

Estakáda přes Masarykovo nádraží – výsledky dlouhodobého monitorování nosné konstrukce mostu a některých vybraných prvků

Doc. Ing. Jiří Kolísko, Ph.D., Ing. Miroslav Vokáč, Ph.D. a Ing. Martin Zatřepálek, Kloknerův ústav, ČVUT v Praze

Ing. Petr Klimeš, EUROVIA CS, a.s., závod Řevnice

Železniční estakáda přes Masarykovo nádraží je největší mostní objekt stavby Nové spojení. Stavba byla realizována sdružením firem Skanska ŽS a.s., SSŽ a.s. (nyní EUROVIA CS, a.s.), Metrostav a.s. a Subterra a.s., dodavatelem mostu bylo SSŽ a.s. (nyní EUROVIA CS, a.s.), závod Řevnice. Projektantem mostu byl SUDOP PRAHA a.s., Ing. Štěrba a Ing. Šafář. Vzhledem ke složitosti objektu bylo během přípravy stavby rozhodnuto o podrobném monitorování. Záměrem článku je popsat současný stav monitorování konstrukce a předložit poslední výsledky.

Monitorování

Monitorování se soustředilo na následující oblasti důležité pro výstavbu a funkci mostní konstrukce.

1) Měření teploty betonu. Měření sloužilo k ověření vývoje hydratačního tepla během betonáže. Měření bylo vyhodnoceno a podrobně popsáno v předchozích publikacích.

2) Měření posunů ložisek. Měření nadále probíhají. Měření umožňuje získat cenné informace o krátkodobých posunech v ložiscích i o dlouhodobém chování konstrukce. Měření bude nadále vyhodnocováno.

3) Měření lokálních poměrných deformací a následné odvození změn napjatosti v průřezu. Z konstrukčního hlediska je estakáda velmi zajímavá. Šířka konstrukce i zatížení od čtyř kolejí jsou u železničního mostu ojedinělé i ve světovém měřítku. Rovněž provedení některých detailů, statický systém, spolupůsobení v příčném řezu a zapojení prefabrikátů do konstrukčního systému bylo již během návrhu předmětem zájmu odporové veřejnosti, vyhodnocení napjatosti v průřezu může přinést cenné výsledky. Vyhodnocení výsledků je poměrně náročné, vyžaduje jejich detailní rozbor v návaznosti na podrobný hmg stavebních prací i těsnou spolupráci s projektantem – statikem mostu.

4) Měření namáhání přepážky. Mostní přepážka se provádí pouze u velmi malé části železničních mostů, kde je s ohledem na velkou délku mostu obava z ředění šterkového lože. Důsledkem toho je nedostatek údajů pro návrh i nedostatek údajů o skutečném chování konstrukcí. Naneštěstí zde měření nebylo doplněno o původně uvažované měření přímo na koleji. Ta nebyla dodávkou dodavatele mostu a do programu se nepodařilo zapojit další organizace.

5) Měření změny sil v kabelech kotvící mostní konstrukci do opěry O1. Toto kotvení do konstrukce opěry nahrazuje pevné ložisko, které vzhledem k velikostem vodorovných sil nebylo možné na této mostní konstrukci realizovat. Výstup z prstencových dynamometrů pod kotevními objímkami je prezentována na obr. 7.

Stávající stav

Dne 19.11.2009 proběhla pracovní schůzka za účasti projektantů mostu, zpracovatele měření a dodavatele mostu. Bylo konstatováno, že měření zajištěná na základě objednávky dodavatele mostu doposud probíhají. Kloknerův ústav, ČVUT v Praze, shromáždil velké množství údajů, měřicí systém je nadále funkční.

Byla předložena řada nových výsledků. Z předběžného posouzení lze usuzovat, že zjištěné výsledky vykazují dobrou shodu s předpoklady. Je však zřejmé, že podrobná analýza je časově velmi náročná.

