Experimentální Analýza Napětí 2003

MONITORING OF LONGITUDINAL STEEL CABLE TENSION OF COMPOSITE BRIDGE

SLEDOVÁNÍ NAPĚTÍ PODÉLNÝCH VOLNÝCH KABELŮ HYBRIDNÍ MOSTNÍ KONSTRUKCE

Pavel Schmid [1], Petr Daněk [2]

This contribution deals with observation of motorway bridge construction over the Odra river in Ostrava. It is five-field composite bridge with the largest span 99,5 m of the middle field. The main aim of observation this bridge construction is verification of real behaviour of building in three selected sections on every single construction situation and comparison real values of measured parameters with designed values.

There are monitoring proportional deformations of concrete and steel by vibrating wire strain gauges in the scope of long-term observation of composite bridge D4708.2 over the Odra river in three selected sections. Stresses in longitudinal steel cables are measured by the Elasto-Magnetic technology with using portable measuring unit PROJSTAR. It is a non-destructive method for stress monitoring in the steel cables. ME sensors for monitoring tensions of steel cable which is composed of 27 cables Lp 15,5 were designed. Construction of the EM sensor is very simple and reliable. On a plastic bobbin primary and secondary coils are wound. There are ten longitudinal cables with the average length 540 m in the bridge. Dimensions of these cables are rare in Czech Republic. Results of tension measurements are continuously offered to designers of bridge to comparison with design values. Then it is possible to correct prestressed forces. This measurement is very important to estimation of real friction losses.

All sensors, which are used on this construction, are designed for long-term observation. The main purpose of this composite bridge monitoring is verification of concrete rheology influence and relaxation of steel cables.

Keywords

Composite bridge, tension measurement, steel cable, tension sensor
Hybridní mostní konstrukce, měření poměrného přetvoření, předpínací kabely, snímače přetvoření a napětí

Úvod

U každé spřažené konstrukce dochází vlivem reologických vlastností betonu k redistribuci vnitřních sil. Sledování dlouhodobého chování mostu je vždy úzce spjato s prováděnou statickou

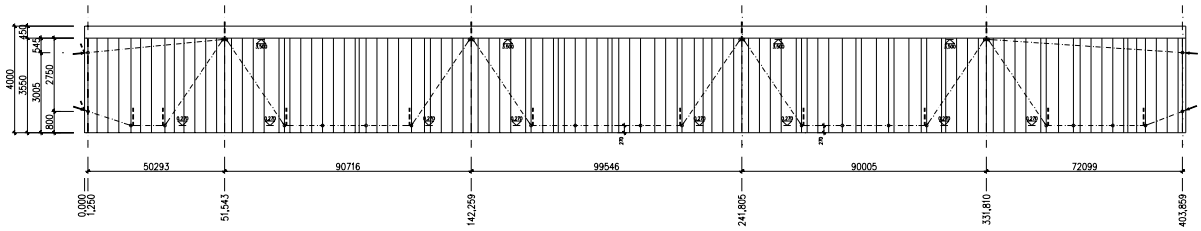
[1] Ing. Pavel Schmid, Ph.D.: Ústav stavebního zkušebnictví, Vysoké učení technické v Brně, Veveří 95, 662 37 Brno, tel.: +420-5-41147491, e-mail: schmid.p@fce.vutbr.cz

[2] Ing. Petr Daněk: Ústav stavebního zkušebnictví, Vysoké učení technické v Brně, Veveří 95, 662 37 Brno, tel.: +420-5-41147492, e-mail: danek.p@fce.vutbr.cz

