České vysoké učení technické v Praze
Fakulta stavební

Czech Technical University in Prague
Faculty of Civil Engineering

Ing. Rudolf Urban, Ph.D.

Krátkodobé a dlouhodobé sledování průhybu mostních konstrukcí

Short-term and long-term monitoring deflection of bridge constructions

Summary

The habilitation lecture deals with the determination of deflection of the bridge structure, or deflection line. Deflection of individual bridge fields (especially for prestressed concrete structures) has typically a long-term increase and is therefore an important indicator to determine the life of the structure.

The deflection line is determined by fitting a series of discrete points, which are necessary to determine in a very short time with a sufficient accuracy.

A technology has been developed for these purposes, which uses trigonometric leveling in combination with the one-man system. One man system partly eliminates the disruptive effects during measurement. The technology includes a time sample method, which allows to do a correction of the movement of the structure due to the temperature.

The practical use of this technology is demonstrated by the short and long term projects of bridge measurements. As an example of short term measurement the lecture includes bridges in Mělník and Brzotice, which are distinguished by its size or special structure. Long-term monitoring is presented on the bridge of General Chábera in Litoměřice, which has the largest main field in Czech Republic.

The lecture also demonstrates the procedure for determining the optimum time of geodetic bridge monitoring, where the big issue is an insolation and heat transfer in construction.

.

Souhrn

Habilitační přednáška se zabývá určováním průhybu mostní konstrukce, respektive průhybovou čárou. Průhyb jednotlivých mostních polí (zvláště u předpjatých betonových konstrukcí) typicky vykazuje dlouhodobý nárůst a je proto významný ukazatel pro stanovení životnosti konstrukce.

Průhybová čára je určena proložením řady diskrétních bodů, které je nutné určovat ve velmi rychlém čase v dostatečné přesnosti.

Pro tyto potřeby byla vyvinuta technologie, která využívá trigonometrickou nivelaci v kombinaci s one-man systémem, což částečně eliminuje rušivé vlivy během provozu. Součástí technologie je metoda časového řezu, která umožnuje korekci pohybu konstrukce vlivem teploty.

Praktické využití technologie je demonstrováno na krátkodobých i dlouhodobých projektech měření mostních konstrukcí. Z krátkodobých jsou v přednášce uvedeny mosty v Mělníku a Brzoticích, které jsou význačné svou velikostí či konstrukcí. Příklad dlouhodobého sledování je most Generála Chábery u Litoměřic, jehož hlavní pole je největší v ČR.

Součástí přednášky je také demonstrace postupu pro určení optimálního času geodetického sledování mostní tak, aby průhybová čára byla minimálně zkreslena zejména osluněním či ohřevem konstrukce a zvláště jejím postupným prostupem konstrukcí.

Klíčová slova

Mostní konstrukce, průhybová čára, metoda časového řezu.

Keywords

Bridge constructions, deflection line, time sample method.

Obsah

1 Úvod 6
2 Technologie zaměřování průhybové čáry 6
2.1 Trigonometrická metoda 6
2.2 Rozbor přesnosti měření 7
2.3 Refrakce 8
2.4 Určení průhybové křivky 9
3 Krátkodobé sledování mostní konstrukce 10
3.1 Metoda časového řezu 11
3.2 Experimentální měření 11
4 Sledování mostu Generála Chábery v Litoměřicích 14
4.1 Určení optimální denní doby pro měření mostu 15
4.2 Dlouhodobý vývoj průhybové čáry 17
5 Závěr 20
6 Literatura 20
7 Autor 21

1 Úvod

Mostní konstrukce jsou v řadě případů pravidelně monitorovány k predikci možných defektů a tedy k zajištění bezpečnosti. Dlouhodobé deformace jsou měřeny ve fixních bodech na konstrukci. Tyto body se stabilizují nad podporami pro analýzu jejich dlouhodobého sedání a v mezilehlých bodech krajních a středního pole pro sledování dlouhodobých deformací způsobených jak reologickými projevy betonu (dotvarováním a smršťováním), tak jinými možnými účinky (např. úbytky předpětí, apod.).

Výsledkem takového měření je časový vývoj skutečného tvaru konstrukce zahrnující jak počáteční tvar, tak i průhybovou čáru v analyzovaných bodech. Metoda měření je typicky geometrická nivelace ze středu, kterou lze detekovat vertikální posuny v řádech desetin milimetrů, ovšem pouze za předpokladu malého počtu měřených bodů.

Pro zjištění přesného tvaru průhybové čáry bylo navrženo detailní zaměření deformovaného tvaru nosné konstrukce ve velkém počtu bodů, které je založeno na trigonometrické metodě. Možné zjištěné „anomálie“ v průběhu průhybové čáry mohou ukazovat na poruchy konstrukce způsobující enormní dlouhodobý nárůst průhybů této mostní konstrukce.

2 Technologie zaměřování průhybové čáry

Základním principem technologie je speciálně doplněná trigonometrická metoda, kde přístroj pro měření je postaven přímo na konstrukci. Pro měření je v tomto případě využita robotizovaná totální stanice s automatickým cílením na všesměrový hranol umístěný na výtyčce se speciálním spodním nástavcem pro měření z nivelačních značek. Každý bod průhybové čáry je měřen ve dvou polohách přístroje pro potlačení osových chyb, kde každá poloha je měřena s dvojím cílením a odečtením pro eliminaci nepředvídaných otřesů konstrukce vlivem provozu. Měření je zpravidla výškově připojeno na bod základní vytyčovací sítě vybudované pro stavbu mostu. Technologii přesné nivelace, která by určila výšku bodů s vyšší přesností, není možné použít z důvodu mnohonásobně vyšší doby zaměření, což by způsobilo výrazně větší pohyb konstrukce vlivem změny teploty a tím i výrazně větší nepřesnosti měření.

