



národní
úložiště
šedé
literatury

Ochrana památkových objektů proti vibracím

Urushadze, Shota
2022

Dostupný z <http://www.nusl.cz/ntk/nusl-508214>

Dílo je chráněno podle autorského zákona č. 121/2000 Sb.

Tento dokument byl stažen z Národního úložiště šedé literatury (NUŠL).

Datum stažení: 22.05.2024

Další dokumenty můžete najít prostřednictvím vyhledávacího rozhraní nusl.cz .

Průvodní zpráva k památkovému postupu - Ochrana památkových objektů proti vibracím

I) Cíl památkového postupu

Cílem „památkového postupu“ je poskytnout obecný metodický postup při posuzování památek vystavených technické seismicitě. Památkový postup lze použít v případech, kdy v okolí památek došlo ke zvýšení hladiny vibrací, v případech posuzování poruch památkových objektů vystavených vibracím nebo při posuzování jejich životnosti.

II) Vlastní popis památkového postupu

Předkládaný památkový postup byl vytvořen v letech 2018–2021 při řešení úkolu NAKI č. DG18P02OVV040, nazvaného „Památky v pohybu“, financovaného MK ČR. Podkladem pro vypracování tohoto památkového postupu byla 30-letá činnost Prof. Pirnera, Ing. Urushadzeho a Ing. Bayera v oblasti technické seismicity a stavební dynamiky obecně. Navržený památkový postup je vlastně metodickým návodem, jak postupovat, pokud se objeví u památek nějaké poruchy nebo negativní projevy, které by mohly souviset s vibracemi, včetně způsobů jejich řešení. K jednotlivým bodům postupu jsou uváděny příklady z dlouholeté praxe.

Obecně tato vyšetřování zahrnují teoretickou experimentální analýzu včetně terénního průzkumu, nedestruktivní a laboratorní testy na modelech, modelování metodou konečných prvků.

Zdrojů technické seismicity je velice mnoho. V současné době za ně považujeme hlavně buzení stroji, dopravou (včetně průmyslových explozí).

Při posuzování památek vystavených technické seismicitě lze postupovat podle následujícího schématu:

Důvody k posuzování (Preventivní)

V případě nezvyklých, nových nebo citelných vibrací, pokud se objevil se nový potenciální zdroj vibrací v blízkosti památky nebo při posuzování zbytkové životnosti apod.

V případě poruch nebo negativních projevů

Pokud se objevily nové poruchy (například trhliny) nebo pokud existují obavy o dalším zhoršování existujících poruch. Pokud dochází k citelným nebo viditelným vibracím.

Měření vibrací

Posouzení lze provést jen na základě měření vibrací. Vibrace se doporučuje měřit v problematičtém místě a v patní spáře objektu nebo co nejbližší ke zdroji vibrací, pokud se jej podaří lokalizovat. Základem je zjištění amplitudových a frekvenčních charakteristik zatížení, eventuálně zjištění jejich statistických parametrů. Ve výjimečných a odůvodněných případech hodnocených na základě výpočtu lze vyjít z maximálních normových hodnot bez měření aktuálních vibrací. (Posouzení hladiny vibrací na základě normy ČSN 730040). Měření mohou být orientační krátkodobé nebo dlouhodobá monitorování

V případě poruch, nebo posuzování účinků vibrací na jednotlivé části památky může být nutné stanovit tvar kmitání na základě měření jako podklad pro následující výpočty.

Posouzení hladiny vibrací se provádí na základě normy ČSN 730040. Odezva na zatížení technickou seizmicitou se zpravidla měří a posuzuje hodnotou efektivní rychlosti kmitání v nejnižším podlaží, nebo na základech objektu; tato místa se nazývají referenčními body. Ale v jiných místech konstrukce mohou být zjištěné rychlosti kmitání větší než v referenčním bodě.

Dynamickou odezvu způsobenou technickou seizmicitou s výjimkou odezvy od trhacích prací z hlediska únosností není třeba dále analyzovat, pokud na referenčním stanovišti efektivní rychlost pohybu nepřesáhne mezní hodnoty.

Na základě dlouhodobého měření vibrací lze určit i statistické rozdělení jednotlivých frekvenčních složek kmitání. S jejich pomocí lze vypočítat, s jakou pravděpodobností budou dosaženy teoretické limitní hodnoty platné pro sledovanou památku. Takovéto statistikou podpořené výpočty lze využít k odhadům zbytkové životnosti, k prognózám vývoje poruch nebo optimálnějšímu plánování konzervačních zásahů a oprav.

