

APLIKACE ON LINE MONITOROVACÍHO SYSTÉMU NA NOVÉ MOSTNÍ LÁVCE V HRADCI KRÁLOVÉ

APPLICATION OF THE ON LINE MONITORING SYSTEM ON THE NEW BRIDGE FOOTWEAR IN THE HRADEC KRÁLOVÉ

Jiří Lechner¹, Jiří Rumler²

Abstrakt

V České republice se v posledních letech stává nevyhnutelným požadavkem rekonstrukce mostů u všech tříd komunikací silniční i železniční sítě. S touto problematikou je úzce spojena problematika nutnosti poznání chování základové půdy účinkem stavby, blízkých objektů a jinou činností v blízkém okolí a sledování funkce a bezpečnosti provozovaných staveb. Pro monitoring výškových deformací na mostech v reálném čase je výhodné využít stacionární hydrostatické systémy v rámci monitorovacích systémů. Pro mostovky s vydutím bylo v rámci projektu Ministerstva průmyslu a obchodu spolufinancovaném Evropskou unií nutné vyvinout čidla hydrostatické nivelace s měřicím rozsahem do 2,5 m.

Abstract

In recent years, in the Czech Republic, the reconstruction of bridges on all classes of road and rail network has become an inevitable requirement. Closely related to this issue is the issue of the need to know the behavior of the foundation soil by the effect of construction, nearby buildings and other activities in the vicinity and monitoring the function and safety of operating structures. It is advantageous to use stationary hydrostatic systems as part of monitoring systems for real-time monitoring of height deformations on bridges. For bridges with a bulge, it was necessary to develop hydrostatic leveling sensors with a measuring range of up to 2.5 m within the project of the Ministry of Industry and Trade co-financed by the European Union.

¹ Lechner Jiří, Ing., CSc., Výzkumný ústav geodetický, topografický a kartografický, v.v.i., Ústecká 98, 25066 Zdiby, tel.: 603509136, e-mail: jiri.lechner@vugtk.cz

² Rumler Jiří, Ing., ALIMEX s.r.o., Ke Zvoli 339, 25241 Dolní Břežany, tel.: 736504204, e-mail: jrumler@alimex.cz

1 Úvod

Účelem měření posunů staveb je získání podkladů pro posouzení chování základové půdy účinkem stavby, vliv stavby na blízké objekty a sledování funkce a bezpečnosti staveb, ovlivněných stavební a jinou činností na nich a v jejich blízkém okolí.

Měření geodetickou metodou velmi přesné nivelace má svoji vypovídací schopnost právě jen pro časové období, kdy bylo prováděno. Z těchto důvodů se dostává stále většího významu stacionárním systémům, které dosahují požadované přesnosti měření a poskytují informace v reálném čase. V daném případě je evidentní výhodné využití hydrostatických systémů. Pro každou stavbu, jejíž posuny se mají měřit, je přitom nutné vyhotovit projekt měření s vypracováním zejména účelu a druhu měření, stanovením hodnot očekávaných posunů a tomu odpovídající přesnosti měření s apriorním rozbohem, způsobem stabilizace bodů, časového plánu měření atd.

