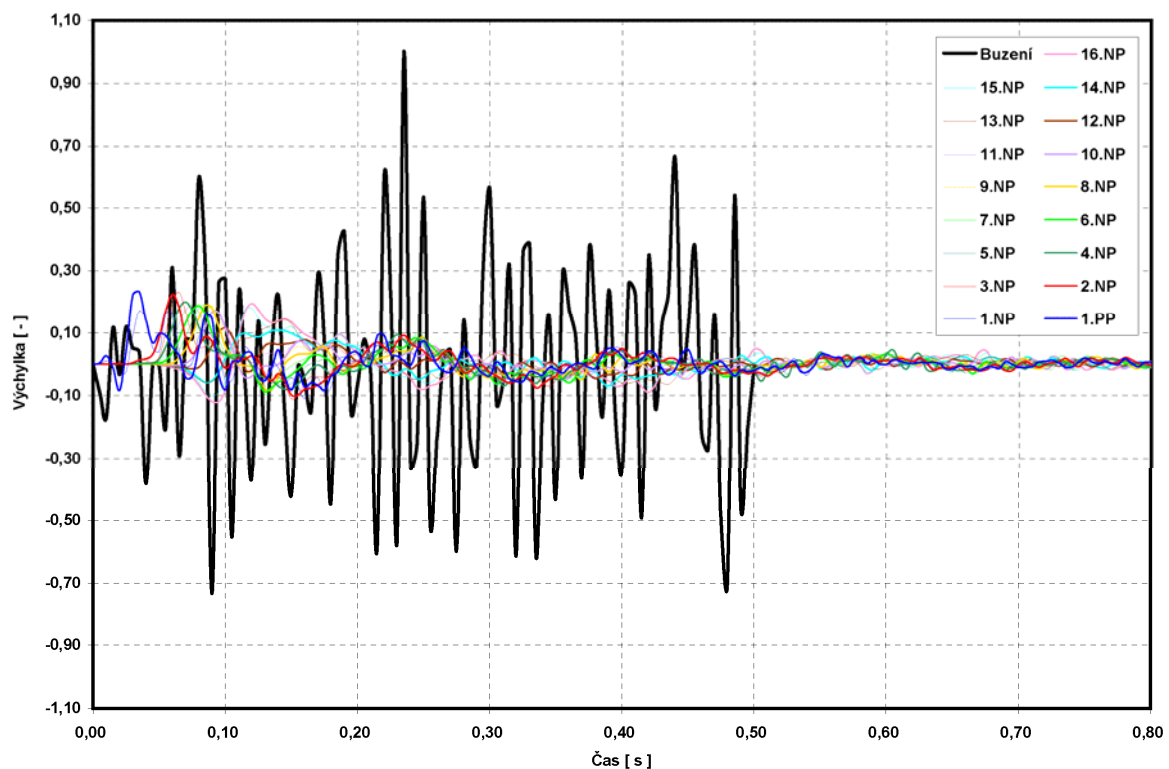
Vlastní frekvence [Hz]	Popis vlastního tvaru
1,99	Posun a pootáčení nadzemní části budovy JZ směrem
2,58	Pootáčení celé budovy okolo svislé osy
2,66	Posun a pootáčení nadzemní části budovy J směrem
5,75	Lokální kmitání části stropních desek
5,79	Posun a pootáčení nadzemní části budovy SV směrem
5,92	Kroucení nadzemní části budovy okolo svislé osy
6,41	Posun a pootáčení nadzemní části budovy J směrem
6,50	Pootáčení celé budovy okolo svislé osy a lokální kmitání stropů
6,99	Lokální kmitání části stropních desek

Tab. 1 Nejnižší vlastní frekvence kmitání budovy a popis vlastních tvarů

Výpočet vynuceného kmitání byl proveden metodou integrace pohybových rovnic s časovým krokem 0,005 s a pro dobu počítané odezvy konstrukce o délce 0,800 s .

Normalizovaný časový průběh buzení byl nastaven tak, aby vypůsobil maximální deformaci základové desky pod 1.PP nejbližší stanici metra. To znamená, že všude, kde obálka relativních maximálních průhybů je menší než bezrozměrná hodnota 1,0 dojde k poklesu amplitud vibrací ve srovnání s prognózou buzení a naopak při hodnotách vyšších než 1,0 dojde k nárůstu amplitud vibrací. Výsledkem výpočtu dynamické odezvy při dynamickém buzení jsou tedy relativní dynamické výchylky konstrukce, ve srovnání s maximální výchylkou v nejméně kmitajícím bodě základové desky.

Při výpočtu dynamické odezvy konstrukce objektů lze relativně časově velmi náročným způsobem stanovit časový průběh kmitání v libovolném bodě konstrukce. Na obr. 2 jsou vyneseny časové průběhy kmitání pro vybrané body, ležící přibližně nad sebou na svislici v blízkosti čelní fasády ze strany metra.



