

VIBRATIONS OF A GABLE OF A CHURCH EXCITED BY RINGING

O. Fischer*, S. Urushadze*

Summary: *The gable wall standing over the entrance into a neo-gothic church and fixed on both sides of its base into towers, swayed with well-visible amplitudes out of its plane in the rhythm of the swinging of the bells. The gable is of triangular shape with the height of 8.60 m and base-width 9.0 m, not being supported horizontally by the roof or by any other stiffening structure. The measurements revealed that the bells excite the vibrations of towers and of the basement of the gable with moderate amplitudes, while the cantilever of the gable wall amplifies the motion by the resonance-effect. The impression of the gable motion was made worse due to the beat-effect of superposition of more bells (up to 6, with the masses between 150 and 1000 kg) with slightly different swaying frequencies (0.44 thru 0.52 Hz). The way of reinforcing the wall is now being sought with respect to the cultural heritage conserving aspects.*

1. Úvod

Štítová zeď nad hlavním vchodem do novogotického chrámu vykazovala při zvonění okem pozorovatelné kmity kolmo ke své rovině. V dalším je popsáno měření těchto kmitů, jejich vysvětlení a možnosti sanace.

2. Popis a chování konstrukce

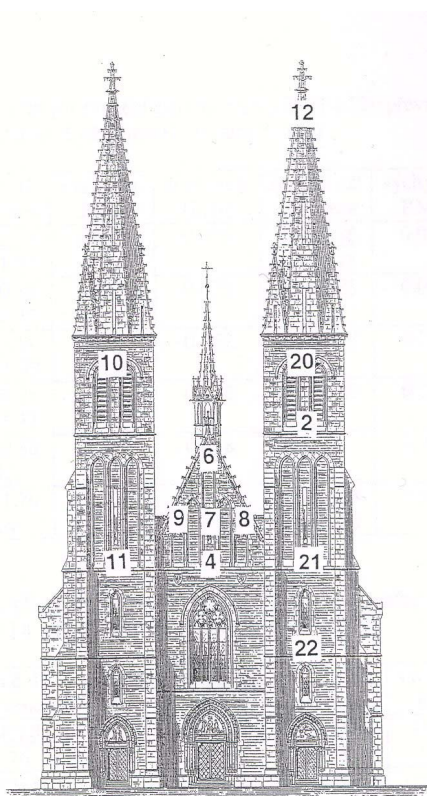
Ve sledovaném případě jde o kamennou stavbu z přelomu 19. a 20. století, vizuálně v dobrém stavu. Trojúhelníková štítová zeď je ve svém základu v úrovni 19.60 m nad podlahou kostela široká 9.0 m, vrchol má ve výšce 28.20 m a špička věžičky dosahuje po kótu 30.04 m. Věže navazující na průčelní zeď kostela, mají čtvercový průřez 7.0 x 7.0 m a jsou po špičku vysoké 60 m. Štítová zeď je kamenná 580 mm tlustá, ale v šířce celkem 3.630 m je oslabená třemi svislými výklenky se sochami na tloušťku 270 mm. Za štítovou stěnou navazuje pultová střecha chrámového prostoru v délce cca 50 m na klasickém dřevěném krovu, konstrukčně se štítem nesouvisející. V podélném směru je krov ztužen pásky mezi sloupky a horními vaznými trámy. V jedné věži jsou umístěny dva staré zvony o hmotě 1.0 a 0.6 t, ve druhé jsou 4 nové zvony (instalované 2001), menší, o hmotách 150 až 650 kg, a dále zvonkohra, jejíž zvony se nepohybují. Zvonová podlaha je v obou věžích v úrovni cca 29 m; podlaha pod starými zvony je zřetelně deformovaná a byla v minulosti opravována a zesilována. Zvonové stolice jsou

* Prof. Ing. Ondřej Fischer, DrSc., Ing. Shota Urushadze, CSc.: Institute of Theoretical and Applied Mechanics Academy of Sciences of the Czech Republic; Prosecká 76, 190 00 Praha 9.
Tel.: +420.286882121, Fax.: +420.286884634; E-mail: fischer@itam.cas.cz, urushadze@itam.cas.cz

klasické dřevěné a některé vyžadují rektifikaci a zřejmě i důkladnou opravu, protože jejich stav velmi pravděpodobně přispívá k přenosu reakcí kývajících zvonů do nosné konstrukce.