2.1 Trigonometrická metoda

Trigonometrická metoda je využívána pro určování svislých posunů v běžné praxi prostřednictvím prostorové polární metody, kde je měřena šikmá délka, vodorovný a zenitový úhel. Svislý posun se určuje na základě změn zenitových úhlů v jednotlivých etapách při známé vodorovné vzdálenosti ze stanoviska na pozorovaný bod. Metoda trigonometrické nivelace je vhodná zvláště v místech s velkým převýšením a tam, kde je měření časově omezené (objekty, které mění svůj tvar v krátkém časovém

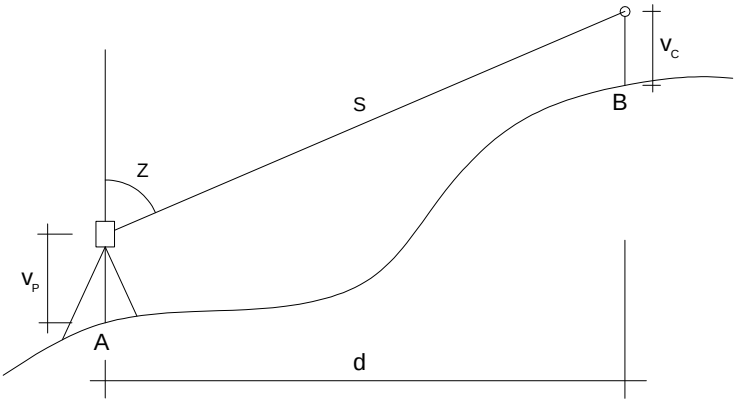
horizontu např. vlivem oslunění). Výška pozorovaného bodu je tedy dle Obr. 1 vyjádřena základním vztahem:

$$H_B = H_A + v_p + s.cos\ z - v_c + o_z\ . \qquad (1)$$

Kde H_A je výška stanoviska, H_B je výška pozorovaného bodu, s je šikmá vzdálenost, z je zenitový úhel, v_p je výška přístroje, v_c je výška cíle a o_z je oprava z vlivu zakřivení Země.

Pro správné určení výšky bodu B je tedy nutné opravit vypočtené převýšení o vliv zakřivení Země, který je závislý na poloměru Země R a vodorovné vzdálenosti d takto:

$$o_z = \frac{d^2}{2R} \qquad (2)$$



Obr. 1 Metoda trigonometrické nivelace

2.2 Rozbor přesnosti měření

Hlavní zdroje možných chyb měření jsou zejména:

a) Přesnost přímo měřených veličin
b) Přesnost signalizace bodu výtyčkou s všesměrovým hranolem
c) Přesnost připojení na vztažný bod
d) Vliv prostředí na podrobné měření, vliv prostředí na připojení.

Teoretický rozbor přesnosti pro přístroj s úhlovou přesností 0,3 mgon, délkovou přesností 1 mm + 1 ppm, vzdálenost připojení maximálně

60 m a maximální vzdálenost měření stanovisko – podrobný bod 300 m lze odhadnout takto:

a) Ze směrodatné odchylky měření zenitového úhlu 0,0003 gon na vzdálenost 300 m lze určit, že směrodatná odchylka určení převýšení stanovisko – měřený bod činí 1,4 mm.

b) Vliv nesvislosti výtyčky lze zanedbat. Při odchylce od svislice o 1 gon je přesnost stále dostatečná, neboť běžná krabicová libela na výtyčce má citlivost 3’ a při měření je pečlivě urovnávána. Výška výtyčky není v průběhu měření měněna a je použita jak při signalizaci podrobných bodů, tak při určení připojení.

c) Přesnost připojení je dána přesností trigonometrického měření převýšení na vzdálenost 60 m, tj. 0,28 mm. Hranol pro připojení je během měření trvale umístěn na stativu, převýšení hranol – připojovací bod je na krátkou vzdálenost cca 10 m určeno s přesností 0,4 mm. Výslednou přesnost připojení lze popsat směrodatnou odchylkou 0,5 mm.

d) Vliv prostředí na měření je vždy problematické postihnout. Měření jsou prováděna zpravidla na podzim a na jaře v nočních hodinách po západu slunce, kdy nedochází k oslunění a zároveň není velký rozdíl teploty vzduchu a konstrukce. (Před měřením je vhodné sledovat teplotu konstrukce a začít měření až v okamžiku, kdy se teplota konstrukce mění méně než 1°C/hod). Vzhledem k tomu, že tento vliv působí systematicky, pro jistotu zajištění dosažené přesnosti je do rozboru zaveden velikostí 1 mm (souhrnně vliv na připojení a podrobné měření).

Souhrnem jednotlivých vlivů je úplná chyba popisující přesnost určení výšky sledovaného bodu o velikosti 1,8 mm, tj. je splněna požadovaná přesnost 2 mm.

2.3 Refrakce

Při trigonometrické nivelaci je důležitým vlivem na přesnost metody refrakce, která se projevuje zejména při realizaci záměry blízko nad terénem či jiným objektem, kde se předpokládá větší hodnota teplotního gradientu. Vliv refrakce je v nepříznivých podmínkách natolik závažný, že může degradovat zásadním způsobem přesnost měření. Dle [1] lze pro odhad mezního vlivu refrakce použít přibližný vzorec profesora Böhma využívající aproximaci dráhy svazku paprsků kružnicí:

$$\Delta h = 4{,}65 \cdot 10^{-7} \cdot s^2 \cdot \sin(z) \cdot \left(0{,}034 + \frac{dT}{dH}\right). \quad (3)$$

Kde Δh je změna měřeného převýšení způsobená refrakcí a dT/dH je změna teploty v závislosti na změně výšky (teplotní gradient).