Pokud je rozvoj poruchy postupný (např. erozí, korozí, povětrnostními vlivy apod.) ale nehrozí bezprostřední kolaps, lze památku sledovat s cílem varovat včas před dosažením kritického stavu. K tomu může sloužit monitorování vhodných veličin.

Na základě dlouhodobého sledování lze stanovit statistické charakteristiky zatížení a s jejich pomocí na základě rozboru životnosti použitých materiálů je možné provést odhad zbytkové životnosti sledovaného objektu.

III) Popis ověření památkového postupu v praxi

Ověření památkového postupu probíhalo na těchto uvedených příkladech:

a) Kostel Nanebevzetí Panny Marie ve Staré Boleslavi

Jedná se o jednoduší kostel s postranními kaplemi mezi pilíři, které podporují zdivo nad klenbami postranních kaplí a klenbu hlavní lodi kostela. Půdorys kostela je obdélníkový s půlkruhovou apsidou v podélné ose na východní straně. Vnější šířka půdorysu je 22 m se šířkou lodi 13,8 m, délka včetně apsidy je 48 m a výška hlavní lodi kostela je 22 m.

Klenba hlavní lodi i kněžiště kostela byla porušena podélnou trhlinou ve vrcholu klenby v celé délce vnitřního prostoru, a proto bylo v březnu 2018 provedeno dlouhodobé měření vibrací podlahy (± 0) kostela a klenby (+22,25 m).

K zhodnocení velikosti otřesů způsobených dopravou na kostele bylo použito kritérií podle normy ČSN 73 0040, kde se odezva na zatížení vibrací posuzuje hodnotou efektivní rychlosti kmitání.

b) Národní divadlo v Praze

Při první prohlídce dne 3. 1. 1990, byly zjištěny dva druhy poruch: tahové nebo smykové trhliny a byla zjištěna porušení zejména ozdobných elementů (uvnitř i vně budovy). S ohledem na charakter zjištěných poruch a na subjektivní pocity diváků bylo rozhodnuto, že k posouzení stavu historické budovy je nutné zjištění dynamické odezvy od uliční dopravy. Bylo třeba prokázat příčiny poruch na objektu Národního divadla a s ohledem na jejich charakter se vyjádřit k jejich vážnosti.

Trigy, odezva soch na dynamické zatížení

Cílem dynamického měření bylo prokázat vliv okolní technické seizmicity, (převážně od dopravy automobilové a kolejové) na úrovni ukotvení trig. Dynamická odezva byla měřena trojí dvojicí

snímačů Wilcoxon k zjištění hodnoty rychlosti a výchylky vibrací. Pro zjišťování odezvy zrychlení byl použit akcelerometr typu ENDEVCO 86. Následně proběhlo posouzení kmitání a zhodnocení účinků.

c) Katedrála sv. Víta na pražských Hradčanech

V roce 1991 se objevily v chrámu sv. Víta v Praze poruchy; úlomky kamenných prvků nosné konstrukce spadly do chrámové lodi. To vyvolalo požadavky inspekce stavu kamenných prvků a kleneb chrámu a k určení příčin a pravděpodobnosti výskytu zjištěných poruch. Zaměřili jsme se zejména na prohlídku kleneb a vybraných kamenných prvků triforia, na měření teploty a vlhkosti uvnitř chrámu, na měření dynamické odezvy konstrukce od vozidel, pohybujících se v přilehlém okolí katedrály, a na účinky kompresoru.

Prvky Triforia

Triforium je ochoz, otevřený do prostoru chrámu nad arkádami na mohutných pilířích, lemujících hlavní loď ve výši 14,3 m. Nad triforiem je souvislá řada oken.

Byly zjištěny poruchy v subtilní kamenné kružbě; v ní byly trhliny v horním i dolním čtvrtoblouku, procházející celým průřezem. Lomové plochy byly čisté, bez známek dlouhodobého otevření trhlin.

