



Development of technical equipment for static loading tests.

Rozvoj technického vybavení pro statické zatěžovací zkoušky.

J. Záruba, J. Švanda, P. Štemberk,

Abstrakt: The speech informs about innovation activities of KU in development of technical equipment for load tests aimed at needs related to testing of bridge constructions. The text is enlarged by a broader discussion of reasons for gradual transfer from securing bridge constructions by repeated static load tests to statistical observation of changes in bridge caused by operational load. As a registered manufacturer of measuring tools for building industries, KU focuses on innovation activities in measuring methods.

Klíčová slova: loading tests of bridges, deflections, wire strain-gauge method

1) Úvod:

Základním smyslem zatěžovací zkoušky stavební konstrukce je ověření souladu skutečných mechanických vlastností konstrukce s projektovým předpokladem (u nové konstrukce) nebo (u staré konstrukce) s předepsanými přípustnými mezemi. Mechanické vlastnosti jsou zpravidla zkoušeny při zatížení blízkém předpokládanému provoznímu maximu a je vyvoláno známým břemenem, resp. obecně mechanickým přitížením známé velikosti pro potřeby zkoušky.

V případě statické zatěžovací zkoušky se jedná o experiment se zanedbatelnou úrovní přitížení setrvačnými silami a z pohledu technického vybavení pro experimenty ve stavebnictví se jedná o využití aparatur s frekvencí odečtu menší než cca 1Hz.

J. Záruba, Ing., CSc., Kloknerův ústav ČVUT, Šolínova 7, Praha 6, stem@klok.cvut.cz

J. Švanda, Ing., CSc., U Havlíčkových sadů 9, 120 00 Praha 2, jsvanda@usis.cz

P. Štemberk, Ing., Kloknerův ústav ČVUT, Šolínova 7, Praha 6, stem@klok.cvut.cz

Specifické požadavky na měřicí techniku a další technické vybavení pro experimenty ve stavebnictví vyplývají zejména z rozlehlosti stavebních konstrukcí, obtížné přístupnosti kontrolovaných míst stavby a z podmínek IN SITU, z čehož velmi často vyplývá potřeba telemetrického měření ve vlhkém prostředí, dlouhodobost experimentu, malý odstup časových konstant teplotních změn ve stavební konstrukci a časovým intervalem mezi zatíženým a nezatíženým stavem při zatěžovací zkoušce. Přípustná přetížení při zkoušce stavební konstrukce jsou s ohledem na úroveň požadovaných bezpečnostních koeficientů a zpravidla převažujícím zatížením konstrukce vlastní vahou velmi malá a tudíž jsou obecně malá jak měřená poměrná přetvoření, tak relativní posuvy konstrukce. Při instalaci měřidel deformací je nejčastěji kritickou otázkou tuhost systému přenosu měřeného pohybu na měřidlo a tuhost upevnění měřidla ve vztahu k úrovni vnitřního tření měřidla.

V podmínkách českého stavebnictví byly kontroly stavební konstrukce zatěžovací zkouškou nejvíce rozšířeny jako normou předpísaný akt při uvádění mostní konstrukce do provozu. Skutečnost, že se jednalo o normou předepsanou záležitost významným způsobem ovlivnila i řešení souvisejících technických problémů. Například tím, že závazná norma musí vycházet z dostupného technického vybavení a nepochybně odzkoušených experimentálních metodik, a proto se normy staly systémovou brzdou rozvoje aplikačních možností měř. techniky.

Díky spolehlivosti systémů počítačového navrhování mostních konstrukcí, vysoké úrovni typizace v mostním stavitelství a tržními mechanismy vynucená větší technologická kázeň, lze postupně i v této oblasti odbourávat platnost norem jako předpisu, ale chápat je stále více jako doporučení obecně žádoucích přístupů a metodik.

Cyklicky opakovaná statická zatěžovací zkouška ovšem zůstává, zejména u méně provozně zatížených mostů, jednou z nejméně nákladných možností jak získat užitečné informace pro odhad zbytkové životnosti mostu a proto není masivní odklon od užívání této metodiky zatím žádoucí.

Uvedené vývojové trendy a zájmy ovšem vedou k silnému tlaku na snižování nákladnosti zatěžovacích zkoušek, což je v zásadě možné buď snižováním rozsahu informačního obsahu získávaného zkouškou, nebo zdokonalováním metodik a technického vybavení pro zatěžovací zkoušky.