V případě teplých a slunečných dní zvláště u měření konaných v poledne a odpoledne a ohřevu vzduchu nad povrchem lze očekávat velikost teplotního gradientu v řádu jednotek °C/m podle materiálu. Odhady vlivu refrakce pro několik velikostí teplotního gradientu a několik délek jsou uvedeny v Tab. 1. Zde je zřejmé, že i při malém teplotním gradientu má u délek přes sto metrů refrakce takový vliv, že naprosto degraduje přesnost metody.

Tab. 1 Vliv refrakce na měřené převýšení.

Vliv refrakce [m]		**Délka [m]**			
		10	50	100	200
Teplotní gradient $[\frac{°C}{m}]$	1	0,0000	0,0012	0,0048	0,0192
	2	0,0001	0,0024	0,0094	0,0377
	3	0,0001	0,0035	0,0141	0,0563
	4	0,0002	0,0047	0,0187	0,0748
	5	0,0002	0,0059	0,0234	0,0936

Pro přesné měření metodou trigonometrické nivelace je vhodné volit období, kdy je teplotní gradient minimální. Etapové měření je tedy zpravidla plánováno v období roku, kdy nedochází k výraznému oslunění a teploty během dne i noci jsou podobné (jaro, podzim). Pokud se provádí měření v zimě nebo v létě, je z pohledu refrakce lépe měřit v noci po vychladnutí konstrukce. Etapové měření obecně se většinou plánuje za pokud možno stejných podmínek během dne i roku, aby byl vliv refrakce minimální.

Refrakce je velmi problematická, a pokud nejsou známá dostatečně přesná data k jejímu popsání, je vhodnější ji do dalších výpočtů nezavádět. Z [2] je také patrné, že i při známých hodnotách teplotního gradientu nemusí odpovídat vypočtený vliv refrakce skutečnosti, kdy extrémních hodnot dochází zejména při rozednění a při soumraku.

2.4 Určení průhybové křivky

Přibližný typ křivky je znám, jedná se o polynom desátého stupně ve tvaru:

$$H_i = a_0 + a_1 s_i + a_2 s_i^{\,2} + a_3 s_i^{\,3} + \ldots + a_{10} s_i^{\,10}, \qquad (4)$$

kde s_i a H_i jsou staničení a výška i-tého bodu.

Proložení lze provést jednoduše metodou nejmenších čtverců, matice plánu experimentu $\boldsymbol{J}$ a vektor pravých stran $\boldsymbol{l}$ jsou definovány:

$$\boldsymbol{J}(i,j) = s_i^{\,j-1}; \quad \boldsymbol{l}(i) = H_i, \qquad (5)$$

kde j je 1,2,3, …, 11 a i je 1,2, … n, kde n je počet měřených bodů.

Vektor neznámých $\boldsymbol{a}$:

$$\mathrm{a} = \begin{pmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \\ \vdots \\ a_{10} \end{pmatrix}. \qquad (6)$$

Pro výpočet neznámých koeficientů a_0 až a_{10} se použije vzorec:

$$\boldsymbol{a} = \left(\boldsymbol{J}^T \boldsymbol{J}\right)^{-1} \boldsymbol{J}^T \boldsymbol{l}. \qquad (7)$$

Vektor oprav $\boldsymbol{v}$ přiřazovaných k výškám H se vypočítá takto:

$$\boldsymbol{v} = \boldsymbol{J}\boldsymbol{a} + \boldsymbol{l}. \qquad (8)$$

3 Krátkodobé sledování mostní konstrukce

Krátkodobé sledování mostní konstrukce je specifická měřická činnost, kdy je z nějakých objektivních příčin nutné určovat průhybovou čáru konstrukce v méně vhodných denních či ročních podmínkách. Na konstrukci v těchto případech působí mnoho negativních vlivů, které znehodnocují výsledky a zejména porovnání jednotlivých etap. Mezi hlavní vlivy lze uvést pohyb konstrukce vlivem teploty, oslunění, povětrnostních podmínek a zatížení provozem.

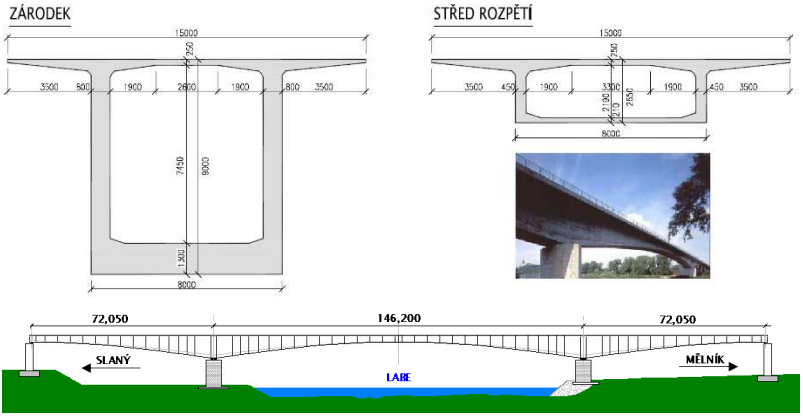
3.1 Metoda časového řezu

Metoda časového řezu byla vyvinuta zejména pro určování průhybové čáry z velkého množství bodů. Určení výšek velkého počtu bodů není v současné době technologicky možné provést se směrodatnou odchylkou cca 1 mm – 2 mm v tak krátkém čase, aby v době mezi měřením prvního a posledního bodu nedošlo ke změně tvaru konstrukce vlivem změny teploty.