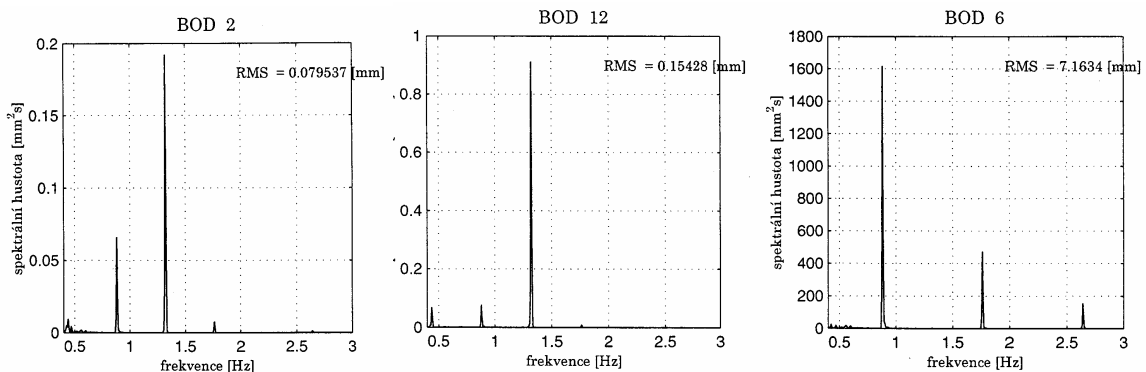
Během zvonění bylo vizuálně pozorováno (zdola, vzhůru podél stěny) kývání špičky štítu; z okna věže v úrovni zvonů je vidět odklání štítu od břidlicové krytiny střechy, a rovněž z půdního prostoru lze proti obloze pozorovat rozvírání spáry mezi štítovou stěnou a krytinou. Pohyb není ustálený: jeho amplituda kolísá, projevují se rázy dané superpozicí účinku jednotlivých zvonů, jejichž frekvence se poněkud liší.

3. Výsledky měření kmitů



Chování konstrukce při zvonění bylo měřeno v létě 2002 tak, že byla registrována odezva vždy v 6 z vybraných míst na průčelní stěně chrámu při zvonění každého zvonu zvlášť i všech zvonů současně. Při tom byly cca 5 - 10 minutové záznamy frekvenčně analyzovány a stanovena střední kvadratická hodnota (RMS) výchylky. Výběr a označení měřených míst je na obr. 1, příklad frekvenčních analýz je na obr. 2. Základní frekvence odezvy stavby je dána frekvencí kývání zvonů (u každého poněkud jiná, zde při používaném rozkvyvu 45° to bylo 0.44 až 0.52 Hz), kromě ní se vyskytovaly její násobky. Maximální zjištěné výchylky příslušely dvojnásobku a trojnásobku základní frekvence, tedy 0.88 až 1.04 Hz (u štítu) a 1.32 až 1.56 Hz (u věží). Maximální deformace byly naměřeny při současném zvonění všemi zvony, a to (RMS) v patě štítu (4) 0.13 mm, ve vrcholu štítu (6) 17.6 mm, ve špičce věže (12) 0.34 mm – viz obr. 3

