

**EXPLOITATION OF LASER LEVELLING DEVICE FOR  
ESTIMATION OF BRIDGES DEFLECTION****J. Záruba<sup>\*</sup>, P. Štemberk<sup>\*</sup>, P. Bouška<sup>\*</sup>, M. Vokáč<sup>\*</sup>**

**Summary:** *The static loading tests of bridge structures needs estimation of the bridge bearing structure deflection. In most cases, the vertical deflection is measured by the extensometers fixed to the ground surface. In case that space under the bridge is unavailable, geodetical levelling device could be applied for. In the Klokner Institute, the laser levelling device was verified for this purpose.*

**1. Úvod**

V případech, kdy nelze zajistit výluku provozu pod mostem, nebo je pod zkoušeným polem hlubší vodní tok, elektrizovaná trať, příp. se jedná o most extrémní výšky, je měření průhybů mostovky zpravidla technicky a ekonomicky nejrealizovatelnější geodetickými nivelačními metodami. Možnost aplikace klasických metodik využívajících nivelační přístroje naráží velmi často na závažné překážky, jako je např.:

- překážky viditelnosti mezi pozorovacím stanovištěm a kontrolovanými body,
- silný nárazový vítr,
- zvýšená úroveň rušivých teplotních deformací měřené konstrukce atd.,
- vibrace podloží pozorovacího stanoviště.

**2.1. Doporučované varianty řešení**

a) V případě měření průhybů a vybočení s očekávanou velikostí větší než 10 cm je obvykle nejoperativnější aplikace laserového dálkoměru, jehož rozlišovací schopnost u komerčně dodávaných dálkoměrů je 1 mm.

Kloknerův ústav pro tuto aplikaci vyvinul přípravek na instalaci sádrových značek pro reprodukovatelný odečet vzdálenosti, která sestává z opěrné kulové plochy pro přiložení dálkoměru a z odrazné rovinné plochy kolmé na záměrnou přímkou.

Při běžných aplikacích tohoto systému lze statistickým vyhodnocením opakovaných odečtů snížit nejistotu měření na úroveň rozlišovací schopnosti jednotlivých odečtů.

---

<sup>\*</sup> Ing. Jan Záruba, CSc., Ing. Pavel Štemberk, Doc. Ing. Petr Bouška, CSc., Ing. Miroslav Vokáč: Kloknerův ústav, ČVUT v Praze; Šolínova 7; 166 08 Praha 6 – Dejvice; tel.: +420.224 353 537, fax: +420.224 353 537; e-mail: mer\_ustr@klok.cvut.cz

b) Zhruba o řád vyšší rozlišovací schopnosti a lepší úroveň nejistot měření lze dosáhnout metodikami založenými na reprodukovatelném vytvoření sítě laserových paprsků a návazném odečtu změn vzdálenosti kontrolovaných bodů konstrukce od této sítě.

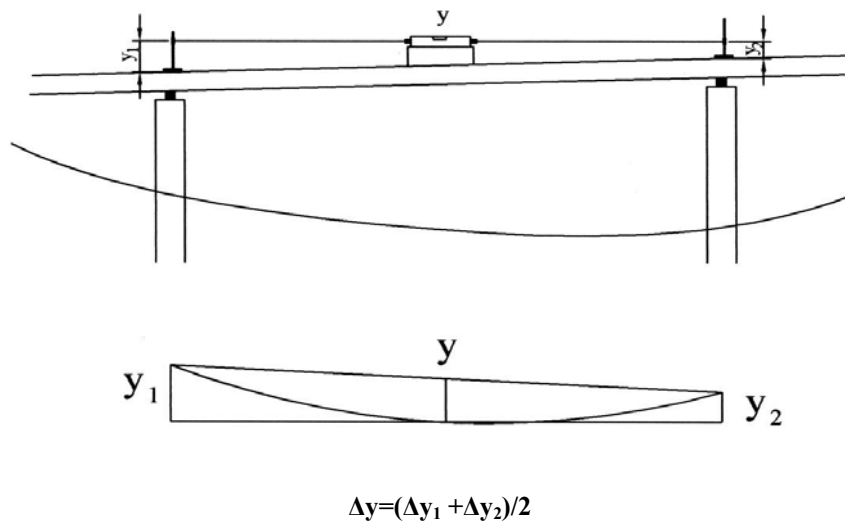
S ohledem na to, že při měřeních in situ je nutné připustit pohyb nebo poškození měřicí techniky v období mezi odečty, je prvořadým problémem každé geodetické metody reprodukovatelná obnovitelnost měřicího systému tak, aby nedošlo ke ztrátě kontinuity měření.

Zejména u měření v terénu má mimořádný význam nákladnost technického vybavení potřebného pro realizaci experimentu a časová náročnost odečítacího cyklu. Tento moment problému vedl Kloknerův ústav k orientaci na nejlevnější a nejdostupnější laserovou techniku, kterou jsou laserové vodováhy. Tím ovšem vznikla potřeba řešit problém důsledků nižší kvality laserového paprsku, která se poměrně rychle zhoršuje se vzdáleností od laserového zářiče.

Kloknerův ústav dospěl k následujícímu tech. řešení klíčových detailů systému pro kontrolu průhybu mostovky nejčtetnějších délek rozpětí (cca do 27 m).