Poruchy mohly být způsobeny, nebo alespoň jejich vznik zrychlen, vnějšími silami. Pozornost byla věnována těmto silám, protože dynamické zatížení je pro staré zděné konstrukce nejnebezpečnější. Je třeba připomenout, že katedrála byla v minulosti často vystavena dynamickému zatížení i při leteckých přehlídkách, kdy přibližně 100 m nad ní létaly s forsází desítky letadel. Tyto opakované rázy mohly vést ke kumulaci poškození zdiva a kamenných prvků, což lze usuzovat z několika poruch vnějšího pláště. Nepříznivě se také projevovala stavební činnost v okolí katedrály: odstřely, vibrace stavebních strojů atd.

d) Chrám sv. Petra a Pavla v Praze na Vyšehradě

V chrámu sv. Petra a Pavla v Praze na Vyšehradě při zvonění docházelo k vizuálně patrnému kývání štítové zdi nad hlavním vchodem. Bylo nutné měřit velikosti pohybu štítu a přilehlých konstrukcí při zvonění, posouzení jeho vlivu na bezpečnost objektu a případný návrh na jeho zmenšení. Kostel je zděná trojlodní konstrukce o půdorysných rozměrech cca 30,0 x 56,0 m, 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 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 oslabená třemi svislými výklenky se sochami na tloušťku 270 mm. Za štítovou stěnou navazuje sedlová střecha chrámového prostoru v délce cca 50 m na klasickém dřevěném krovu, konstrukčně se štítem nesouvisejícím. V podélném směru je krov ztužen pásky mezi sloupky a horními vaznými trámy. V jižní věži jsou dva staré zvony o hmotnosti 1,0 a 0,6 t osazené ve společné stolici nad sebou, v severní jsou 4 nové menší zvony o hmotnostech 150 až 650 kg, instalované v roce 2001, a dále zvonkohra, jejíž zvony se nepohybují. Frekvence kývání starých zvonů je 0,44 Hz, frekvence nových je 0,50 až 0,60 Hz, a lehce kolísá. Zvonová podlaha je v obou věžích v úrovni cca 29 m; podlaha pod starými zvony byla zřetelně deformovaná a byla v minulosti opravována a zesilována.

e) Tkalcovna v Novém Městě pod Smrkem

Tento příklad řeší izolaci vibrací od zdroje do budovy, ale lze jej použít i v opačném případě, kdy je nutné chránit objekt před šířením vibrací z prostředí, a proto je zde uveden.

Budova v Novém Městě pod Smrkem, asi 100 let stará. Budova má 4 podlaží; železobetonové stropní desky, nahrazující původní dřevěné, stropy jsou podepřeny dvěma řadami litinových sloupů. Vnější zdivo je cihelné. V každém podlaží bylo 80 tkalcovských stavů, které vyvolávaly vodorovné kmitání ve směru **Y** s frekvencí 2,6 Hz, amplitudou 0,3 mm ve 4. podlaží a útlumem $\delta = 0.09$. Změřená frekvence odpovídá první vlastní frekvenci 2,42 Hz.

IV) Návrh konkrétních uživatelů památkového postupu

Památkový postup je určen především pro kurátory, restaurátory a správce historických památek. Může však také sloužit provozovatelům památek i pracovištím, které řeší problematiku stavební dynamiky v praxi, jako návrh postupu a pro inspiraci při řešení problémů. Zdrojem poučení může být i pro studenty na vysokých školách.

V) Seznam použité související literatury

- [1] ČSN 730040., Zatížení stavebních objektů technickou seizmicitou a jejich odezva (Loads on structures by technical seismicity and their response), 2019.
- [2] ČSN EN 1991-1-7 (730035) Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 1-7: Obecná zatížení - Mimořádná zatížení (Eurocode 1: Actions on structures - Part 1-7: General actions - Accidental actions), 2007.
- [3] Bayer J., Pospíšil S., Hračov S., Response Analysis of the Laser Centrum ELI to the Experimentally Verified Base Vibration, ÚTAM AVČR technical report, Prague, April 2014
- [4] Pirner M., Fischer O.: Zatížení staveb větrem. ČKAIT Praha 2003, ISBN 80-86769-10-0
- [5] Hartog J.P. den: Mechanické kmity (angl.), MacGraw–Hill book Company, Inc. New York, Toronto, London, 1956
- [6] Pirner M.: Ball damper and its use in structures with two dimensional response. Acta Technica CSAV, 1995
- [7] Pirner M.: Aeroelastic characteristics of a stressed ribbon pedestrian bridge spanning 252 m. Jour. of Wind eng. and Industrial aerodynamics. 53, pp. 301-314, 1994
- [8] Náprstek J., Pirner M.: Dynamics of a spherical vibration absorber, In. Proc. Conf. Engineering mechanics, 2003, Svratka
- [9] Urushadze S., Pirner M., Bayer J.: Historical buildings exposed to the effects of technical seismicity, 10th International Conference on Structural Health Monitoring of Intelligent Infrastructure, SHMII-10. Porto, Portugal. 2021.
- [10] Ibrahim, S. R.: "Random Decrement Technique for Modal Identification of Structures", Journal of Spacecraft and Rockets, Vol. 14, pp. 696-700, 1977.
- [11] Šnejdar, j. a kol. „Národní divadlo“. 1983
- [12] Drdácký, M., Urushadze, Sh.: Chování konstrukce a bronzového pláště koně v sousoší trig na střeše Národního divadla v Praze. Zpráva k hospodářské smlouvě s firmou Houska & Douda, spol. s r.o. Praha, Listopad 2006.
- [13] Beran P., Drdácký M.: Influence of temperature changes on stresses in the triforium tracery of St. Vitus cathedral in Prague. In: Proc. „Computational methods for coupled problems in science and engineering, II, Coupled problems 2007“. E Onate, M. Papadrakak, B. Schrefler (eds.), Barcelona 2007
- [14] Pirner M., Drdácký M., Bartoš F.: Katedrála sv. Víta - poruchy kamenných prvků a kleneb. Zpráva UTAM ČSAV, Praha 1991
- [15] Pirner, M., Fischer, O.: Dynamika ve stavební praxi. Praha: Pro Českou komoru autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě vydalo Informační centrum ČKAIT, 2010.