2 Nová lávka přes Labe v Hradci Králové

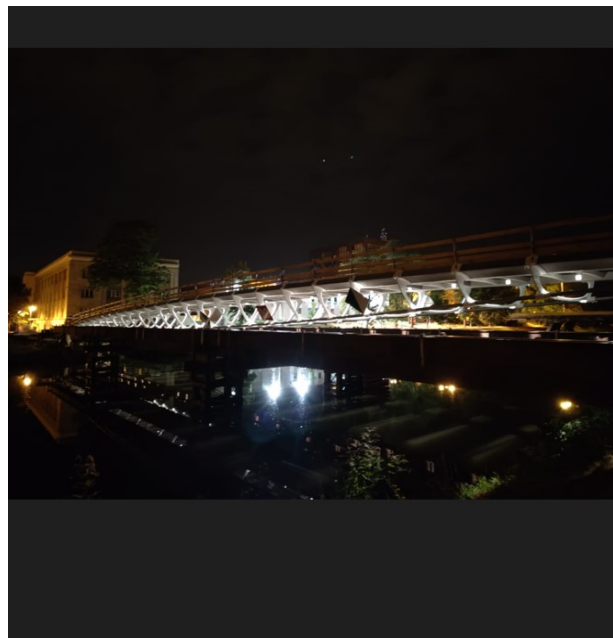
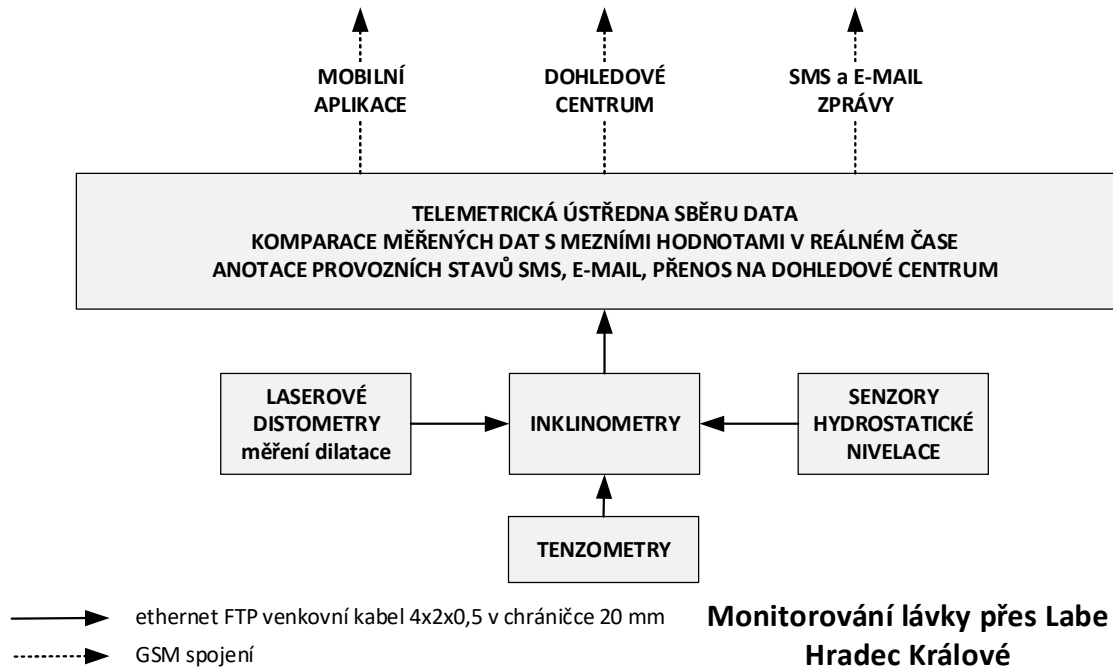
Zhotovitelem nové lávky přes Labe v Hradci Králové je společnost SMP CZ. Nosná konstrukce je tvořena předpínacími lany a štíhlými ocelovými žebry, na které jsou namontovány prefabrikované desky z vysokohodnotného betonu. Konstrukce vychází z principů Vierendeelova nosníku proměnné výšky. Nosná lana jsou tzv. uzavřená, jejich povrch je tvořen dráty, vyrobených do tvaru písmene Z, které do sebe zaklesnou a vytvoří ucelenou vnější vrstvu. Prefabrikované segmenty lávky jsou z ultra vysokohodnotného betonu s rozptýlenou výztuží.



Obr. 1 Vizualizace lávky

Monitorovací systém lávky přes Labe v Hradci Králové má za cíl pomocí měření stanovených parametrů průběžně vyhodnocovat stavebně technický stav lávky a tím předcházet překročení kritických hodnot při výstavbě a následně během provozu v reálném čase.

Schema monitorovacího systému:



Obr. 2 a 3 Stav lávky v červenci 2022 v noční době

2.1 Přesnost měření

Přesnost měření posunů staveb je charakterizována hodnotou mezní odchylky určení délky výsledného vektoru posunu nebo jeho složky. Hodnota mezní odchylky, pokud není stanoveno jinak, se určí hodnotou

$$\delta_i \leq 2/15 p \quad (1)$$

kde p je očekávaný celkový posun nebo jeho složka v mm.

Dalším posuzovaným parametrem je cykličnost měření s dopadem na získávání aktuálních informací o výškovém stavu předmětu měření.