Při krátkodobém sledování mostu v Mělníku bylo pro minimalizaci nežádoucích změn měření provedeno nejprve v nočních hodinách (22:30 hod – 4:00 hod), přesto došlo ke změně ve vertikálním směru o hodnoty přibližně 3 mm. Proto byla po provedení měření přibližně 1/5 bodů (každý pátý) zaměřena znovu kontrolně ve výrazně kratším čase (cca 45 min). Zde změny mezi určením výšky prvního a posledního bodu lze považovat za významně menší a takto určený vzorek bodů využít pro určení křivky oprav, pomocí které lze uvést měřené body do správné polohy a potlačit systematické chyby.

3.2 Experimentální měření

První krátkodobé sledování bylo prováděno na mostní konstrukci v Mělníku (Obr. 2). Jedná se o most, u kterého ani po 15 letech od uvedení do provozu nemá nárůst průhybů ustalující trend. Bylo provedeno přesné zaměření tvaru deformované konstrukce s cílem identifikovat možná místa jejích poruch.

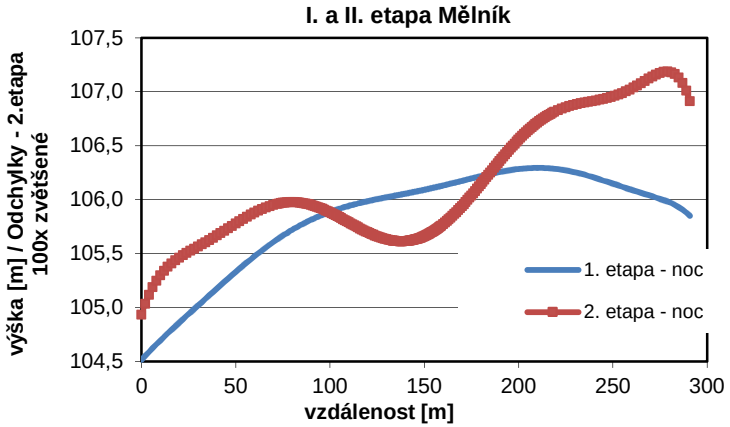


Obr. 2 Most v Mělníku

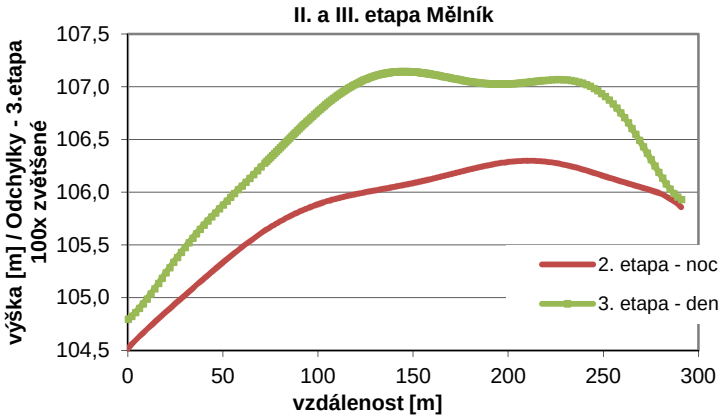
Sledování bylo provedeno v třech etapách, kdy první dvě byly měřeny v nočních hodinách. První etapa (březen 2008) při průměrné teplotě

10 °C a druhá (červenec 2008) při 20°C. Třetí etapa byla měřena den po druhé etapě okolo poledne, kdy dosahovala teplota vzduchu až 32°C a teplota mostu byla okolo 45°C. Na všechny etapy musela být aplikována metoda časového řezu, neboť zejména při třetí etapě byl patrný velký pohyb konstrukce vlivem prostupujícího tepla.

Grafické znázornění výsledků lze vidět na Obr. 3 a Obr. 4. Na Obr. 3 je porovnána I. a II. etapa pro studii vývoje konstrukce v delším časovém horizontu (3měsíce), jež je pravděpodobně ovlivněna teplotou konstrukce. Na Obr. 4 je porovnána II. a III. etapa pro studii vývoje konstrukce vlivem teplotních změn.



Obr. 3 Rozdíly mezi I. a II. etapou (100 x zvětšeno)

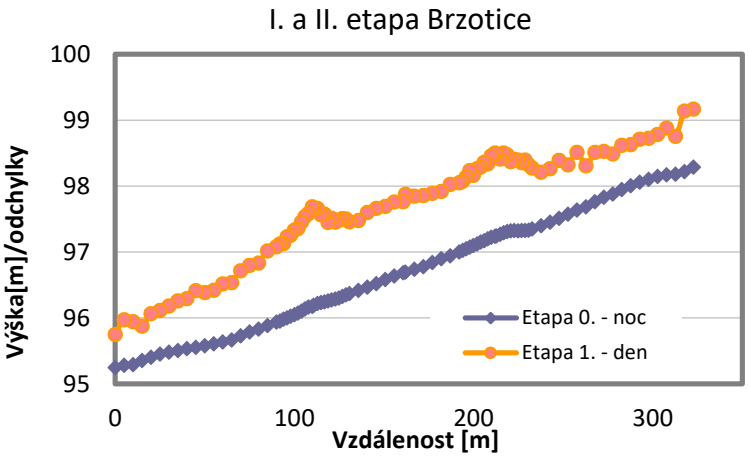


Obr. 4 Rozdíly mezi II. a III. etapou (100 x zvětšeno)

Vzhledem k zajímavým výsledkům na mostě v Mělníku, byl dalším mostem pro sledování zvolen most v Brzoticích, který je specifický osazením dvou vnitřních kloubů v konstrukci. Délka mostu je 306 m a pilíře dosahují výšky až 65 m.

Obr. 5 Brzotice

Měření bylo provedeno ve dvou etapách v květnu 2009. Průměrná teplota přes den byla 25 °C a v noci 8°C. Porovnání etap je na Obr. 6, kde jsou patrné oba vnitřní klouby. Posun křivek je způsoben roztažností pilířů.