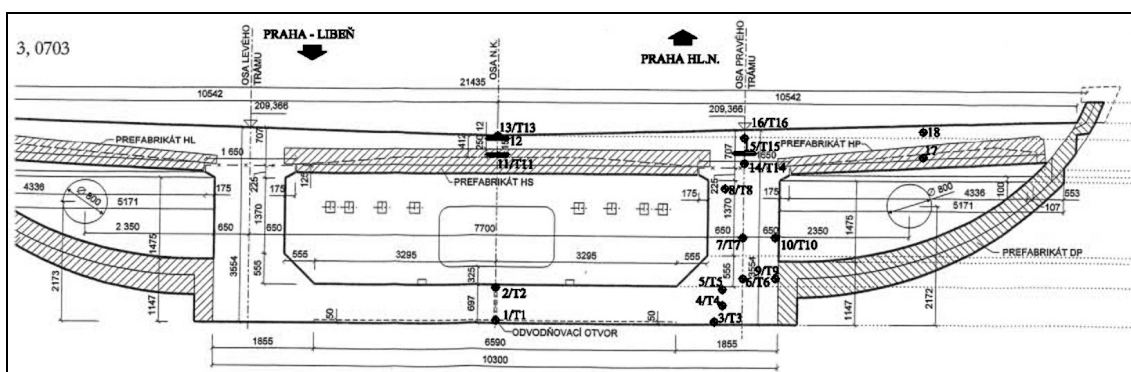
Vyhodnocení výsledků nebylo předmětem schůzky, navíc vyhodnocení provozu na mostě vyžaduje delší časové období.

Záměrem schůzky bylo domluvit na jaké údaje (z naměřených dat) je potřeba se zaměřit, jedná se především o časy, kdy docházelo ke změnám systému konstrukce, ke změnám zatížení apod. Je nutno sledovat nejenom dlouhodobé účinky, zajímavé jsou i krátkodobé změny, např. u ložisek apod.

Popis konstrukce

Estakáda je navržena jako předpjatá spojitá konstrukce o dvanácti polích. Rozpětí polí je $39,875 + 34,877 + 9 \times 37,000 + 31,500$ m. Celková délka mostu je 443 m. Šířka mostu umožňuje převedení čtyř kolejí, u stanice Praha – hlavní nádraží se navíc rozšiřuje pro kolejové zhlaví. Šířka konstrukce je tedy značná, v nerozšířené části je šířka horní desky 22 m. Konstrukce je podélně předpjatá. Příčně je předpjata tyčemi (dolní deska) a kabely (horní deska).

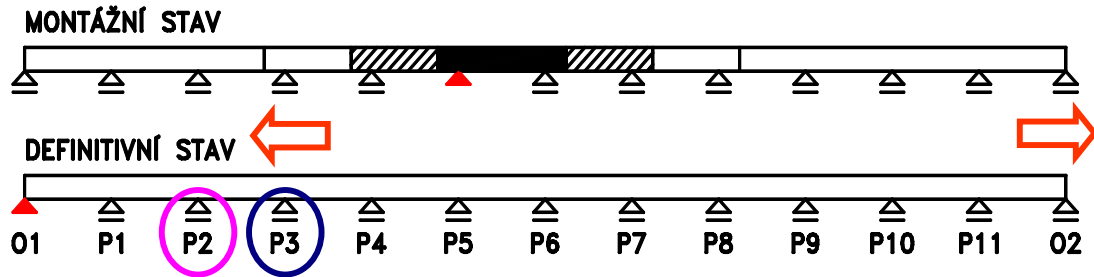
U uprostřed pole je výška průřezu 3,200 m, u pilířů se zvyšuje náběhy až na 3,700 m. Na obr. 1 je znázorněn charakteristický příčný řez mostní konstrukce. Průřez je tříkomorový. Nosná konstrukce je kombinací monolitu a prefabrikátů. Prefabrikovanými částmi jsou boční segmenty průřezu a prefabrikáty horní desky komory, které jsou spřažené s její monolitickou částí. Tloušťky monolitických stěn komorového průřezu jsou 1,300 m (viz obr. 1) a tloušťka masivního betonového stěnového příčnicku nad pilíři je 2,520 m. Dolní monolitická deska komory je proměnné tloušťky od 363 do 572 mm. Horní deska je prefa-monolitická proměnné tloušťky.