Tato výhoda poskytuje provozovateli:

- informace o geometrickém stavu stavebních objektů a technologií,
- možnost okamžitě ovlivňovat režim provozu daného zařízení,
- možnost eliminovat opotřebení zařízení v důsledku nesprávné geometrie,
- prodloužit dobu mezi generálními opravami zařízení,
- zvýšit ekonomii provozu zařízení,
- zvýšit bezpečnost provozu a tím i bezpečnost a ochranu zdraví pracovníků.

2.2 Princip hydrostatické nivelace

Teorie hydrostatiky je známa velmi dlouho. To dokládá řada řešení ještě z doby před začátkem našeho letopočtu. V literatuře je popisováno vodní nivelační zařízení, které bylo používáno při vytyčování „kanálu faraonů“ ve starém Egyptě před cca 2500 lety při propojení ústí řeky Nilu s Rudým mořem.

Hydrostatika se zabývá studiem kapalin, které se nacházejí v relativním klidu. Aby se kapalina nacházela v klidu, musejí být v rovnováze veškeré síly, které na tuto kapalinu působí, přičemž kapaliny přenášejí tzv. tlakové síly, tj. nikoliv klasické síly v bodovém působení jak je tomu u pevných těles, ale síly na ploše. V hydrostatice jsou platné dva zákony: Archimédův zákon, který říká, že na těleso ponořené do kapaliny působí vztlková síla odpovídající tíze kapaliny o stejném objemu jako je objem tohoto ponořeného tělesa a Pascalův zákon, který říká, že jestliže na kapalinu působí vnější tlaková síla, potom tlak v každém místě kapaliny vzroste o stejnou hodnotu.

Této skutečnosti je využíváno u hydrostatických měřicích systémů, kdy ve spojených nádobách dochází k přelívání kapaliny z jedné do druhé, dokud není dosaženo hydrostatické rovnováhy, tj. dokud neplatí, že

$$P_1 + \gamma_1 H_1 = P_2 + \gamma_2 H_2, \quad (2)$$

kde P_1 a P_2 jsou hodnoty atmosférických tlaků vzduchu v místech 1 a 2,

γ_1 a γ_2 jsou hodnoty měrné hmotnosti kapalin,
 H_1 a H_2 jsou výšky sloupců kapaliny v měřicích nádobách.

2.3 Vývoj čidla hydrostatické nivelace pro mostní konstrukce

Na základě celkové situace v oblasti bezpečnosti provozu významných stavebních a energetických objektů v ČR, zejména pak dosti kritického stavu většiny mostních konstrukcí, bylo rozhodnuto o doplnění řešeného projektu „Centrální integrovaný systém kontinuálního on line monitoringu stavebních objektů“ o vývoj čidla, zabezpečujícím měření posunů stavebních objektů ve vertikálním smyslu.

Na základě vzorce (1) a praktických zkušeností s chováním mostní konstrukce (reakce na vliv vnějšího prostředí: vliv teploty, hladiny spodní vody, vliv vibrací a zatížení mostovky) lze mezní chybu měření svislých posunů odvodit z předpokládané svislé deformace mostu:

pro železné konstrukce	30 mm,
pro kamenné (zděné) konstrukce	20 mm,
v odpovídajících hodnotách	4 mm a 2,5 mm.

Těmto mezním odchylkám měření odpovídá požadovaná směrodatná odchylka měření svislých deformací:

pro železné konstrukce	2,0 mm,
pro kamenné (zděné) konstrukce	1,25 mm.

Bylo proto přistoupeno k vývoji vlastního čidla, zabezpečení jeho komunikace s centrální měřicí ústřednou a softwarovému zabezpečení komunikace a sběru dat.

Na základě rešerše disponibilních elektronických komponent byl proveden výběr senzorů vlastního čidla, elektronického zabezpečení a kompletace komponent čidla do podoby pro průmyslové prostředí.

Dále bylo provedeno jeho začlenění do centrálního integrovaného systému s realizací komunikačních záležitostí prostřednictvím komunikační sběrnice RS 485 a ethernet.

Dílčím cílem řešení byl vývoj měřicího čidla pro kontinuální sledování deformací ve výškovém smyslu kontrolovaných míst. Za základ vlastního principu měření byla vzata technologie hydrostatické nivelace.

2.4 Vyvíjené čidlo HYNIV3

Jádro systému s vyvíjeným novým čidlem s označením HYNIV3 tvoří měřicí ústředna se speciálními sériovými kartami, určenými pro komunikaci s jednotlivými čidly HYNIV3. Komunikace mezi čidly a řídicí jednotkou probíhá po sběrnici.

