

# SKUTOČNÁ NAPÄTOSŤ VIACLANOVÝCH KÁBLOV NAPÍNANÝCH PO JEDNOTLIVÝCH LANÁCH

Milan Chandoga <sup>(1)</sup>  
Andrej Jaroševič <sup>(2)</sup>  
Peter Fabo <sup>(3)</sup>

## Súhrn

Pri viaclanových predpínacích jednotkách s vyššou citlivosťou na pohyblivé zaťaženie, ako sú vonkajšie káble a závesy zavesených mostov, je dôležité aby bola hladina napätosti rozdelená po lanách rovnomerne, najmä ak sú tieto systémy predpínané po jednotlivých lanách. Mnohé firmy vyvinuli špeciálny postup predpínania ako predísť veľkým stratám z postupného napínania kábla. V tomto príspevku sú uvedené výsledky laboratórnych a in-situ meraní rozdelenia napätosti novovyvinutým multilanovým EM snímačom PMS (PROJSTAR MULTISENSOR).

## 1. Úvod

Multilanový elastomagnetický (EM) snímač PMS bol vyvinutý na sledovanie sily v jednotlivých lanách káblov zostavených z 2 až 64 a viac lán. Na obr.1 je zobrazený snímač PMS13 pre inštaláciu pod upravenú kotevnú objímku kotevného systému PROJSTAR CH-13. Predpínacia sila z kotevnej objímky sa prenáša na roznášaciu podložku oceľovým prstencom hrúbky 20mm. Vlastný snímač pozostáva z trinástich jednolanových elastomagnetických snímačov, ktorých usporiadanie je zhodné s otvormi v kotevnej objímke. Štandardné vzdialenosti otvorov v kotve 34 resp. 32 mm plne postačujú. Čelá snímača sú opatrené oceľovými doskami, v ktorých sú uchytené jednolanové snímače. Dosky zároveň zachytávajú deviačné sily od predpínacích lán. Priestor medzi snímačmi je vyplnený PUR zalievacou hmotou, ktorá dokonale mechanicky aj elektricky chráni snímače. Aktívny multilanový snímač obsahuje aj elektronický prepínač pričom na meranie je možné použiť jednokanálovú meraciu aparátúru. Pasívna verzia má vyvedené všetky vývody a jednotlivé snímače je potrebné prepínať manuálne alebo použiť viackanálovú meraciu aparátúru. Ak sa snímač použije vo voľnej dĺžke kábla alebo závesu netreba ho chrániť silnostenným oceľovým prstencom.

## 2. Laboratórne a in-situ testy snímača PMS13

Laboratórne testy snímača PMS13 boli vykonané v Akreditovanom laboratóriu Katedry betónových konštrukcií a mostov SvF STU už v roku 2001. Výsledky týchto testov sú uverejnené v literatúre [1]. Na prvé použitie snímačov sa čakalo až do roku 2002. Snímač PMS13 bol použitý na monitorovanie predpínacej sily 12 lanového kábla vonkajšieho predpätia rekonštruovaného mosta cez Hron v Bzenici. Rekonštrukciu realizovala firma IS MOSTY s.r.o., dodávku kotevného materiálu a predpínanie káblov vykonala firma PROJSTAR PK s.r.o. Snímač PMS13 bol

---

<sup>(1)</sup> Doc. Ing., CSc., SvF STU Bratislava, KBKaM, Radlinského 11, Bratislava, PROJSTAR PK s.r.o.

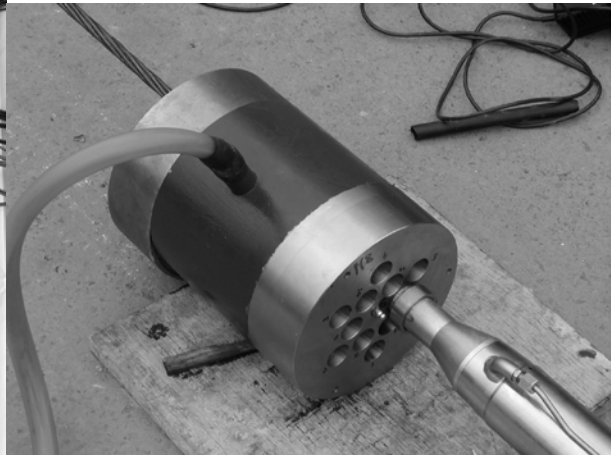
<sup>(2)</sup> doc., RNDr., PhD., FMFI UK Mlynská dolina F2, 84248 Bratislava

<sup>(3)</sup> RNDr., FMFI UK Mlynská dolina F2, 84248 Bratislava

následne okalibrovaný priamo na stavbe (obr.2) pomocou overeného predpínacieho lisu PAUL TENSA SM 200kN. Pri kalibrácii sa použili vzorky lana z dodávky predpínacieho materiálu, použitého na zostavenie káblov, čo zaručuje neistotu merania menšiu ako 2%. Výsledky kalibrácie sú zhrnuté v Tab.1 a nameraná kalibračná krivka snímača je zobrazená na obr.3 spolu s analytickým vzťahom pre výpočet sily.