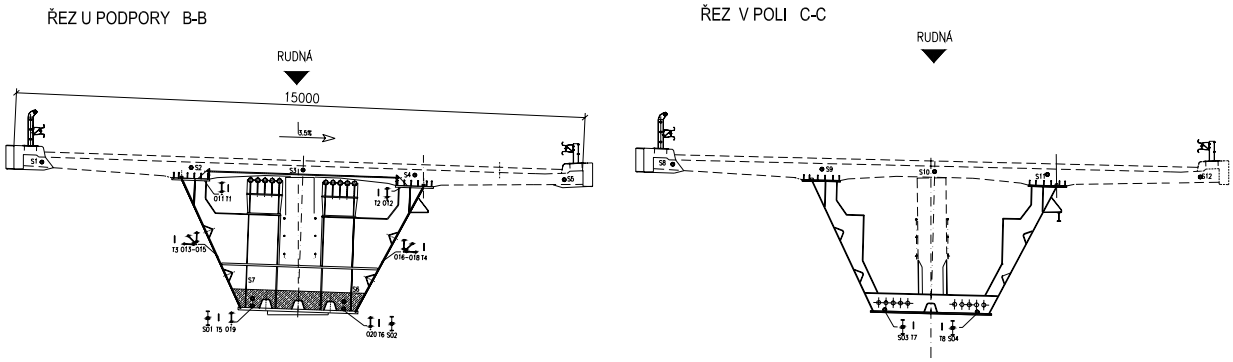
analýzou působení smršťování a dotvarování betonu na nosnou konstrukci. Na základě předem provedených výpočtů lze pak účelně stanovit rozsah a vlastní cíl měření, vybrat sledované řezy a určit mechanické a fyzikální veličiny mající rozhodující význam pro dlouhodobé chování dané konstrukce. Na základě rozdílného působení a chování jednotlivých typů konstrukcí nelze tedy stanovit obecně platný postup a metodiku dlouhodobého sledování.

Popis sledované konstrukce a metodika měření

Příspěvek popisuje metodiku a realizaci dlouhodobého experimentálního sledování nosné konstrukce mostu D4708.2 přes Odru a zaměřuje se především na způsob monitorování podélného předpětí. Jde o pětipolový most s největším rozpětím středního pole 99,546 m (sledované pole). Tato stavba patří k jedné z nejsložitějších spřažených ocelo-betonových konstrukcí realizovaných ve střední Evropě. Nosná konstrukce je tvořena jednokomorovým nosníkem, jehož spodní deska a stěny jsou ocelové (v oblasti podpor je spodní deska zesílena betonem) a mostovku tvoří spřažená železobetonová příčně předepnutá deska viz obr. 2..V návrhu konstrukce je obsaženo mnoho inovativních prvků. Konstrukce je postupně montovaná a dodatečně předepnutá volnými kabely viz obr. 1. Při statickém řešení konstrukce bylo třeba přijmout řadu předpokladů o statickém chování jednotlivých prvků i celé konstrukce, které je třeba ověřit měřením v průběhu montáže konstrukce. Z hlediska dlouhodobého je pak žádoucí ověřit úroveň napětí v betonu horní mostovkové desky i dolní železobetonové desky. Z těchto důvodů a dále s ohledem na v našich podmínkách výjimečnost rozpětí bylo rozhodnuto o podrobném sledování mostu [2]. Sledování se provádí ve dvou základních rovinách – jedná se jednak o provádění kontrolních měření v době výstavby a dále o dlouhodobé sledování konstrukce po uvedení do provozu. Dlouhodobá sledování mají především upozornit na případné změny ve stavu mostu, popř. sloužit pro návrh na provedení diagnostiky, dalšího měření či zatěžovací zkoušky.



Obr. 1 Schématický podélný řez konstrukcí s vedením volných kabelů



Obr. 2 Schématický příčný řez u podpory a v poli

Z důvodů problémů spojených s antikorozní ochranou bylo nutno měření poměrných deformací ocelových částí konstrukce rozdělit na dvě následující etapy s rozdílným způsobem měření:

1. etapa : do otryskání a provedení antikorozních nátěrů

V této době bylo sledování prováděno pomocí odporových tenzometrů umístěných ve dvou řezech ocelového segmentu již ve výrobní hale a to 1,0 m a 4,5 m od osy podpory. Byly osazeny čtyři jednoduché tenzometry, dva tenzometrické kříže a čtyři růžice - celkem 20 tenzometrů. Dvě měřící místa byla pro porovnání již i v této fázi osazena příložnými strunovými tenzometry připevněnými na speciální úchyty umožňující provedení předepsané antikorozní ochrany.

2. etapa : po provedení finální antikorozní ochrany

Od této doby se sledují pouze čtyři významná místa dvou příčných řezů na spodní desce a to dvě u podpory a dvě uprostřed pole pomocí příložných strunových tenzometrů. Obnovení odporových tenzometrů po otryskání a provedení nátěrů ocelové konstrukce nebylo možné, neboť pro správné nalepení tenzometrů by se musel lokálně odstranit antikorozní nátěr.