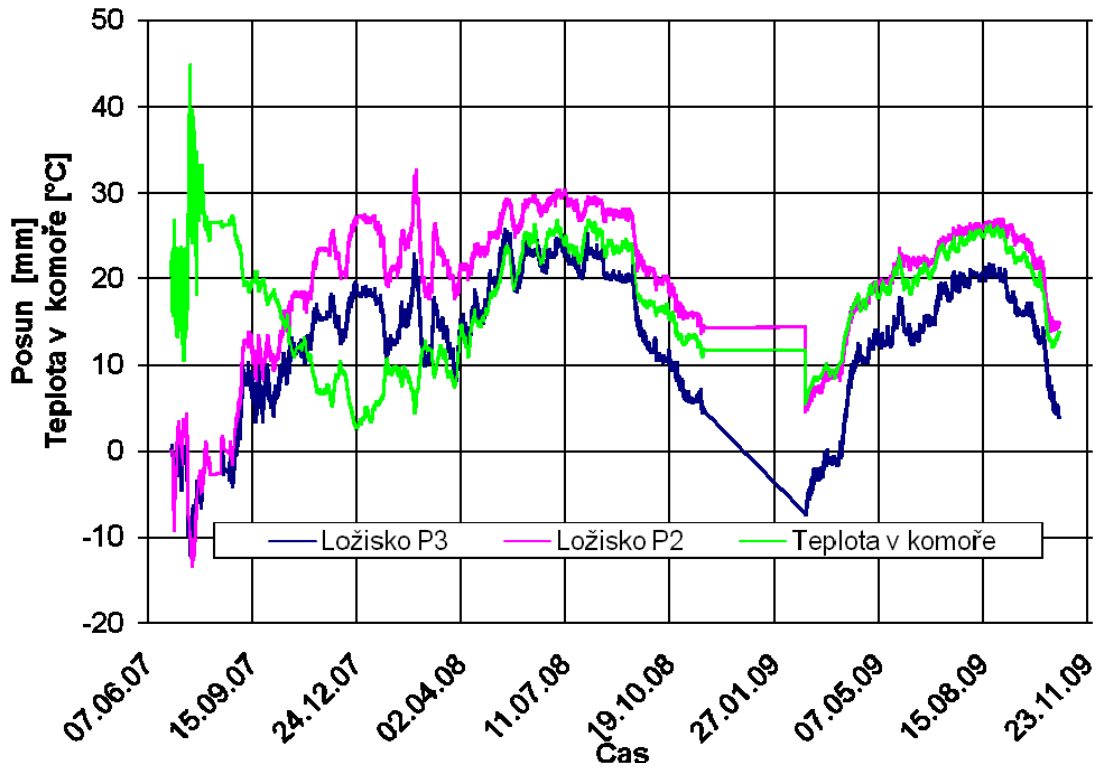
Obr. 1 Příčný řez nosnou konstrukcí mostu

Posuny ložisek

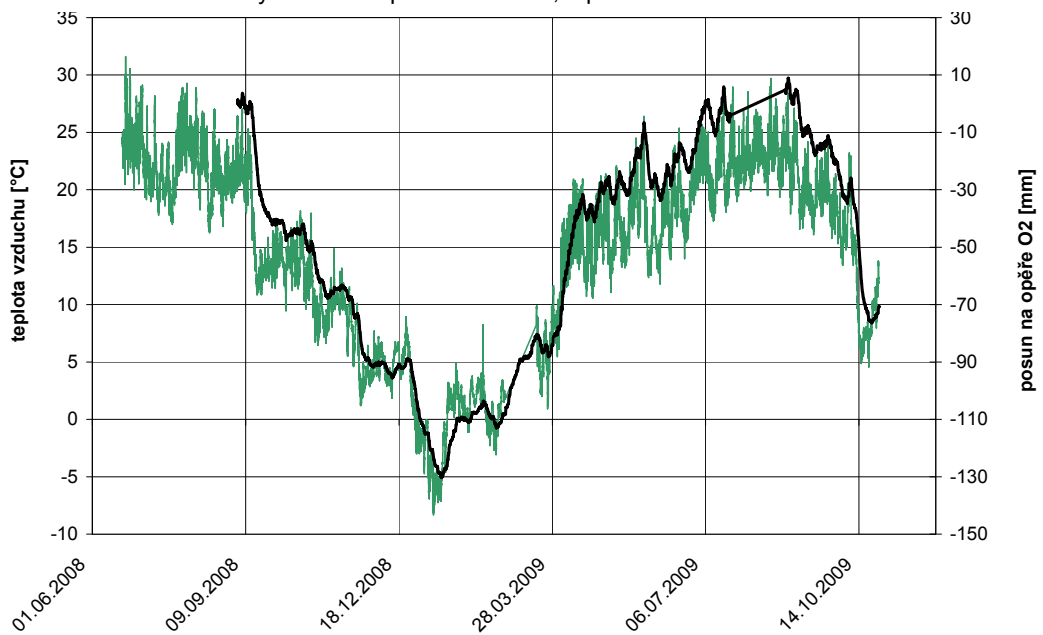
V montážních stavech bylo pevné ložisko umístěno na pilíři P5, viz obr. 7. V definitivním stavu je pevná podpora na opěře O1. V definitivním stavu je tedy dilatační úsek roven délce nosné konstrukce mostu, viz schéma na obr. 2.