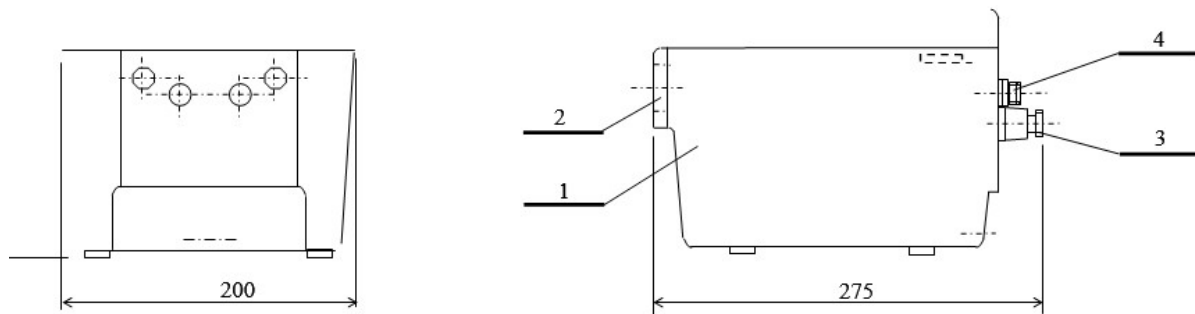
Napájení jednotlivých čidel (větvě) je zabezpečeno zdrojem +24V. Rychlost komunikace je nastavena na 4800 Bd (baudů) pro všechna čidla (nejedná se o rychlou měřicí větev, nýbrž je preferována přesná větev měření).

Vlastní měřicí systém dále obsahuje nádobu s kapalinou, tzv. rezervoár, který slouží pro zásobení kapalinou celého měřicího systému a je dimenzován na dostatečný objem kapaliny z hlediska počtu připojených čidel, s uvážením dostupnosti umístění rezervoáru pro případné doplňování kapaliny a dále možného odparu kapaliny z hlediska místních podmínek jeho umístění. Z praktického hlediska se objem rezervoáru volí v poměru 1:10, tj. 10 x větší objem kapaliny, než bylo použito pro naplnění rozvodu kapalinou.

Na základě dřívějších zkušeností s provozem měřicích systémů na stavební i technologické konstrukci na Jaderné elektrárně Temelín (ETE), po realizaci průzkumu disponibilních možných komponent pro zkompletování čidla a na základě návrhu umístění jednotlivých komponent čidla vznikl nový vývojový návrh čidla:

Výška :	150 mm
Šířka :	205 mm
Hloubka :	275 mm
Rozteč otvorů na přírubě :	185 mm
Upevňovací šrouby :	M 10
Průchodky pro přívod kabelů :	P16
Šroubení pro přívod kapaliny :	1"
Šroubení pro přívod vzduchu :	1"
Hmotnost čidla (bez kapaliny):	8 kg
Napájení čidla :	18 – 30 Vss; 0,5 A
Použitá kapalina :	dle požadavků rychlosti reakce a okolních podmínek (teplot)
Přesnost čidla měření posunů :	± 0,5 mm
Rozlišitelnost odečtů:	0,01 mm
Měřicí rozsah :	do 2,5 m
Komunikace :	RS 485 – dvou vodičové zapojení, ethernet

Pracovní teploty : +5 až +50°C (pro interiér)
-20 až +70°C (pro exteriér)



Obr. 4 Náčrtek čidla

- 1 – spodní díl skříně čidla
- 2 – upevňovací příruba
- 3 – průchodky pro kabely
- 4 – šroubení pro přívod kapaliny a vzduchu



Obr. 5 a 6 Čidlo HINIV3 upevněné na stěně pro ověřovací měření

Pro zkoušení, diagnostiku a vlastní měřicí proces jsou využívány instrukce typu: ADR, LDW, LWT, MSV, ASS, ASF, ICR, CAL, SPW, RES, IDN, TDD, ESR atd.

Pro vyjádření měřené odchylky na kontrolovaném místě pomocí čidla HYNIV3 a v rámci měřicího systému je potřebné jedno měřicí místo (čidlo) označit jako referenční místo. Obvykle se za toto místo volí to, kde je předpoklad jeho dlouhodobější výškové stálosti.