Poměrné deformace v betonu jsou sledovány pomocí dvanácti zalitých strunových tenzometrů ve dvou řezech a to 4,5 m od osy podpory a uprostřed pole (obr. 4).

Měření teplot bylo v prvé etapě zajištěno pomocí foliových platinových teplotních čidel nalepených vedle odporových tenzometrů v řezu 4,5 m od osy podpory a dále pomocí termistorů zabudovaných ve strunových tenzometrech.

V neposlední řadě je měřeno napětí v předpínací výztuži pomocí magnetoelastických snímačů na jednom volném kabelu a to těsně za kotvou a v polovině délky kabelu.

Měření napětí předpínací výztuže

Vzhledem k tomu, že se jedná na naše poměry o unikátní most, bylo v průběhu projektu rozhodnuto o sledování napětí v jednom vybraném kabelu. Podélné předpětí je realizováno prostřednictvím 10 volných kabelů o délce cca. 540 m, kde každý kabel je tvořen 27 lany LP 15,5. Při montáži chrániček kabelů byly osazeny dva magneto-elastické snímače na kabel K6 a to těsně za kotvu na pravé straně (obr. 3) a do prostředního pole před spodní deviátor. Toto uspořádání snímačů umožňuje sledovat průběh ztrát napětí v kabelu.

Princip měření napětí ve výztuži pomocí ME snímačů

Magnetické vlastnosti oceli záleží na aktuálním mechanickém napětí a teplotě. V nejjednodušším případě je vztah lineární a hlavní magnetická charakteristika oceli - permeabilita je rovna :

$$\mu(\sigma,T)=\mu(0,0)+m.\sigma+\alpha.T \qquad (1)$$

kde:

σ	je aktuální mechanické napětí
T	je teplota oceli
$\mu(0,0)$	je počáteční permeabilita oceli při nulovém napětí a nulové teplotě
m	je magneto-elastický koeficient
α	je teplotní koeficient permeability

Ze známé permeability oceli $\mu(\sigma,T)$ a teploty T jsme schopni stanovit aktuální napětí σ. Průměrné hodnoty pro vysokopevnostní oceli jsou:
$\mu(0,0) = 5$, $m = 5.10^{-3}$ MPa^{-1} a $\alpha = -0.012$ $°C^{-1}$.

ME snímač se skládá ze dvou vinutí. Na rozdíl od předchozích verzí používají novější snímače buzení proudovým impulsem, což umožnilo výrazně snížit hmotnost snímače , redukovat chybu měření způsobenou ohřevem materiálu snímače při dlouhodobých měřeních a zvýšit rychlost měření. Primárním vinutím prochází impulsový budící proud a změny magnetického toku indukují napětí v sekundárním vinutí. Síla působící na měřený feromagnetický materiál mění jeho magnetické vlastnosti, což se projeví změnou indukovaného napětí [3,4].

Měření je prováděno prostřednictvím šestikanálové ústředny firmy PROJSTAR, která je přes rozhraní RS232 připojena k počítači. Počítač zajišťuje řízení ústředny a na jeho disk se ukládají naměřené hodnoty.

Výhody ME snímačů

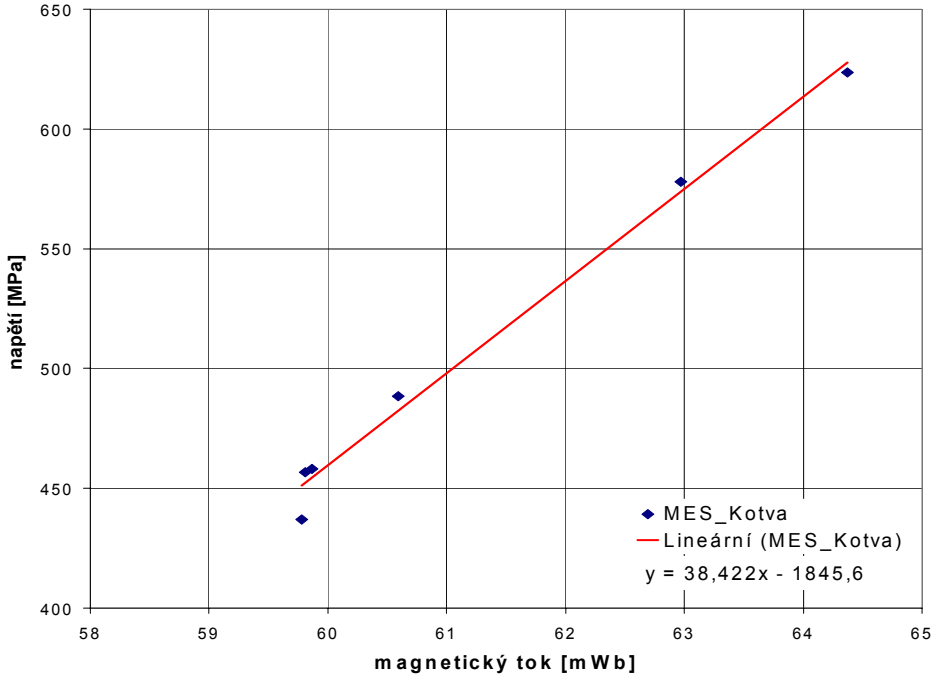
V porovnání s klasickým tenzometrickým resp. hydraulickým dynamometrem, který musí být přímo zatížený měřenou silou má ME snímač tyto výhody:

- Konstrukce snímače je velmi jednoduchá, tvoří ji válcový transformátor uzavřený v masivním kovovém krytu.
- Předpínací výztuž je součástí snímače, prochází snímačem a tvoří tak přímo jádro transformátoru.
- Snímače neobsahují žádné pohyblivé část, jsou robustní a odolné proti prachu, vodě, chemikáliím, nárazům, vibracím, radioaktivnímu záření.
- Jak vyplývá z výše uvedeného nemá snímač žádný prvek, který by byl silově zatížený. Masivní kryt slouží jen na zeslabení vlivu okolních feromagnetických materiálů.
- Montáž snímače je jednoduchá, snímač se volně nasune na měřený prvek nebo je přímo součástí obalu předpínací výztuže.
- Snímač není možné silově přetížit.
- Měřící metoda je spolehlivá a přesná, nejistota měření je při kalibrovaném snímači menší než 1%, je možné spolehlivě zaregistrovat změnu napětí pod 1MPa.
- Cena snímače je menší jak cena prstencového tenzometrického resp. hydraulického dynamometru.
- ME metoda je použitelná i pro dynamická měření. Snímače přímo určené pro dynamická měření umožňují měřit relativně rychlé změny napětí

Předběžné výsledky měření ME snímači

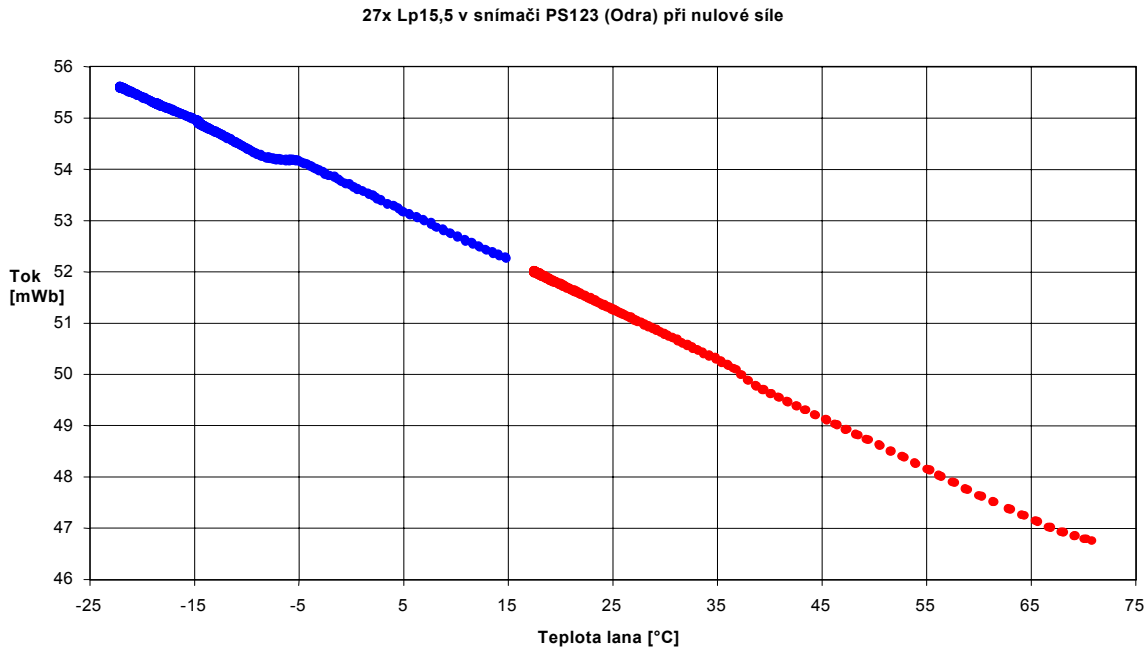
Vzhledem k odlišným magnetickým vlastnostem použité oceli a geometrickým parametrům kabelu (průřezová plocha) je třeba ME snímače kalibrovat pro daný typ kabelu. Protože na realizované konstrukci jsou kabely tvořeny 27 lany Lp 15,5 a dopředu nebylo možné provést kalibraci v laboratorních podmínkách ve standu, byly pro kalibraci použity hodnoty tlaku z předpínací pistole při napínání kabelu K6 a výstupní hodnoty snímače umístěného těsně za kotvou (nepředpokládáme ztráty na tomto úseku). Teprve při napínaní konstrukce, které proběhlo v prosinci roku 2002, byl odebrán originální vzorek použité chráničky a kabelu na kterém byla dodatečně provedena teplotní kompenzace ME snímačů.