- Střed mostovky (v podélném směru) nebo vnitřní okraj souběžné nezatěžované mostovky u dálničních mostů (v příčném směru) osazujeme na přísádrované prizma vodováhu opatřenou laserovými zářiči na obou protilehlých koncích.
- Kontrolované body konstrukce osazujeme vodorovně přitměným sklíčkem a to ve svislé rovině pod předpokládanou polohou srovnávacího laserového paprsku.
- Pro odečet vzdálenosti laserového paprsku od sklíčka je používána upravená digitální posuvka s přitměným terčíkem na jezdcí, přičemž se při odečtu nastavuje koincidence tohoto terčíku a terčíkového obrazu laserového paprsku dopadajícího na toto terčíkové stínítko.

Metodiku měření průhybu znázorňuje schéma na obr. 1.



Obr. 1. Schéma měření průhybu laserovým paprskem

## 2.2. Aplikace metodiky laserového měření průhybů na Karlově mostě

I když rozvoj této metodiky v KÚ ČVUT byl motivován zájmem rozšířit možnosti realizace statických zatěžovacích zkoušek mostů, je za nejzávažnější, nejrozsáhlejší a z metrologického hlediska nejnáročnější aplikaci považován monitoring tvarových změn Karlova mostu.

Zde byl Kloknerovým ústavem vedle dalších kontrolních metodik instalován na parapetech vybraných polí laserový systém měření svislých průhybů a příčných vybočení poprsních zdí a to v cca 34 kontrolních bodech. Tento systém (jak je obecně u geodetických metodik žádoucí) byl doplněn měřením podélných a příčných náklonů kompenzačním vteřinovým náklonoměrem.

Původně projektem navržený systém kontroly dlouhodobých změn rozteče parapetů poprsních zdí a dalších charakteristických rozměrů mostní konstrukce metodou blízkou použití konvergenčního pásma je postupně nahrazován aplikací laserového dálkoměru umožněné instalací přísádrovaných speciálních kontaktních a odrazných značek terčíkového tvaru.

Cílem hrubšího monitoringu laserovým dálkoměrem je včasné odhalení rozběhu postupného vyvracení poprsních zdí podobného jevům často postihujících podezdívky vrstevnicově situovaných plotů. Takovýto jev již byl odstartován v případě dvou polí a rozvoj tohoto jevu je podrobněji monitorován laserovým a náklonoměrovým systémem měření průhybů a vybočení.

Základní snahou podrobnějšího monitoringu je doložit porovnáním funkce poškozených a nepoškozených mostních oblouků samonosnost a oddělení vnitřního systému výplně mostovky, což může být vysvětlením pro odstartování nežádoucího jevu.

Dále pak porovnáním změn příčných náklonů a vybočení vyhledat průběh náhradního kloubu a tedy nejpravděpodobnější polohy vnitřní trhliny v poprsních zdech.

Technické provedení instalovaného systému je zřejmé z následné fotodokumentace instalovaných prvků systému.



Foto 1: Laserová vodováha v poloze pro odečet svislých průhybů magneticky přichycená na prizma

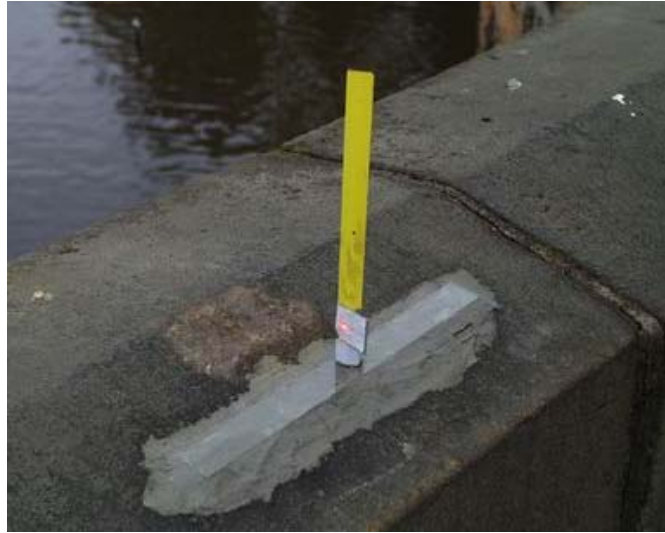


Foto 2: Posuvkový přípravek s noniem pro odečet vzdálenosti paprsku od vodorovně přitmelených sklíček



Foto 3: Kompensační vteřinový náklonoměr při odečtu podélného náklonu



Foto 4: Přípravek pro laserový odečet příčného vybočení



Foto 5: Uložení laseru pro kontrolu příčného vybočení



Foto 6: Odečet příčného náklonu parapetu

### 3. Závěr:

Hlavní význam metodického příspěvku Kloknerova ústavu spočívá v tom, že se podařilo prakticky odstranit všechna rizika systematických chyb, takže leze v případě potřeb statisticky opakovaným odečtem snižovat nejistotu měření na úroveň blízkou rozlišovací schopnosti odečtu. V rámci záměru probíhají současně i další pokusy snížit garantovatelné nejistoty měření úpravou paprsku tak, aby jeho odraz na stínítku měl výrazněji terčíkový tvar. Nejzávažnější aplikací systému je zatím monitoring změn tvaru poprsních zdí Karlova mostu.

### 4. Poděkování:

Tato práce vznikla z části za finanční podpory grantu GA ČR 103/02/0990 a z části byla podpořena prostředky výzkumného záměru MSM 210000004.

### 5. Literatura:

- [1] Witzany, J., Odborné stanovisko k opravě a rekonstrukci Karlova mostu, ČVUT FSv, Praha, 1994
- [4] Záruba, J. – Bouška, P. – Štemberk, P. – Vokáč, M.: Průběžná zpráva o sledování deformací z konstrukcí Karlova mostu a měření mechanicko-fyzikálních vlastností kamene z lokalit použitých při výstavbě mostu, ČVUT v Praze, KÚ, Praha, 2003