Vlastní měření deformací je prováděno cyklicky vždy v opakovaném neměnném pořadí. První cyklus měření je prohlášen tzv. nulovým cyklem měření a následující již pořadovými cykly měření.

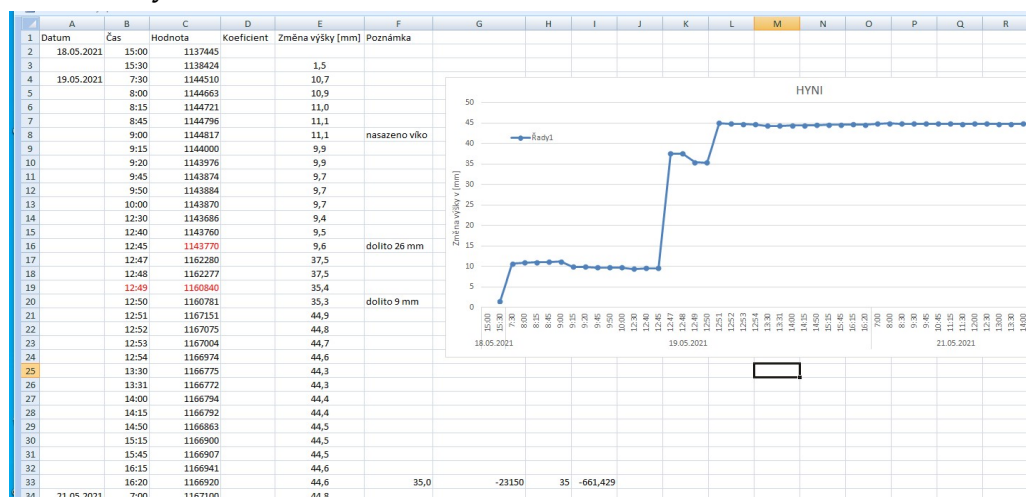
Deformace konkrétního kontrolovaného místa v rámci cyklu měření se potom vypočte jako rozdíl příslušných měřených dat na kontrolovaném místě v daném cyklu měření a výchozím cyklu měření s odečtením příslušných dat referenčního místa.

Tuto deformaci je nutné chápat jako relativně vyjádřenou deformaci vzhledem ke vztažnému zvolenému místu.

2.5 Ověření funkce čidla HYNIV3

Ověření funkce čidla HYNIV3 bylo uskutečněno na ověřovacím stendu (stěna u schodiště do suterénu provozní budovy VÚGTK, v.v.i. ve Zdíbech s převýšením mezi čidly 2,5 m.

Fáze ověření čidla (ustálení kapaliny, dolítí kapaliny, opětovné dolítí a ustálení) byly podchyceny hodnotově a graficky i se zřejmou rychlostí reakce a jsou znázorněny na Obr. 7.



Obr. 7 Data a graf z ověřovacích měření

Obdobným způsobem bylo postupováno u celého měřicího systému se zapojenými třemi čidly HYNIV3.