Vzhledem k tomu, že magnetické vlastnosti oceli záleží i na její teplotě, bylo třeba provést teplotní kalibraci snímače. Měřením snímače se vzorkem originálního kabelu (nenapnutého), který byl postupně vystavován teplotám od –23 do 72 °C dostáváme jeho teplotní křivku (graf 2). Schodky na charakteristice při –5°C a +37°C pravděpodobně souvisí s vlastnostmi ocelového krytu.

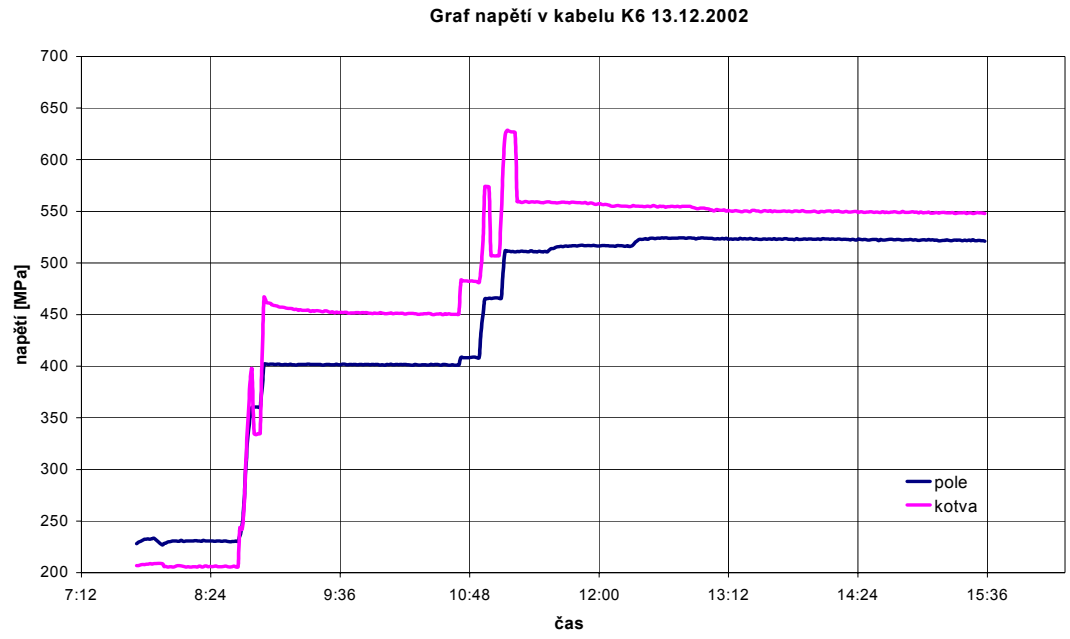


Graf 1 Kalibrační křivka ME snímačů

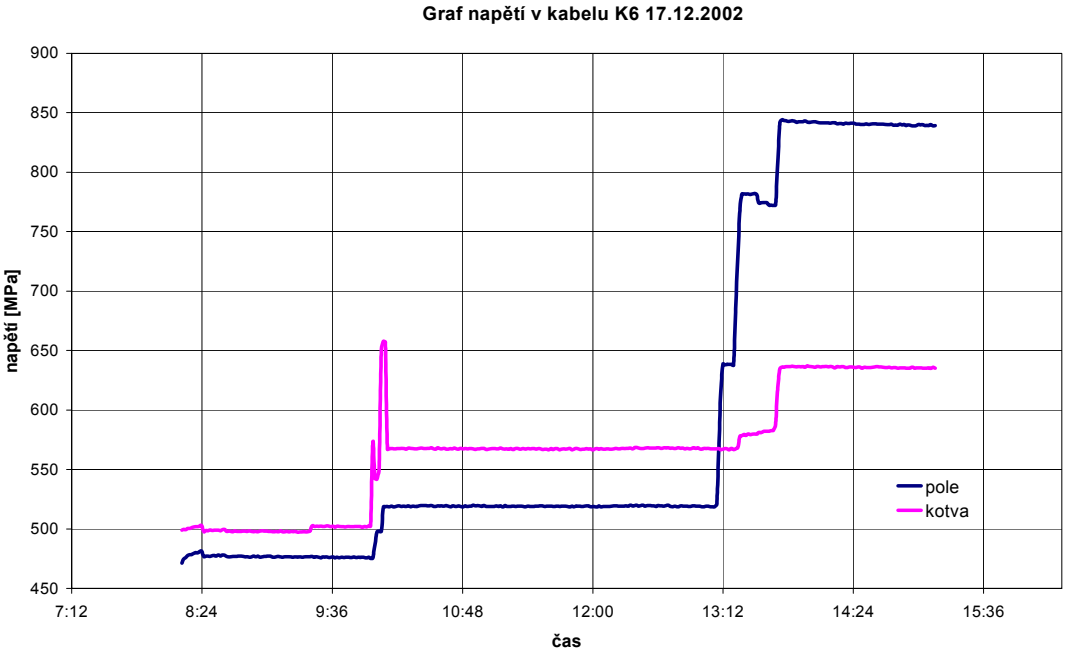
Napínání kabelu z pravé strany na cca 40% je uvedeno na grafu 3. Na grafu jsou vidět poklesy napětí v kabelu za kotvou při překotvení pistole, pokles napětí po délce kabelu vlivem tření, a postupná redistribuce napětí v čase.



Graf 2 Teplotní křivka ME snímače



Graf 3 Časový průběh napětí v kabelu K6 při jeho napínání na 40%



Graf 4 Časový průběh napětí v kabelu K6 při jeho napínání na 70%

Dopnutí kabelu z pravé strany na cca 40% a napínání z levé strany na cca 70% je zařazeno na grafu 4.

Závěr k měření ME snímači

Výsledky měření napětí v kabelu K6 magneto-elastickou metodou jsou průběžně poskytovány projektantům a slouží k ověření předpokládaných ztrát a případnou korekci předpínací síly. Dále bude probíhat dlouhodobé sledování ztrát předpětí vlivem relaxace.