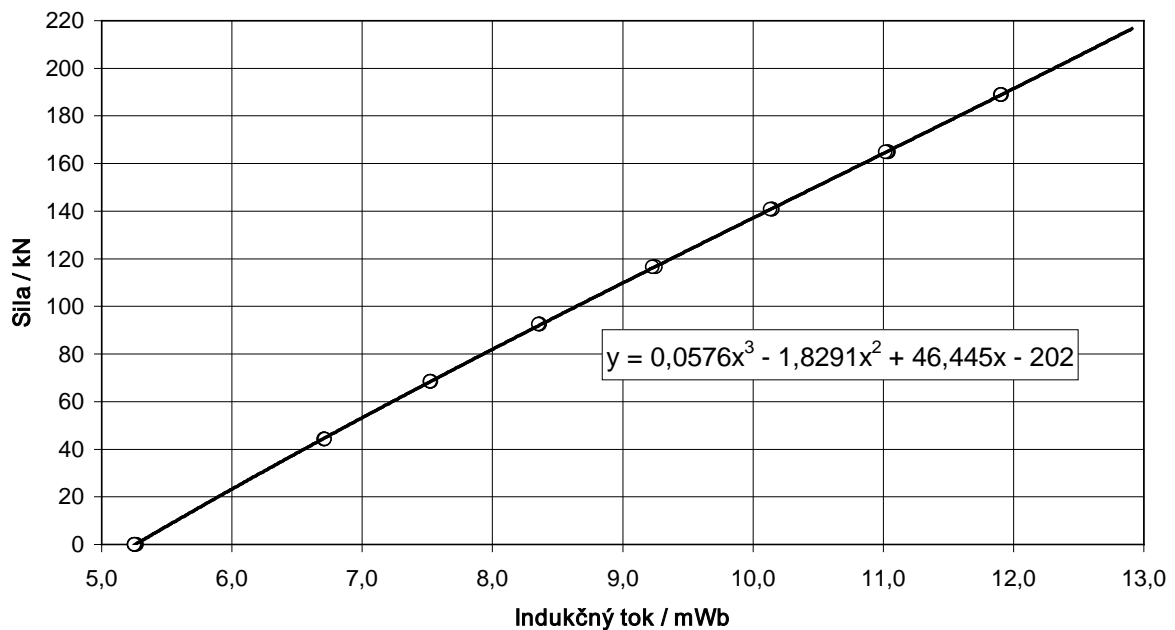


Obr. 1 Multilanový snímač PMS13



Obr. 2 Kalibrácia snímača PMS13

#### KALIBRAČNÁ KRIVKA MULTILANOVÉHO SNÍMAČA PMS12



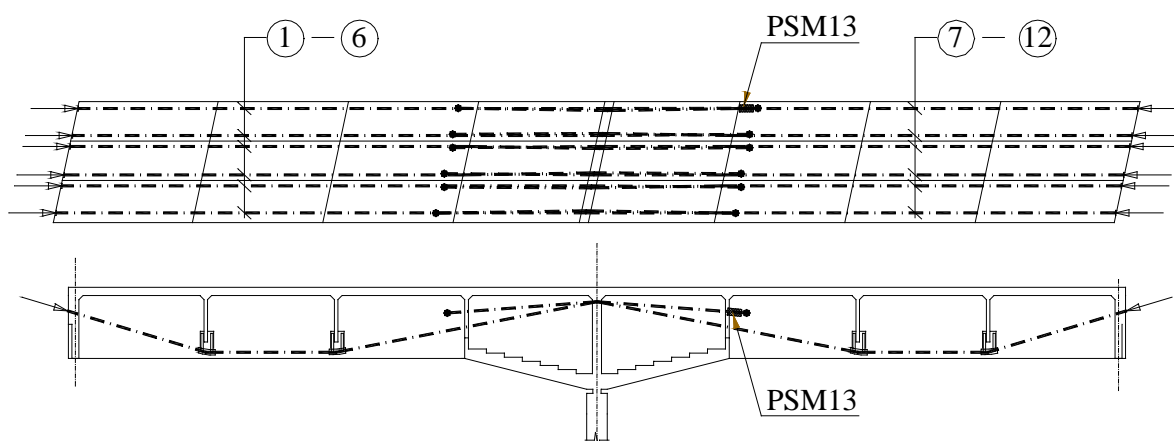
Obr.3 Kalibračná krivka multilanového snímača PMS12