Obr. 2 Podélné schéma mostu, označení pilířů a opěr



Obr. 3 Posuny ložisek na pilířích P2 a P3, teplota vzduchu v komoře mostu.



Obr. 4 Teplota vzduchu (zelená křivka) v dilatační spáře a posun ložiska na opěře O2

Vodorovné posunu ložisek v podélném směru mostu byly sledovány na pilířích P2, P3 a P9, P10. Koncem léta 2008 byl na opěře O2 osazen snímač pro měření dilatačních pohybů v dilatační spáře mostu nad opěrou O2. Kladné znaménko posunu je vždy ve směru staničení mostu, tj. směrem ke stanici Praha – Libeň.

Na obr. 3 je graf s naměřenými hodnotami posunů ložisek na pilířích P2 a P3 spolu s teplotou vzduchu v komoře. Je velmi patrná změna umístění pevného ložiska v březnu 2008, kdy došlo k otočení znaménka posunu od teplotní dilatace mostní konstrukce.

Posuny na ložisku P2 a P3 také po zhotovení šterkového lože vykazují menší rozkmity hodnot způsobených krátkodobými denními cykly, protože na horní povrch konstrukce nepůsobí přímé sluneční záření.

Posuny na opěře O2, viz graf na obr. 4, jsou monitorovány přibližně 1,5 roku a rozdíl minimální a maximální hodnoty posunu je za toto období menší než 40 mm.

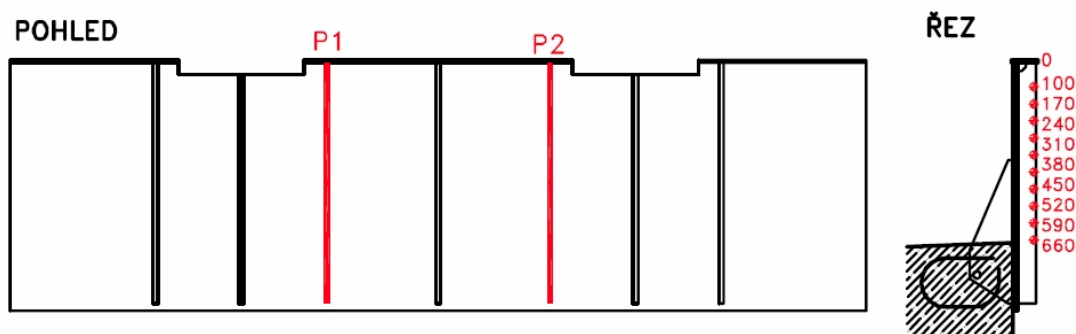
Tenzometrická měření mostní přepážky

Na mostě je průběžné kolejové lože, ale v dilatační spáře nad opěrou O2 je v každé koleji osazena ocelová mostní přepážka na nosné konstrukci mostu i na opěře a kolejové lože je přerušeno. Je tak zabráněno ředění šterku nad dilatační spárou.

Vzhledem k ne zcela jasnému zatížení mostní přepážky je na jedné z nich prováděno tenzometrické měření. Schéma mostní přepážky s umístěnými tenzometry je zobrazeno na obr. 5. Tenzometry jsou umístěny na 2 výztuhách mostní přepážky u volného okraje výztuh označených na obr. 5 symboly P1 a P2 a číselným údajem, který je vzdáleností tenzometry od koruny přepážky. Kompenzace teploty se týká jen volné deformace, od které je nulový stav napětí.

Vlastní monitorování tenzometrické přepážky probíhá více jak 1 rok a výsledky jsou pro ilustraci zobrazeny v grafu na obr. 6. Nelze si nevšimnout určité souvislosti výstupů z tenzometrů s průběhem teploty a posunu ložiska na opěře O2, které jsou na obr. 4.

Extrémní hodnota naměřeného napětí na přepážce za sledované období je menší než 80 MPa.