Obr 3 Pohled na ME snímač umístěný na kabelu K6 těsně za příčníkem.

Obr 4 Strunový tenzometr v horní desce před zalitím do betonu.

Závěr

V současnosti je mostní konstrukce vystrojena a sledována před dokončením finálních povrchových vrstev mostovky. V květnu roku 2003 se předpokládá realizace zatěžovací zkoušky mostu. Po ní budou výsledky měření použity pro zpřesněnou časovou analýzu mostu při zohlednění skutečných charakteristik betonu a skutečného postupu výstavby. Výsledky měření budou dále použity při zpracování analýzy prostorového chování spřažené konstrukce tvořené tenkostěnným vícekomorovým nosníkem spřaženým s betonovou deskou.

Literatura:

[1] Navrártil J., Schmid P., Zich M.: *Metody sledování dlouhodobého chování mostů*

[2] Navrátil J., Daněk P., Schmid P.: *Zpráva o průběhu řešení projektu FD-K/092 Ekologické a estetické spřažené mostní konstrukce v roce 2001* – Etapa 5: Projekt dlouhodobého sledování konstrukce

[3] Jaroševič A., Chandoga M.: *Meranie sily v predpínacej výstuži* - Inžinierske stavby, 1994

[4] Zehnula,K.:*Snímače neelektrických veličin*,SNTL Praha,1977