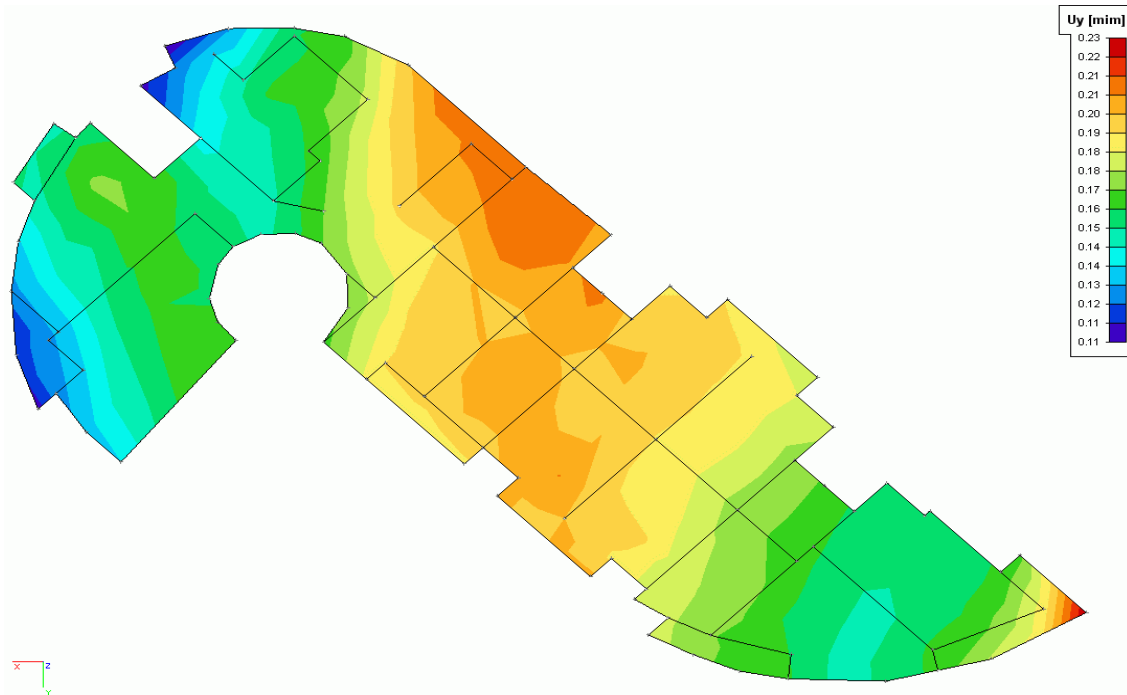
Obr. 2 Časová funkce buzení (tučně) a odezva jednotlivých podlaží při horizontálním buzení

Z časových průběhů je zřejmé, že časový průběh odezvy je na výrazně nižších frekvencích (řádově do 10 až 15 Hz), zatímco frekvence buzení jsou v okolí 40 až 60 Hz. Takže i z posunu frekvencí odezvy vůči buzení je zřejmý vliv vibroizolace budovy; vysokofrekvenční složky buzení v odezvě konstrukce budovy jsou odfiltrovány.

Kromě časových průběhů vibrací byly vynášeny obrázky izolinií normalizovaných deformací (výchylek) celé konstrukce. Příklad je uveden na obr. 3.

Z průběhu odezvy lze vysledovat její frekvenční složení. Je zřejmé, že vysoké frekvence buzení se přesunou do nízkých frekvencí, přibližně ve frekvenční oblasti do 15 Hz, odpovídající jak zakmitání jednotlivých stropních desek v jejich vlastních frekvencích (v okolí 10 až 15 Hz), tak zakmitání (posuvné, ohybové nebo kroutivé) celé konstrukce na pryži. Vysokofrekvenční buzení je tedy prakticky odfiltrováno. Dominantní horizontální naměřené vibrace dosahují v efektivních hodnotách zrychlení až cca 4,5 až 12,8 mm/s<sup>2</sup> v okolí 40 až 50 Hz. Pro desku 4.NP (obr. 3) je maximální vypočtená relativní výchylka 0,23. Jestliže tuto relativní výchylku přenásobíme hodnotou maximálního naměřeného zrychlení dostaneme

konzervativní odhad intenzity kmitání v tomto podlaží:  $0,23 \times (4,5 \text{ až } 12,8) = 1,0 \text{ až } 2,9 \text{ mm/s}^2$ .



Obr. 3 Izolinie kmitání stropní desky 4.NP při horizontálním normalizovaném buzení

### 3 Závěr

Vibrace od dopravy, které se přenáší do konstrukce budov jsou zpravidla relativně nízké a z hlediska bezpečnosti konstrukce (1. skupina mezních stavů) jsou obvykle nevýznamné. Významné jsou však z hlediska spolehlivosti konstrukce. Díky odpružení konstrukce budovy vloženou pryžovou vrstvou dojde k přerozdělení frekvenčního signálu odezvy do oblastí nízkých frekvencí přibližně až do 15 Hz, s tím, že vyšší frekvenční složky buzení jsou prakticky odfiltrovány, nebo se vyskytují s velmi nízkými amplitudami. Odpružení v základové spáře je tedy účinným nástrojem pro snížení ohrožení budovy vibracemi.

### Poděkování

Práce byla podporována grantovým projektem GAČR: 103/08/0859. Autoři děkují touto cestou grantové agentuře za její podporu.

### Literatura

- [1] Makovička, D., Makovička, D.: Izolace budov proti nadměrným vibracím od provozu metra, *Stavební obzor* 2005, č.1, roč.14 (2005), s. 8-15.
- [2] Makovička, D., Makovička, D.: Response analysis of building loaded by groundborne transient vibration. In: *III.European Conference on Computational Mechanics*, Springer, Dordrecht 2006, Portugal, p. 748 + 11 pp on CD.
- [3] Makovička, D., Makovička, D.: Determination of seismic transport effects on buildings, In: Brebbia, C.A.: *Earthquake Resistant Engineering Structures VI*, WIT Press, Southampton, 2007, pp. 353-362.