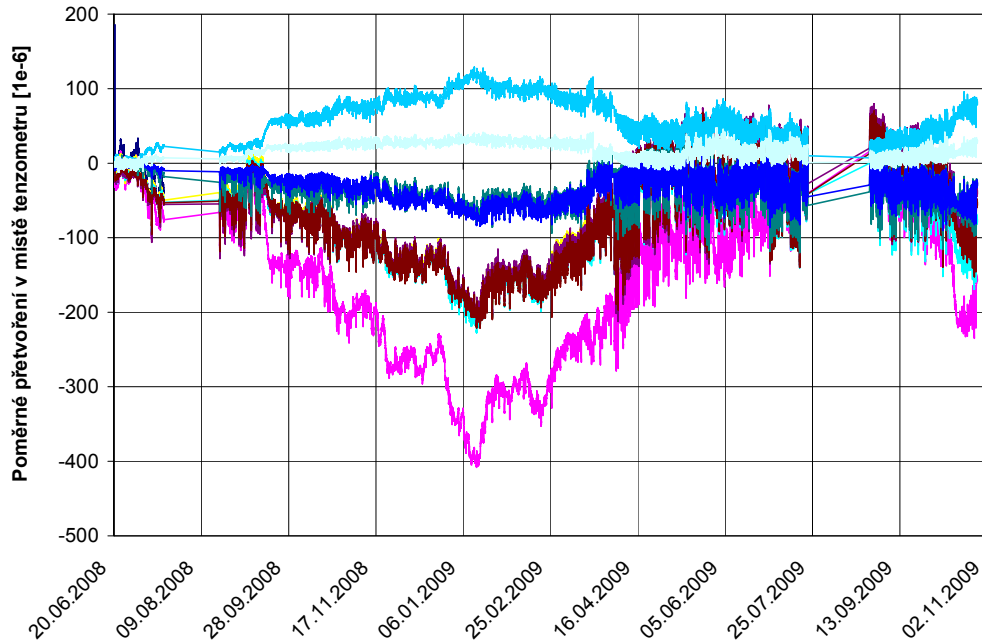


Obr. 5 Schéma mostní přepážky a měřené body s tenzometry (číselný údaj je svislá vzdálenost od koruny mostní přepážky)

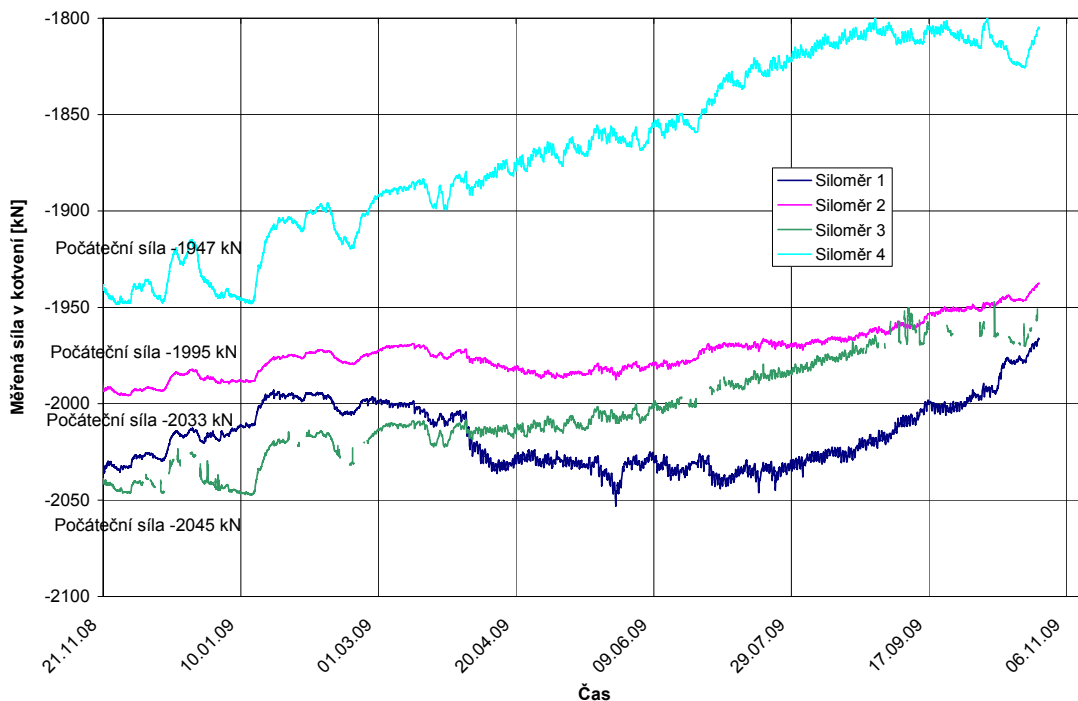
Tenzometrická měření betonových konstrukcí