Jelikož prakticky vše co platí pro zatěžovací zkoušky mostů má obecný význam je další text orientován výhradně na potřeby zkoušek mech. funkce mostů.

2) Inovace technického vybavení

Při statické zatěžovací zkoušce mostů je nejčastěji požadováno měření svislých posuvů (průhyb mostovky, stlačení a zatlačení pilíře, stlačení ložisek, náklon mostovky nad podpěrou atd.) Méně často je požadováno tenzometrické měření napjatosti, resp. poměrného přetvoření.

Z důvodu odhadu úrovně rušivých vlivů a možnosti příslušné korekce výsledků měření, nebo alespoň pro zdůvodnění dosažené úrovně nejistot experimentálně zajištěných výsledků, jsou zpravidla v průběhu zkoušky kontrolovány charakteristické teploty, čas odečtu, vítr a míra oslnění. Někdy je nutné kontrolovat i změny atmosférické vlhkosti.

Pro volbu metodiky měření je rozhodující požadovaná rozlišovací schopnost, resp. nejistota měření, dále je nutné respektovat reálné podmínky přístupnosti kontrolovaného místa měření, včetně vzájemné přístupnosti příslušného místa a místa pro srovnání. V neposlední řadě je technické zajištění zkoušky záležitostí ekonomické výhodnosti.

Otázkou odečítacích aparatur se zabývá samostatný příspěvek stejného autorského kolektivu, ale obecně je odzkoušeno, že pokud při experimentu dochází k registrovaným změnám více než dvouciferným, tak je digitální odečet spíše nutností.