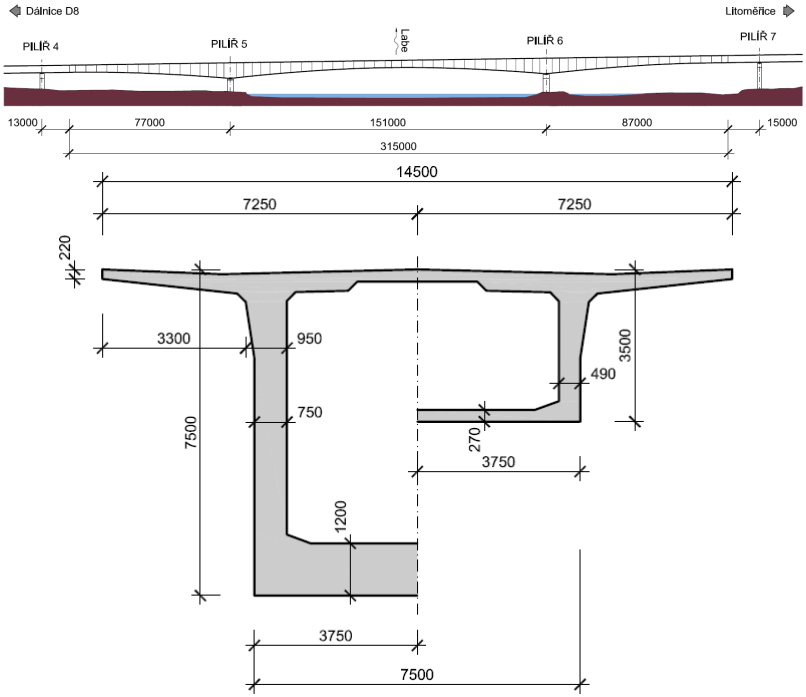


Obr. 6 Porovnání etap - Brzotice

4 Sledování mostu Generála Chábery v Litoměřicích

V prosinci roku 2009 byl slavnostně uveden do provozu nový most přes Labe v Litoměřicích. Realizační dokumentaci mostu zpracovala firma Pontex spol. s r.o., výstavbu provedlo sdružení firem Metrostav a.s. a SMP CZ, a.s.

Rozpětí hlavního pole 151 m je rekordní v České republice. Most generála Františka Chábery v Litoměřicích je součástí stavby „II/247 - přivaděč k průmyslové zóně Prosmyky“. Přemosťuje Labe mezi obcí Mlékojedy na levém břehu a městem Litoměřice ležícím na pravém břehu řeky. Nosnou konstrukci mostu tvoří spojitý komorový nosník o sedmi polích, jehož celková délka je 584,5 m. Rozpětí jednotlivých polí jsou 43 + 64 + 72 + 90 + 151 + 102 + 60 m.

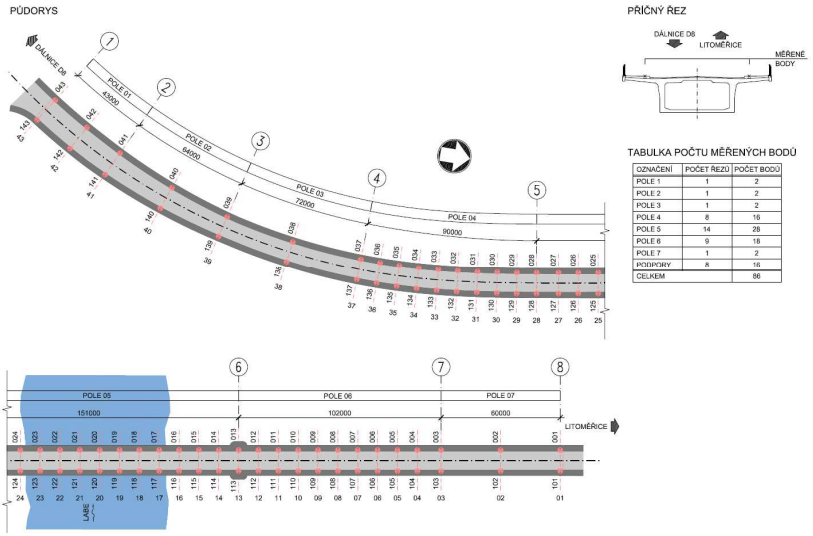


Obr. 7 Most Generála Chábery v Litoměřicích

Geodetická měření jsou prováděna za účelem etapového sledování výškových změn sledovaných bodů rozmístěných ve dvou podélných profilech po obou stranách mostní konstrukce - celkem 2x 43 bodů s označením 1 až 43 a 101 až 143 (Obr. 8). Sledované body jsou stabilizovány

kovovými nivelačními hřebovými značkami zalepenými do vrtaného otvoru tělesa chodníku. Stabilizace byla provedena realizátorem stavby po jejím dokončení.

K měření byla vzhledem ke značným vzdálenostem, požadované rychlosti a přesnosti měření (směrodatná odchylka určení výšky 2 mm) zvolena technologie trigonometrického určení výšek s úspěchem použitá při měřeních na obdobných mostních konstrukcích, jak je uvedeno např. v [3] nebo [4].