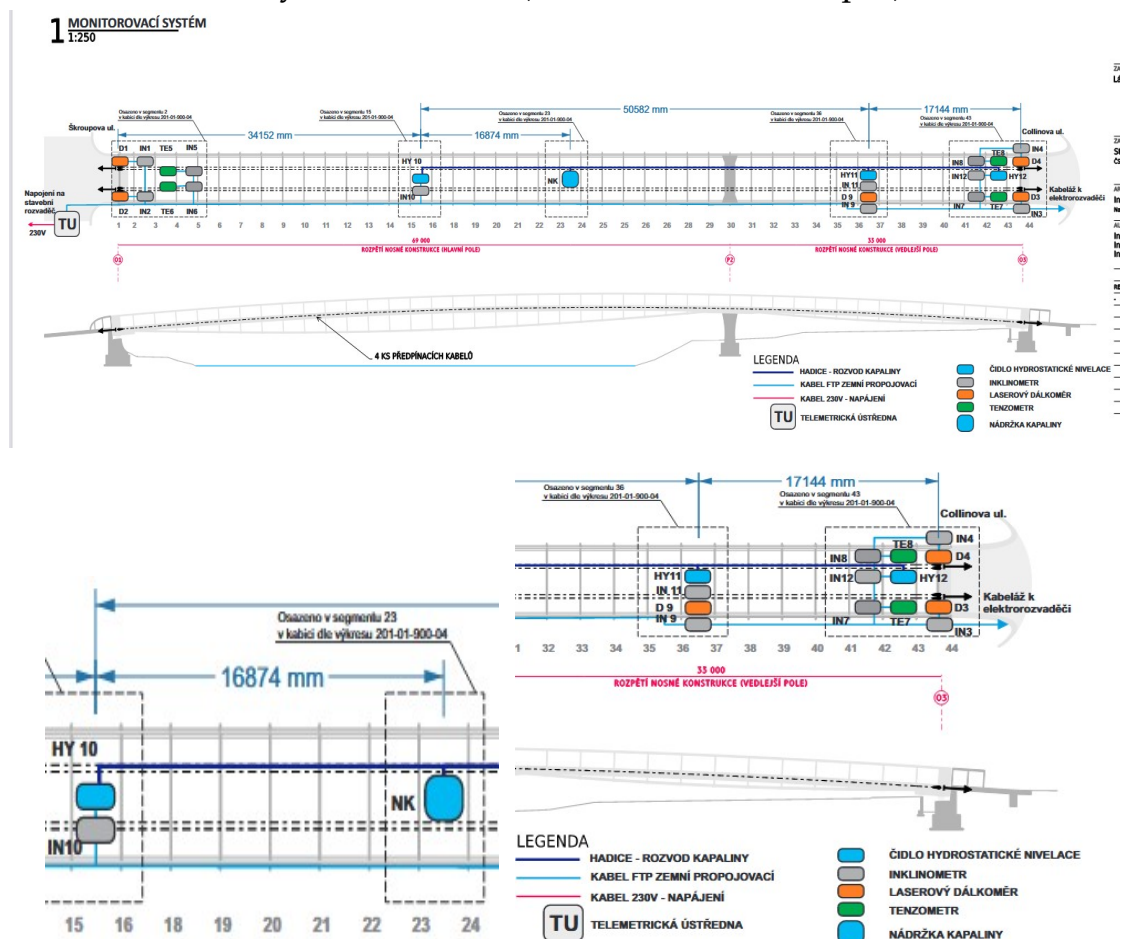
2.6 Aplikace měřicího systému HYNI pro sledování výškových deformací mostovky

Na základě přesnostních požadavků na stálost (ve výškovém smyslu) technologického zařízení a stavebních částí staveb byla vyvinuta měřicí čidla, jejichž přesnost měření lze charakterizovat směrodatnou odchylkou měření převýšení v rámci celého měřicího systému (do vzdálenosti 150 m) 0.5 mm. Tato hodnota byla potvrzena i provedenou kalibrací čidel v rámci měřicího systému.

Vzhledem k tomu, že princip měření převýšení je realizován na základě měření hydrostatických tlaků, jsou výsledky měření oproštěny od vlivu rozdílových teplot v kontrolovaných místech daného monitorovaného objektu.

Předmětem dalších činností telemetrického systému je:

- činnost ústředny TM TM390-2 monitorovacího systému:
 - komunikace s jednotlivými inklinometry, dálkoměry a meteostanicí systému,
 - sledování obsazenosti systémové paměti událostí a měřených hodnot,
 - přenos naměřených hodnot na dohledové pracoviště,
 - kontrola kapacity záložního akumulátoru,
 - generování a přenos SMS zpráv a e-mailů při překročení mezních hodnot měřených veličin,
- funkce inklinometrů pro měření deformace mostovky,
- funkce laserových dálkoměrů (rozměr dilatačních spár).