TAB. 1. Kalibrácia snímača PMS13 a stredná neistota merania

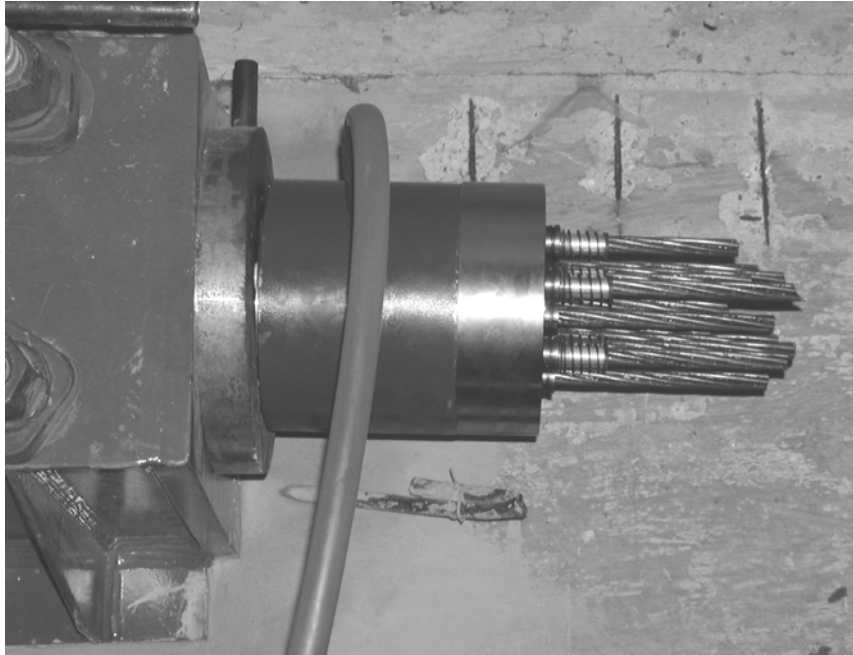
VNESENÁ SILA [kN]	PRIEMER ŠTYROCH MERANÍ [kN]	STREDNÁ NEISTOTA v %
0,0	-0,2	
44,3	44,7	0,82
68,4	68,5	0,08
92,5	92,1	-0,44
116,6	116,5	-0,12
140,8	141,0	0,18
164,9	165,1	0,14
189,0	188,9	-0,07
0,0	0,1	

### 3. Výsledky merania síl v 12-lanovom vonkajšom kábli mosta Bzenica

Schéma vedenia predpínacích káblov na moste Bzenica je znázornená na obr.4 Snímač PMS13 bol po okalibrovaní namontovaný na pasívnu stranu kábla č.1. Jeho poloha medzi kotevnou objímkou a roznášacou podložkou je zrejماً z obr.5.