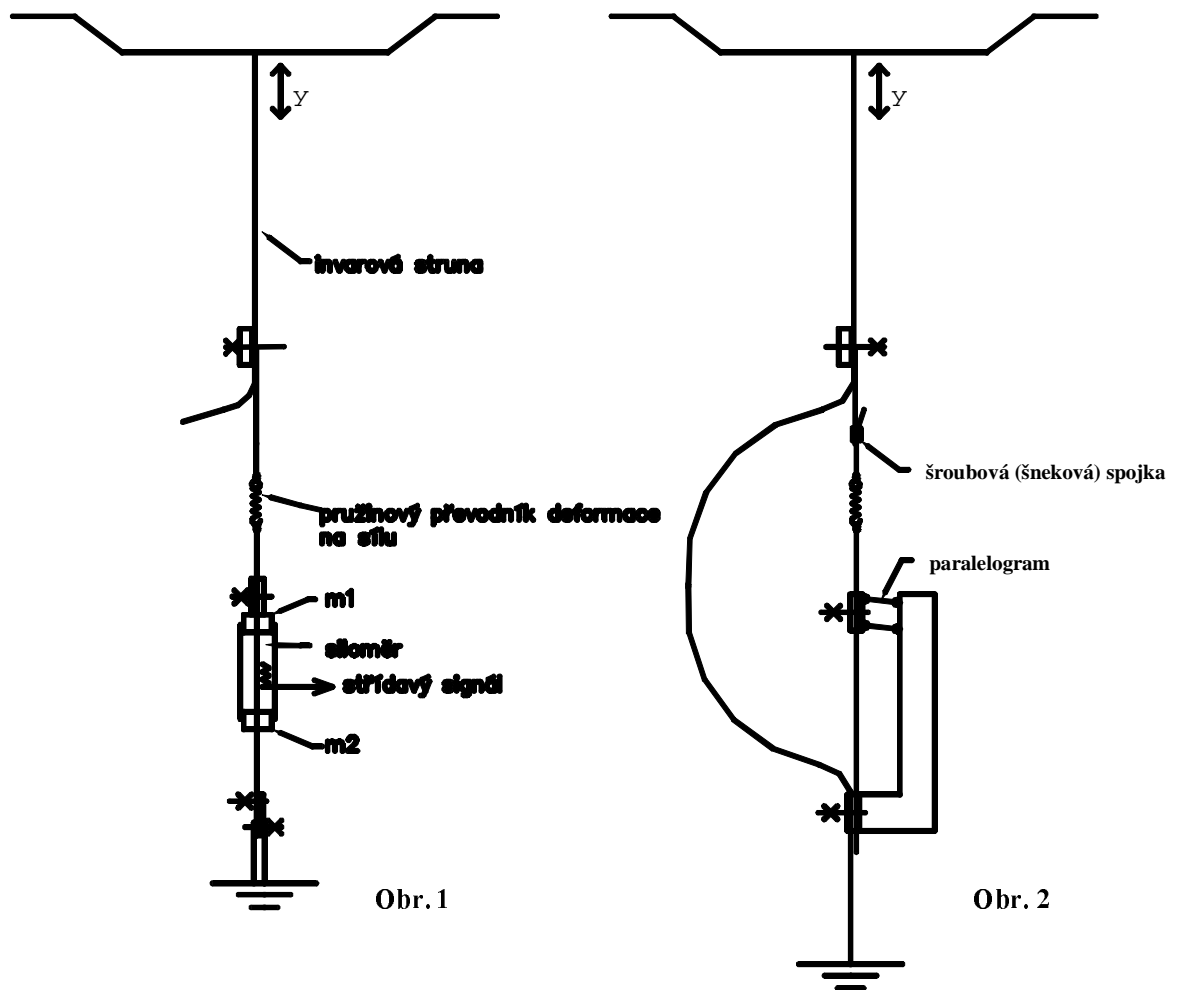
2.1) Měření průhybu

KÚ preferuje jako základní metodu a nejčastěji využívá aplikaci průhyboměru s pružinovým převodem deformace (posuvu) na sílu a převod síly na výstupní údaj pomocí strunového siloměru obr. 1 přičemž přenos deformace zajišťuje invarová struna průměr 1,6 mm předepjatá silou v rozsahu 100÷150 N. Podle terénu pod mostovkou je nepohyblivý srovnávací bod průhyboměru simulován buď zatížený m táčem, nebo na úrovni terénu přitíženou zaraženou tyčí. Tomuto řešení je dáвана přednost zejména v případech dobré přístupnosti terénu pod mostovkou a výškách pohledu mostovky do 7 m.

Jelikož je při zatěžovacích zkouškách ve stavebnictví zajištění nejistot měření lepších než 1 % úrovně kontrolovaných změn naprosto dostačující, je tato metoda (pokud její aplikaci přístupnost měřeného místa dovolí) vždy na reálné konstrukci využitelná.

Z konstrukčního a spolehlivostního pohledu je klíčový strunový siloměr. Ten je nejčastěji řešen jako soustava dvou setrvačných hmot, které vymezují v systému strunového předepjatého táhla mezi body, jejichž relativní pohyb se kontroluje, měrný úsek struny jejíž vlastní frekvence příčného kmitání je základem výstupního údaje siloměru.

Z důvodu menší hmotnosti, větší operativnosti instalace a zejména funkční spolehlivosti je současně realizován přechod na metodiku měření průhybu podle obr. 2.



Tento typ průhyboměru umožňuje při instalaci pouze volně upevnit mezi body, jejichž relativní pohyb se kontroluje, invarovou strunu a až následně do nejlépe přístupného místa této struny vložit systém strunového deformetru, který vytvořením volné smyčky invarové struny mezi místy upnutí deformetru a jejich stažením zajistí požadované předpjetí zbývajících úseků invarové struny. U této metodiky, zejména z důvodu úspory hmotnosti, se lépe osvědčuje strunový siloměr s jednou setrvačnou hmotou (rámem) a upevněním jednoho konce měrné struny pomocí konzoly s funkcí paralelogramu. Pro dopínání invarového táhla je využívána šroubová (šneková) spojka vyrobená z pásků pro svírání hadicových spojů.

V případech mostovek uložených nízko nad terénem a dalších místech (stlačení ložisek apod.), kde není problém upevnit s dostatečnou tuhostí deformetru s nezanedbatelným vnitřním třením, se svou operativní využitelností nejlépe osvědčují potenciometrické kontaktní snímače, které se zpravidla instalují ještě snadněji než nový typ strunového deformetru podle obr. 2 a pokud není nutné zajistit plnou automatizaci zkoušky, tak není použití dvojí měřicí metodiky komplikací.