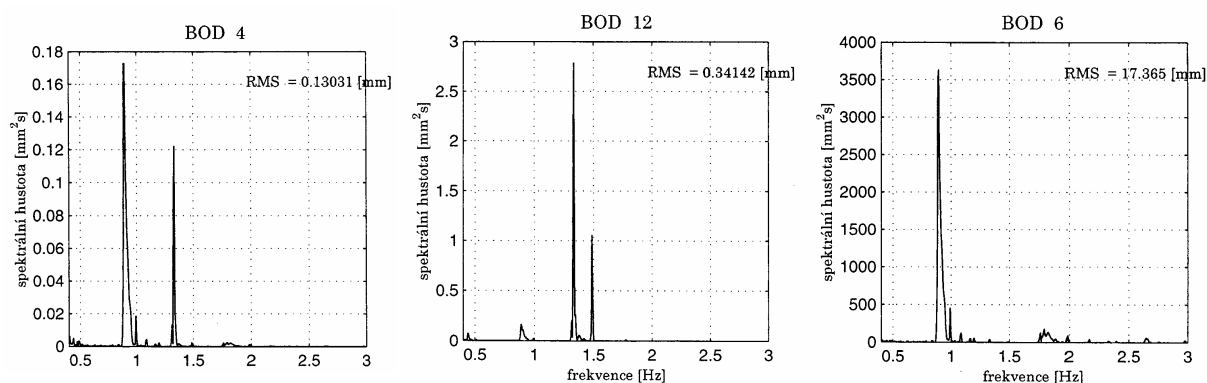
Obr. 1 Měřená místa na konstrukci



Obr. 2 Odezva při zvonění největším zvonem (jižní věž): zvonová podlaha, špička věže, vrchol štítu

4. Zhodnocení výsledku

Vysvětlení výskytu kmitů je zde nasnadě, totiž zvětšení jinak nevýznamného buzení pohybem paty štítu blízkostí budící a vlastní frekvence štítu jako konzoly. Triviálnost tohoto vysvětlení je však narušena dvěma věcmi, a to: (i) značné zvětšení ukazující na malý útlum, ten ale kontrastuje se značnou šířkou rezonančního pásma (0.88 – 1.16 Hz, t.j. cca 20%). To se zdá signalizovat, že štít se nechová jako lineárně pružná konstrukce, ale že např. dochází k rozvírání spar ve zdivu, jehož malta je časem narušená. Dále (ii) překvapuje, že se v budící síle objevuje sudý násobek základní frekvence, zatímco analýza vodorovné složky reakce kývajícího zvonu ukazuje pouze na složky o lichých (především 1. a 3.) násobcích (srv. např. Fischer & Pirner, 2002). Tato druhá skutečnost souvisí zřejmě s elektromotorickým rozhoupáváním zvonů, jehož účinek zrovnoměňuje jejich kývavý pohyb, a nemůže být odstraněna (t.j. návratek k ručnímu zvonění). Štít ovšem musí být opraven, jeho zdivo je v současné době podrobováno dalšímu průzkumu a hledá se způsob jeho sanace takovými metodami, které by vyhovovaly kritériím uplatňovaným v památkové péči.



Obr. 3. Odezva při zvonění všemi zvony: pata štítu 0.13 mm, špička věže 0.34 mm, vrchol štítu 17.35 mm (RMS)

5. Poděkování

Popsaná měření byla financována převážně z objednávky Královské kolegiální kapituly sv. Petra a Pavla na Vyšehradě, na samotném měření se dále podíleli pp. L. Krbec a O. Vála. Některé další analýzy výsledků byly umožněny podporou projektu GAAVČR č. B 2071303.

6. Literatura

Fischer O. & Pirner M. (2002): Návrh na omezení kmitů štíhlé ocelové zvonice. In: Sbor. konference Inženýrská mechanika (L. Houfek, P. Hlavoň, P. Krejčí, Ústav termomechaniky AVČR eds.), 13-16.5.2002, Svratka, str. 47-49. Plný text na CD, 9 str.

Fischer O. & Urushadze S. (2002): Posudek účinku zvonění na dynamické chování štítové zdi kapitulního chrámu sv. Petra a Pavla v Praze-Vyšehradě. ÚTAM AVČR, září 2002.