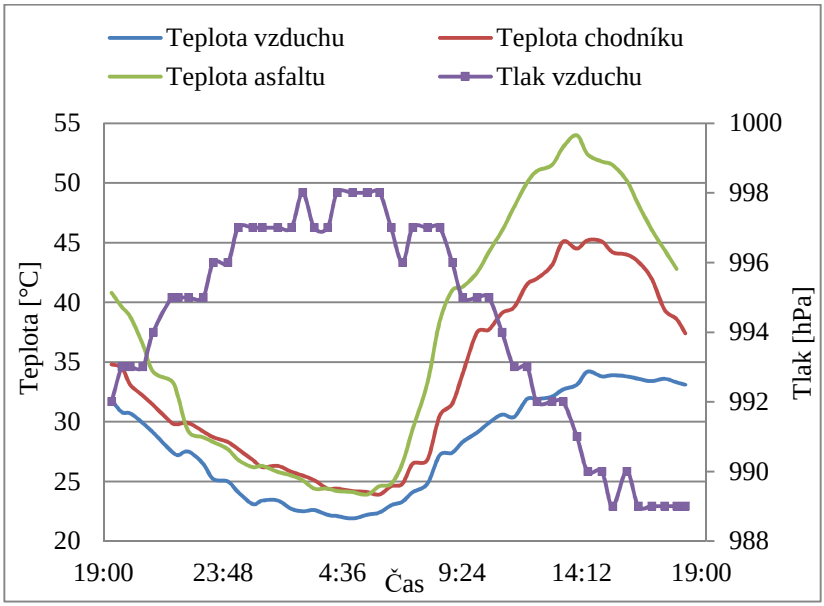


OZNAČENÍ	POČET ŘEZŮ	POČET BODŮ
POLE 1	1	2
POLE 2	1	2
POLE 3	1	2
POLE 4	8	16
POLE 5	14	28
POLE 6	9	18
POLE 7	1	2
PODPORY	8	16
CELKEM		86

Obr. 8 Rozmístění sledovaných bodů na konstrukci

4.1 Určení optimální denní doby pro měření mostu

Pro potřeby dlouhodobého sledování konstrukce byl navržen měřický experiment pro stanovení optimální doby pro měření při extrémních teplotních podmínkách. Jednalo se o celodenní měření, kdy byla průhybová čára v hlavním poli (pouze na jedné straně) určována každou hodinu. Začátek experimentu byl 19. června 2013 v 19:00 a konec 20. června v 18:00. teplotní údaje během experimentu jsou na Obr. 9, ze kterých je patrné, že teplota asfaltu na povrchu konstrukce dosahovala téměř 55°C při teplotě vzduchu okolo 35°C.

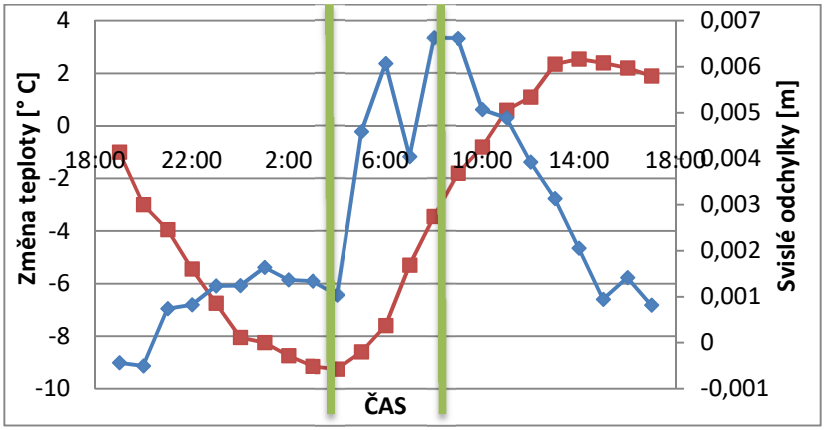


Obr. 9 Teplotní údaje během experimentu

Pro stanovení optimální doby měření je klíčová znalost rychlosti prostupu tepla konstrukcí pro zajištění stabilního stavu konstrukce. Samotný průhyb konstrukce je tedy závislý na teplotě, která nutně nemusí korelovat s teplotou atmosféry.

Z analýzy průhybů a teplotních údajů byl dle [5] vypočten soubor korelačních koeficientů, které udávají vztah teploty a průhybu v závislosti na čase (časové zpoždění průhybu a teploty je posouváno po 30 minutách). Výsledkem bylo, že maximální posun je asi o 5,5 hodiny opožděn za teplotním minimem vzduchu a o 5 hodin za teplotním minimem povrchu konstrukce. Na Obr. 10 je zobrazen vývoj průhybu bodu ve středu mostního pole (modře) a vývoj změn teploty vzduchu (červeně), kde je patrné, že jednotlivé extrémy obou křivek nejsou ve stejném časovém úseku.

Pro optimální určení průhybové čáry testované konstrukce lze stanovit dobu měření v nočních hodinách (od 22 hod do 4 hod), kde nefiguruje oslunění a vývoj změn průhybu je nejmenší. Běžně prováděná měření v praxi se bohužel provádějí dopoledne či odpoledne, což se vzhledem k uvedeným výsledkům ukázalo jako zcela nevhodné.



Obr. 10 Zpoždění průhybu konstrukce

4.2 Dlouhodobý vývoj průhybové čáry

Dlouhodobé sledování mostu Generála Chábery bylo započato zejména kvůli viditelné nerovnosti v hlavním poli konstrukce, která je dle zhotovitele způsobena smrštěním betonu (Obr. 11).

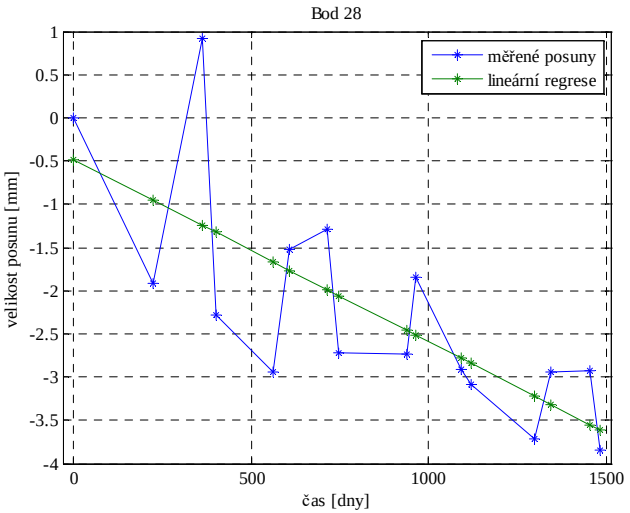
Obr. 11 Pohled na most Generála Chábery

První etapa sledování byla realizována ihned po dokončení mostu. Každý rok bylo poté měřeno čtyřikrát ročně (2 x na jaře a 2 x na podzim). Přehled etap s teplotními údaji do roku 2014 je uveden v Tab. 2.