Strunové průhyboměry nelze využít u mostů nad elektrifikovanou železniční a velmi obtížně se tato metodika aplikuje nad řekou, frekventovanou silniční komunikací bez možnosti úplné výluky dopravy ap. od.. Zatím není prakticky k dispozici jiná než geodetická metoda. Podobně při kontrole sednutí pilířů zatím není dostupná jiná srovnatelně vhodná metodika.

Základní komplikací geodetických metodik je časová náročnost odečtu, která při teplotních pohybech mostní konstrukce významným způsobem zvětšuje nejistoty měření a to v důsledku obtížného zavedení dodatečné teplotní korekce výsledků.

V případě mostních konstrukcí se geodetické práce urychlují:

- výhradním využitím pevné polohy geodetických přístrojů a značek
- omezením využití geodetických metodik výhradně na nivelaci
- a použitím laserů

I k dyž KÚ odzkoušel i aplikační možnosti hydrostatické nivelace a přímého měření náklonů, jeví se tyto metodiky zatím za příliš málo univerzální, ale jen jako občas výhodně využitelné.

Snaha o využití výhradně pevného postavení technických prvků geodetických metodik vedla ke zvýšené orientaci na systémy s laserem, které výrazně zjednodušují vlastní zkoušku u mostů s větším spádem mostovky.

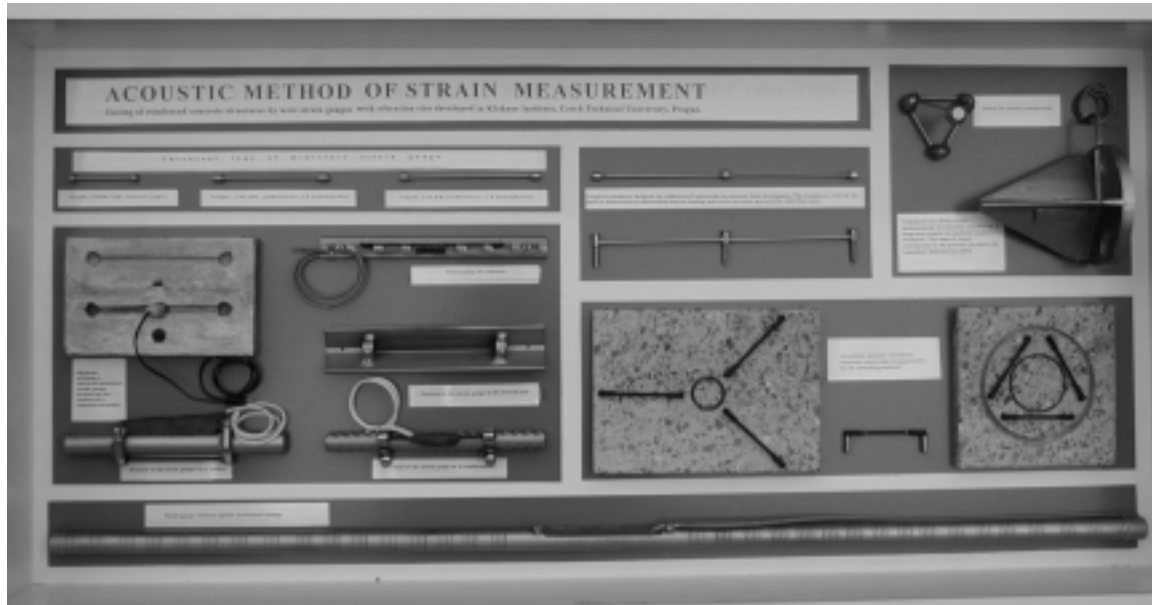
Rozvojové snahy KÚ se proto orientují na problém zvyšování využitelné citlivosti odečtu polohy laserového paprsku, aplikační možnosti polopropustných hranolů a možnosti ostření (zúžení) laserového paprsku, nebo naopak rozšíření při jeho aplikaci jako osvětlení při odečtu klasickým nivelačním přístrojem.

2.2) Tenzometrické měření napjatosti

Jelikož tuhost a pevnost určitého stavebního materiálu často úzce souvisí (navíc v oblasti reálného využívání je tato závislost blízká linearitě), je měření poměrné deformace často metodicky přímější cestou získání hledané klíčové informace, než integrálnější měření průhybů a celkových deformací. Každá stavební konstrukce má svá kritická místa, takže je důležitá zejména kontrola těchto míst a integrálním měřením je, resp. byla dávana přednost v době kdy nebyla jinak dostatečně jistěna kvalita projektových výpočtů.