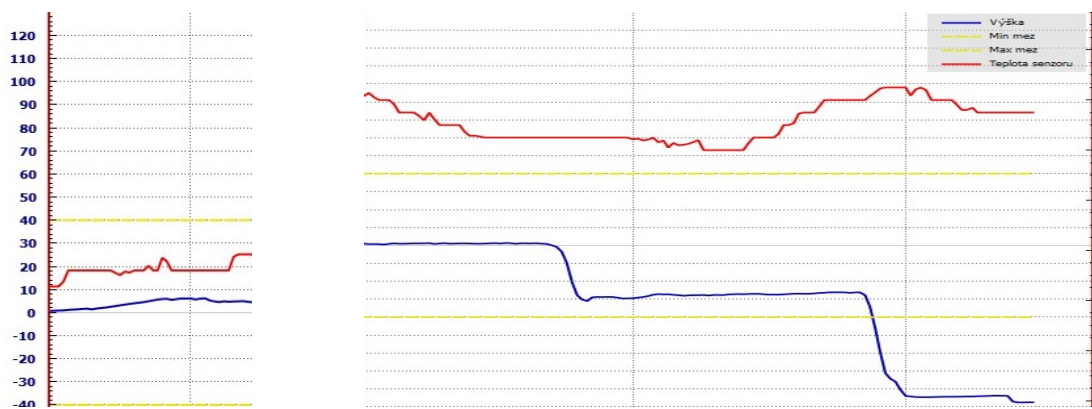
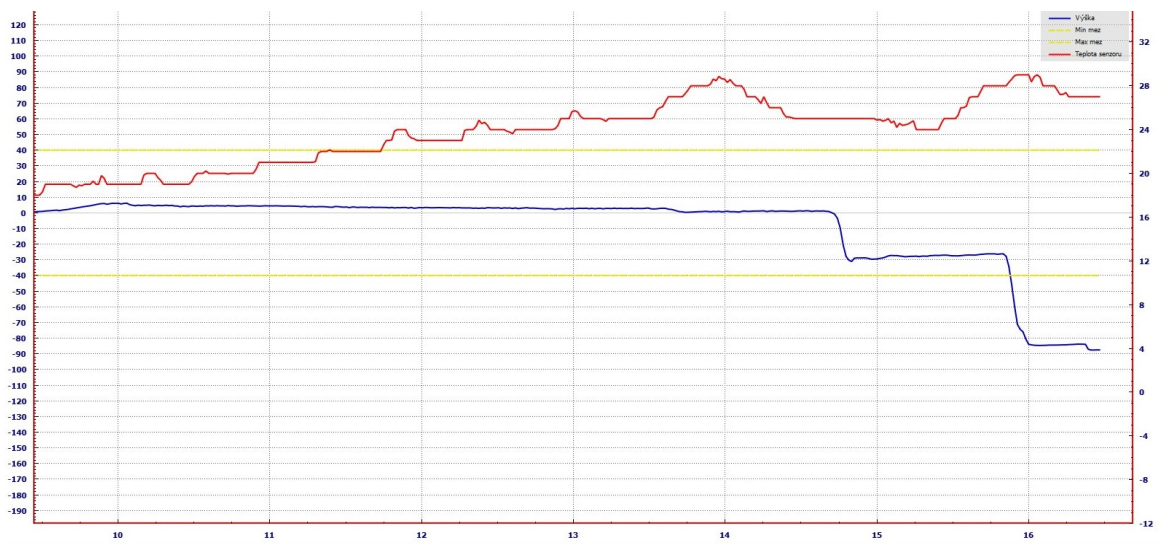
Detail A

Detail B

Obr. 8 Schema rozmístění čidel měřicího systému na lávce s detailním zobrazením



Obr. 9 a 10 Umístění čidel hydrostatické nivelace pod mostovkou



Obr. 11 Ukázka výsledku měření výškové změny mostovky při odstranění podpěr lávky a napínání lan (vlevo hodnoty v mm – modrá křivka, vpravo teploty – červená křivka)

3 Závěr

Na základě řešené problematiky v projektu spolufinancovaném Evropskou unií byl vyvinut, vyroben a ověřen systém hydrostatické nivelace s čidly HYNIV3 předurčených pro jejich použití na vydutých mostovkách s převýšením do 2,5 m.

Literatura

- [1] ČSN 73 0405 Měření posunů stavebních objektů

Lektoroval: Ing. Jaroslav Braun, Ph.D.

(ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Katedra speciální geodézie)

Projekt

CENTRÁLNÍ INTEGROVANÝ SYSTÉM KONTINUÁLNÍHO ON-LINE MONITORINGU STAVEBNÍCH OBJEKTŮ je spolufinancován Evropskou unií.

Předmětem projektu je výzkum a vývoj centralizovaného integrovaného automatizovaného systému on-line kontinuálního dlouhodobého monitoringu stavebních objektů. Projekt je realizován v účinné spolupráci s VÚGTK v.v.i. Výstupem projektu bude prototyp Dohledového centra, užitný vzor, 2x SW.



EVROPSKÁ UNIE
Evropský fond pro regionální rozvoj
OP Podnikání a inovace pro konkurenceschopnost



MINISTERSTVO
PRŮMYSLU A OBCHODU