Tab. 2 Etapy měření - Litoměřice

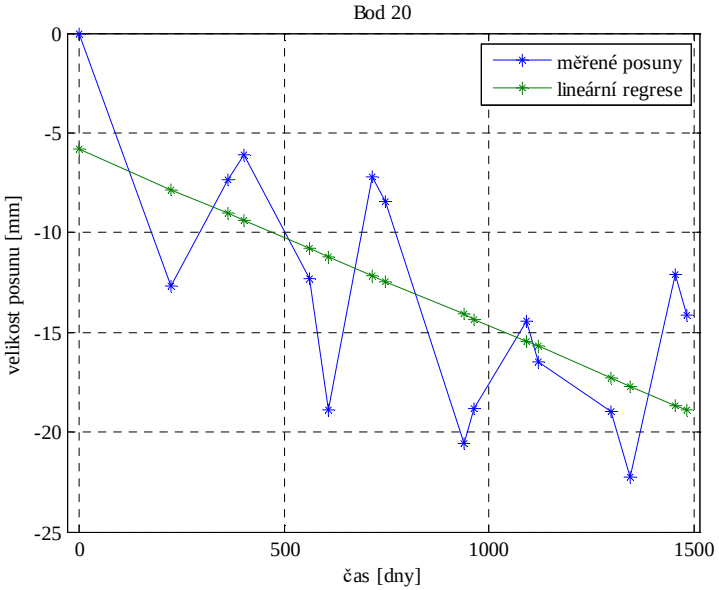
Datum	Etapa	Teplota [° C]	Datum	Etapa	Teplota [° C]
29. 9. 2010	0.	9	23. 4. 2013	8.	10
13. 5. 2011	1.	10	21. 5. 2013	9.	12
27. 9. 2011	2.	14	24. 9. 2013	10.	15
4. 11. 2011	3.	9	22. 10. 2013	11.	13
12. 4. 2012	4.	6	17. 4. 2014	12.	7
30. 5. 2012	5.	11	3. 6. 2014	13.	14
13. 9. 2012	6.	8	23. 9. 2014	14.	6
16. 10. 2012	7.	6	21. 10. 2014	15.	11

Jednotlivé etapy měření byly vždy prováděny v nočních hodinách a neměnná poloha konstrukce byla kontrolována před i po měření (přístroj byl umístěn přímo na mostovce a jeho relativní výška kontrolována na stabilní bod mimo most). Pokud konstrukce vykazovala výškové změny (větší, než 0,5 mm za hodinu) byl začátek měření odložen. Dlouhodobě se zkoumala závislost průhybů hlavního pole na teplotě a času. Vzhledem k tomu, že měření byla prováděna periodicky při podobné teplotě, závislost na teplotě je velmi malá. Jistá závislost se jeví v ročních obdobích, ale pro dlouhodobý vývoj průhybu není podstatná. Oproti tomu průhyby výrazně narůstají s časem, což demonstrují výsledné grafy na Obr. 12 a Obr. 13.



Obr. 12 Bod nad pilířem v průběhu času

Při analýze jednotlivých bodů na mostě byl vybrán bod 28, který se nachází nad pilířem a bod 20, který se nachází ve středu hlavního pole, kde se očekává největší nárůst průhybu. Na Obr. 12 jsou etapy pro bod nad pilířem vyneseny v časovém měřítku a tyto proloženy regresní přímkou. Z regresní přímky je patrné, že bod nad pilířem klesá o cca 1mm za 500 dní, což je způsobeno pravděpodobně sedáním pilíře.



Obr. 13 Bod ve středu rozpětí v průběhu času

Na Obr. 13 jsou etapy pro bod ve středu hlavního pole vyneseny v časovém měřítku a tyto proloženy regresní přímkou. Z regresní přímky je patrné, že bod ve středu rozpětí klesá o cca 5mm za 500 dní, což je z části způsobeno sedáním pilíře, ale z větší části skutečnou změnou průhybu. Podobných hodnot dosahovaly i okolní body ve středu rozpětí.

Změna průhybu tedy byla na mostě Generála Chábery potvrzena i po několika letech uvedení do provozu. Za téměř čtyři roky měření lze říci, že průhyby mají rostoucí trend, který zatím nemá tendenci se ustálit.

5 Závěr

V posledních několika letech je prováděno systematické měření deformací nosné konstrukce s použitím relativně velkého počtu sledovaných bodů. Použity jsou nejmodernější metody inženýrské geodézie, které zaručují co největší přesnost a spolehlivost prováděných měření a z nich získaných výsledků.

Zatím se jedná o velmi krátký časový interval, v kterém je vývoj deformací zjišťován. Je tak zcela předčasné usuzovat o budoucím trendu vývoje průhybů konstrukce. Avšak i tyto výsledky jsou velmi důležité, neboť z nich získáme počáteční vývoj deformací a bude tak možné přesně kalibrovat souběžně prováděné výpočetní a citlivostní analýzy chování konstrukce. Tato systematická měření budou i nadále pokračovat ve stejné intenzitě a rozsahu.