Pro měření poměrných deformací v betonu lze použít odporové tenzometry nebo strunové tenzometry. Posledním tendrem v měření betonových konstrukcí rozvíjených v Kloknerově ústavu jsou optovláknové snímače, které lze zkonstruovat pro odměrnou délku poměrného přetvoření od 0,5 m do 10 m. Optovláknové snímače mohou pracovat na různých fyzikálních principech. Jedním z nich je nízkokoherenční interferometrie, kdy vlastní snímač je v podstatě interferometr, který obsahuje

referenční optické vlákno (pro kompenzaci vlivu teploty na optické vlákno) a vlastní odměrné optické vlákno, které je pevně spojeno s konstrukcí. Pro zjištění rozdílu délek vláken ve snímači slouží druhý interferometr v měřicím přístroji. Výhodou optovláknových snímačů je, že vlastní optický přenos informace o fyzikální veličině není rušen elektromagnetickými jevy.



Obr. 6 Poměrné deformace naměřené tenzometry na výztuze přepážky P1 v čase



Obr. 7 Průběh hodnoty síly v kotvení mostu na opěře O1 – měření je provádělo na 4 kabelech z 12

Závěr

System kontinuálního monitorování je plně funkční a zajišťuje průběžně značné množství vysoce unikátních informací o skutečném chování jak stavu mostu tak i jeho jednotlivých konstrukčních prvků, jako je např. přepážka. Dosavadní průběh monitorování a získané výsledky korespondují s předpoklady o chování konstrukce. System je způsobilý pro získávání dat za plného provozu na mostě a je možné provést cílené zhuštění měření zvolené veličiny. Za provedené období měření cca 1,5 -2,5 roku, dle typu sledované veličiny, byl získán velký objem dat, která jsou průběžně analyzována. Současně jsou rozebírány další možnosti jejich vyhodnocení s ohledem na přínos k návrhu a sledování životnosti obdobného typů konstrukcí.

Je zřejmé, že obdobná měření jdou nad rámec výstavby mostu a běžného sledování při výstavbě. Jejich hlavní význam spočívá zejména v přínosu pro další navrhování železničních mostů a také dlouhodobé sledování stavu a odhadu životnosti konstrukcí. V tomto směru se např. jeví jako vysoce účinná nová progresivní technologie optických vláknových snímačů, která je k dispozici až nyní a bohužel nikoli v době výstavby tohoto konkrétního mostu.

Tento příspěvek byl podpořen projektem GA ČR P104/10/2359.

Literatura

- [1] Vokáč, M. - Kolísko, J. - Bouška, P. - Klimeš, P.: Sledování vývoje teploty, změn deformací a napjatosti betonu během betonáže masivních konstrukcí. In 13. betonářské dny 2006. Praha: ČBS - Česká betonářská společnost ČSSI, 2006, s. 235-241. ISBN 80-903807-2-7.
- [2] Vokáč, M. - Kolísko, J.: Měření a výpočtový model vývoje teplot v prvcích masivní betonové mostní konstrukce vlivem hydratačního tepla. In Betonářské dny 2007. Praha: ČBS - Česká betonářská společnost ČSSI, 2007, s. 130-135. ISBN 978-80-87158-04-3.
- [3] Vokáč, M. - Kolísko, J. - Bouška, P.: Monitorování železniční estakády přes Masarykovo nádraží během výstavby. In Experimental Stress Analysis 2007. 45th International Conference. Extended abstracts. Plzeň: Západočeská universita, 2007, s. 117-118. ISBN 978-80-7043-552-6. (Full text on CD)
- [4] Vokáč, M. - Klimeš, P. - Kolísko, J.: Monitorování vybraných veličin při stavbě mostní estakády přes Masarykovo nádraží. In Mosty 2009. Brno: Sekurkon, 2009, s. 320-324. ISBN 978-80-86604-43-5.
- [5] Vokáč, M. - Klimeš, P. - Kolísko, J.: Měření na železniční estakádě přes Masarykovo nádraží v Praze. In Zpravodaj SŽDC 4/2009. Praha: SŽDC, 2009, s. 3-11.