Základní nevýhoda tenzometrie při dlouhodobé kontrole stavební konstrukce z nehomogenního materiálu metodou periodicky opakováných experimentů byla v KÚ odstraněna již v první polovině 70-tých let umožněním oddělitelnosti mechanické a elektrické části tenzometru. I při srovnatelné délce tenzometru se zrnitostí betonu lze zajistit

reprodukovatelnost podmínek opakované zkoušky tak, že do extrému zjednodušená mechanická část tenzometru zůstává i v mezidobí zkoušek součástí zkoušené stavby. Přehled aplikačních možností strunových tenzometrů představuje foto tabla obr. 3. Zejména stále obtížněji zajistitelná jemná strojní práce vedla ke konstrukční změně hlav tenzometru. U nového řešení je měrná struna kotvena v hlavách tenzometru sevřením mezi čela dvou šroubů M5 přes kalený kroužek obr.4.



Obr.3



Obr.4

Pozn: Zbylé mechanické veličiny, které se při zatěžovací zkoušce kontrolují mají vesměs charakter kontroly regulernosti podmínek zkoušky a jako podklad pro případnou korekci, která má ovšem za regulerních podmínek „druhořadý“ význam, a proto vesměs dostačují běžná hromadně vyráběná měřidla.

3) Předpokládaná další orientace experimentů mostního stavitelství

Systém dlouhodobé, důsledné a závazné normalizace přístupu ke zkoušení mostů nebyla schopna s dostatečným předstihem reagovat na potřeby mostního stavitelství, takže úkolem současnosti je odstranit takto vzniklé nesrovnalosti mezi naléhavostí experimentální potřeby a připraveností experimentálních pracovišť zajistit příslušnou zkoušku v požadované kvalitě a ekonomicky reálným způsobem.

Obecně se očekává omezení rozsahu experimentů v intervalu mezi dokončením stavby mostu a jeho kolaudací, resp. uvolněním pro zahájení provozu, pouze na zjištění výchozího stavu parametrů, jejichž vývoj bude opakovaně, v zájmu posouditelnosti „zbytkové životnosti“, resp. volby optimálního okamžiku pro opravu, sledován. Je proto prioritní investovat do rozvoje metodik reprodukovatelného nenákladného sledování parametrů, z jejichž vývoje lze posoudit i vývoj míry rizika selhání konstrukce.

Prohlubující se tržní podmínky vedou přirozeně k zvýšenému zájmu o rozvoj metodik kontroly kvality metodikami aplikovatelnými ještě v průběhu stavby tak, aby případné negativní výsledky mohly vést k ekonomicky přijatelné nápravě.

Závažné resty zůstaly v rozvoji experimentálních systémů chránících mosty (a obecně komunikace) před přetěžováním a jinými škodlivými vlivy, resp. umožňují zajistit tuto ochranu.

Za rozvojem nových konstrukčních technologií pro výstavbu mostů též zaostává rozvoj metodik indikace nových typů poruch kritických pro novou konstrukci. (Na př. i nedestruktivní metodiky experimentálního odhadu zbytkového předpětí mostovky zatím vznikají pouze jako nedotažené vedlejší produkty blízkých výzkumů.)

Optimismus v očekávání dohledné revize přístupu k této problematice dodávají supervytížené strategické stavby typu Nuselský most, jelikož zde dosud využívané kontrolní metodiky selhávají, nebo jsou hrubě neekonomické a případná neočekávaná havárie, která by si vynutila dlouhodobější nepřipravenou výluku, by vedla ke katastrofálním škodám.

Závěrečné poznámky:

Řešení diskutované problematiky vzniká v rámci provádění zatěžovacích zkoušek laboratořemi KÚ a na obecnější úrovni je součástí řešení výzkumného záměru CEZ J04/98:210000004

Literatura:

Trhliny v předpjaté betonové konstrukci. Stavební obzor 9/96, (str. 214-215)

Záruba, J. (1999) Strunový vodotěsný snímač, Patent PV 3190-72

The technical resources in the process of the statistic dynamics methods application for the audio frequency analysis in-situ., sborníkový příspěvek pro IM 2000. Záruba-Pfeffermann J., Švanda J., Bouška P., Štemberk P., (květen 2000)