Společně s dalšími výsledky z budoucích měření získáme velmi rozsáhlý soubor, který může posloužit pro lepší pochopení komplexního působení těchto konstrukcí. Jedná se o další krok vedoucí k vytvoření zcela obecné metodiky predikce dlouhodobého chování předpjatých betonových konstrukcí velkých rozpětí, která bude sloužit pro jejich bezpečný a spolehlivý návrh ve shodě s chováním reálných konstrukcí.

6 Literatura

[1] Urban, R. - Štroner, M.: Modeling of the influence of vertical refraction on the precise geodetic measurements based on discrete measurement of atmospheric parameters. QUAERE 2013. Hradec Králové: Magnanimitas, 2013, vol. 1, p. 2624-2631. ISBN 978-80-905243-7-8.

[2] Urban, R. - Michal, O.: Analýza technologie pro určování průhybové čáry mostních konstrukcí. QUAERE 2013. Hradec Králové: Magnanimitas, 2013, díl 1, s. 2696-2703. ISBN 978-80-905243-7-8.

[3] Vráblík, L. – Štroner, M. - Urban R.: Zaměření tvaru nosné konstrukce mostu přes Labe v Měl-níku, časopis BETON TKS 4/2008

[4] Vráblík, L. – Štroner, M. - Urban R.: Measurement of bridge body across the river Labe in Melnik, Acta Montanistica Slovaca, 14/2009

[5] Urban, R. - Michal, O.: Temperature effects on the bridge structure during the all-day monitoring. Geoinformatics. 2015, vol. 1, no. 14, art. no. 7, p. 79-87. ISSN 1802-2669.

7 Autor

Jméno a příjmení:	Rudolf Urban
Tituly:	Ing. Ph.D.
Datum narození:	5. 1. 1982
Místo narození:	Praha
Rodinný stav:	ženatý, 2 dcery
Kontakt:	rudolf.urban@fsv.cvut.cz

Vzdělání

2007 - 2011	**ČVUT v Praze, Fakulta stavební** - doktorské studium na katedře speciální geodézie
2001 - 2007	**ČVUT v Praze, Fakulta stavební** - zaměření inženýrská geodézie
1997 - 2001	**SPŠ Zeměměřická v Praze**

Praxe

2008 - nyní	**ČVUT v Praze, Fakulta stavební** - odborný asistent na katedře speciální geodézie
2013 - nyní	**Metrostav a.s.** - smluvní geodet a konzultant
2012 – 2013	**Sledování historických objektů Pražského hradu** - vedení geodetických prací
2006 - 2008	**Mott MacDonald s.r.o.** - konstruktér mostních konstrukcí a geodet

Pedagogická činnost

Přednášky	**Stavební geodézie** **Ekonomika v zeměměřictví a katastru** **Počítačové kreslení**
Cvičení	**Stavební geodézie** **Ekonomika v zeměměřictví a katastru** **Počítačové kreslení** **Inženýrská geodézie 1,4** **Geodézie 1,2** **AutoCAD v IG**

Seznam vybraných publikací

- Štroner a kol.: 3D skenovací systémy. 1. vyd. Praha. CTU Publishing House, 2013.

- Urban, R.: Geodetické práce při měření posunů a přetvoření stavebních objektů. 1. vyd. Praha. CTU Publishing House, 2015.

- Braun, J. - Štroner, M. - Urban, R. - Dvořáček, F.: Suppression of Systematic Errors of Electronic Distance Meters for Measurement of Short Distances In: Sensors - Open Access Journal. 2015, vol. 15, no. 8, p. 19264-19301. ISSN 1424-8220. (20% podíl)

- Štroner, M. - Urban, R. - Rys, P. - Balek, J.: Prague Castle Area Local Stability Determination Assessment By The Robust Transformation Method. Acta Geodynamica et Geomaterialia. 2014, vol. 11, no. 4, p. 325-336. ISSN 1214-9705. (40% podíl)

- Štroner, M. - Urban, R. - Braun, J.: Implementation of a high-accuracy spatial network for measurements of steel constructions. Slovak Journal of Civil Engineering. 2012, vol. 20, no. 2, p. 13-18. ISSN 1210-3896.

- Braun, J. - Štroner, M. - Urban, R.: Extensive Testing and Comparison of a New Type of Target for Use in Engineering Surveying Slovak Journal of Civil Engineering. 2013, vol. 21, no. 2, p. 29-40. ISSN 1210-3896.

- Štroner, M. - Urban, R. - Královič, J.: Testing of the Relative Precision in Local Network With Use of the Trimble Geo XR GNSS Receivers. Reports on Geodesy [online]. 2013, vol. 94, no. 1, p. 27-36. ISSN 0867-3179.

- Urban, R. - Michal, O.: Temperature effects on the bridge structure during the all-day monitoring. Geoinformatics. 2015, vol. 1, no. 14, art. no. 7, p. 79-87. ISSN 1802-2669.

- Urban, R. - Štroner, M.: Measurement of Deflection Line on Bridges. Reports on Geodesy [online]. 2013, vol. 95, no. 1, p. 64-75. ISSN 0867-3179.

- Urban, R. - Štroner, M. - Braun, J.: Precise deformation measurement of prestressed concrete beam during a strain test using the combination of intersection photogrammetry and micro-network measurement In: Videometrics, Range Imaging, and Applications XIII. Bellingham: SPIE, 2015, vol. 1, art. no. 1, ISSN 0277-786X. ISBN 9781628416886.

- Urban, R. - Štroner, M. - Braun, J.: Special electronic distance meter calibration for precise engineering surveying industrial applications In: Optical Measurement Systems for Industrial Inspection IX. Bellingham: SPIE, 2015, vol. 1, art. no. 1, ISSN 0277-786X. ISBN 9781628416855.

- Urban, R. - Štroner, M.: Genetic algorithms in the computation of the camera external orientation. Geoinformatics [online]. 2012, vol. 2012, no. 9, p. 5-16. ISSN 1802-2669.