VI) Seznam publikací, které předcházely památkovému postupu a byly publikovány (pokud existují), případně výstupy z originální práce.

Fischer O., Urushadze S.: Vibrations of a gable of a church excited by ringing. in Proc. of Engineering Mechanics '03 Conference, May 03, Svratka, Czech Republic, pp. 80-81, in CD ROM proc. ISBN 80-214-86246-18-3.

Fischer O., Urushadze S.: Účinek pohybu zvonů na štítovou zeď z kamenného zdiva, in Proc. 3rd international conference on New trends in statics and dynamics of buildings (Edited by Juraj Králik), ISBN 80-227-2116-6, Slovak University of Technology in Bratislava, October 21 – 22, 2004 Bratislava, pp 9-12.

Fischer O., Urushadze S.: The influence of bells' movement on the adjacent masonry vibrations, Proc. of the IV International Seminar structural analysis of historical constructions, ISBN 04 1536 379 9, Edited by C. Modena, P.B Lourenço and P. Roka, A.A. Balkema Publishers, Padova, Italy, 2004, pp. 415-420.

Fischer O., Urushadze S.: úloha zvonové stolice při přenosu sil do konstrukce věže, Proc. of the 6th International Conference on New Trends in Statics and Dynamics of Buildings, ISBN 978-80-227-2232-7, Edited by Juraj Králik, FCE STU Bratislava Slovak Society of Mechanics SAS, Bratislava, Slovakia, 2007.

Witzany, J., Zigler, R., Kroftová, K., Urushadze, Sh. Pospíšil, S.: Experimentální ověření odezvy zděné valené klenby na dynamické účinky. [Experimental verification of barrel brick vault's response to dynamic effects.] Stavební obzor. Roč. 23, 9/10 (2014), s. 131-135. ISSN 1805-2576

Urushadze, Sh., Pirner, M., Fischer, O.: Theoretical and experimental study of coupled rocking-swivelling model of guyed mast shaft. EVACES'15. International conference on experimental vibration analysis for civil engineering structures. Dübendorf: EMPA, 2015. s. 27-27

Urushadze Sh., Pirner M.: The influence of bell's swaying on neo-gothic cathedral. Structural analysis of historical constructions. An interdisciplinary approach. Amsterdam: Springer, 2019 - (Aguilar, R.; Torrealva, D.; Moreira, S.; Pando, M.; Ramos, L.), s. 2170-2178. RILEM Bookseries, 18. ISBN 978-3-319-99440-6, Municipal and structural engineering: https://doi.org/10.1007/978-3-319-99441-3_233

Urushadze, Sh., Pirner, M. and - Bayer, J.: Influence of technical seismicity on a historical building. ICEDyn 2019. International conference on structural engineering dynamics. Proceedings. Lisbon: University of Lisbon, 2019 - (Maia, N.; Neves, M.; Sampaio, R.), č. článku 028. ISBN 978-989-99424-7-9. Viana do Castelo (PT).

Urushadze, Sh., Pirner, M. and - Bayer, J.: Analysis of vibrations on the historical structures induced by technical seismicity. Advances in engineering materials, structures and systems: innovations, mechanics and applications. Leiden: CRC Press/Balkema, 2019 - (Zingoni, A.), s. 91-96. ISBN 978-1-138-38696-9. Cape Town (ZA).

Urushadze, Sh., Pirner, M. and - Bayer, J.: Vibration assessment on the historical structures induced by technical seismicity. Conference REHABEND 2021