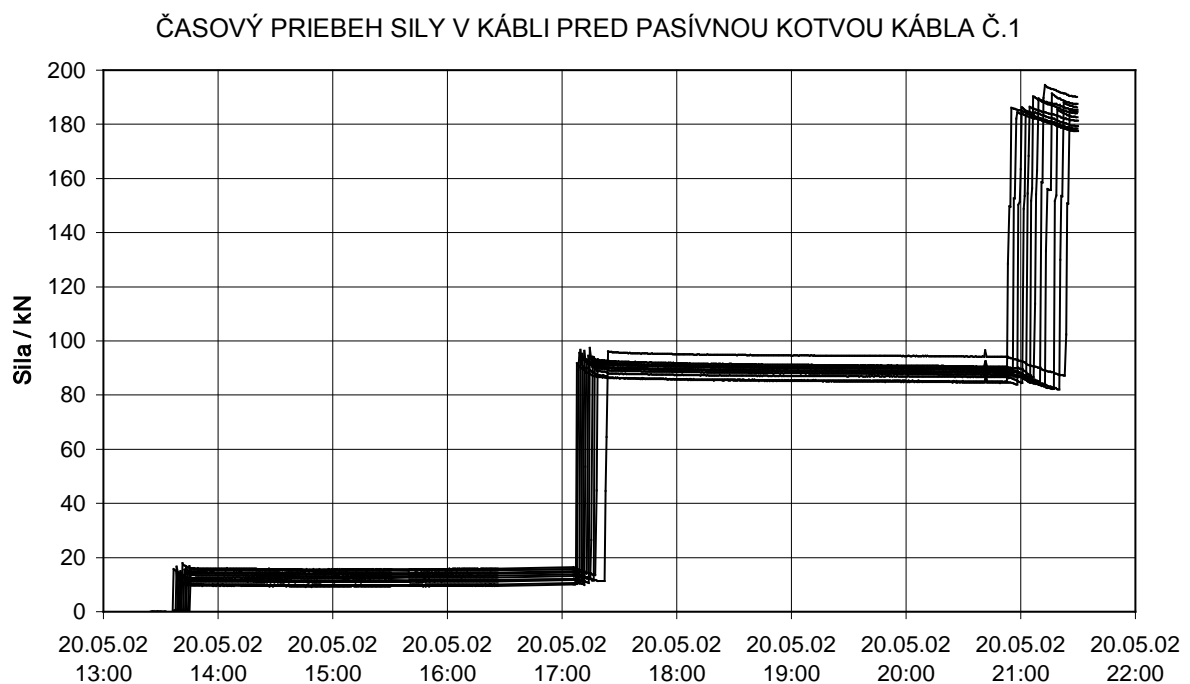


Obr.4 Schéma vedenia predpínacích káblov na moste Bzenica



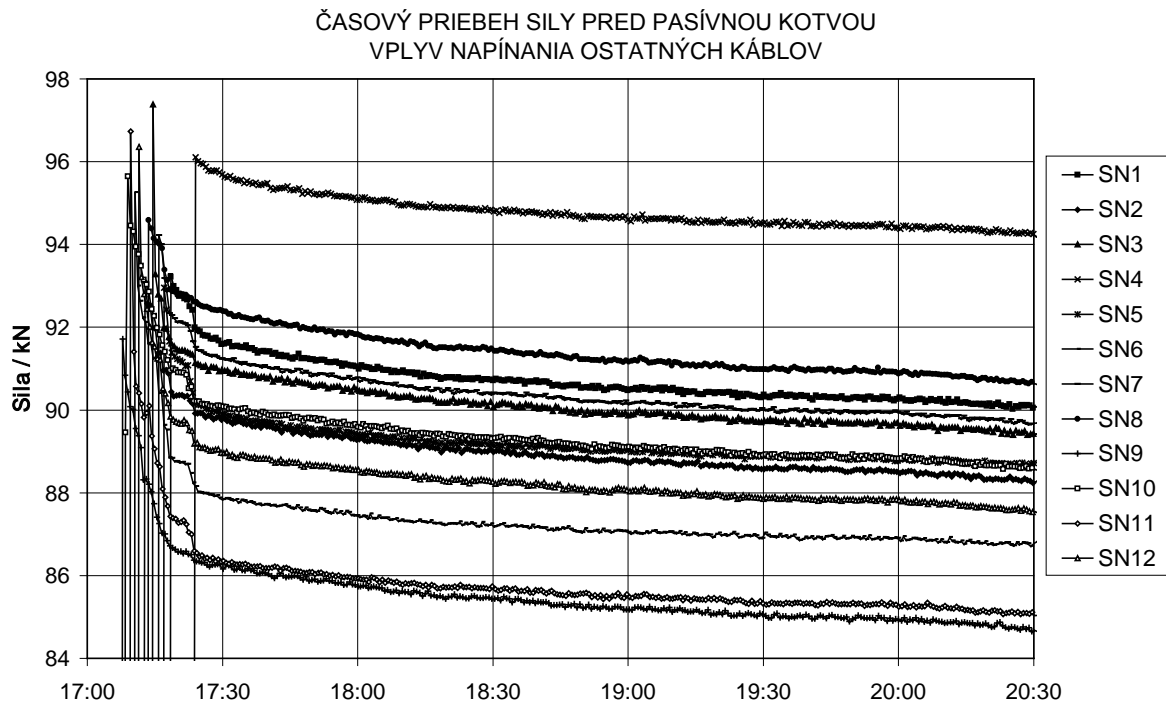
Obr.5 Umiestnenie snímača PMS13 pod pasívnou kotvou kábla č.1

Na meranie snímača PMS12 bola použitá 18 kanálová meracia aparátúra P150/18 v automatickom režime. Snímač bol nepretržite monitorovaný v priebehu celého procesu predpínania. Časový priebeh sily v jednotlivých lanách pod pasívnou kotvou kábla č.1 je znázornený na obr.6. Záznam podrobne dokumentuje celý priebeh sily v kábli. Po napnutí kábla na 10% (vyrovnanie) boli rovnako napnuté ostatné káble. V ďalšej etape boli káble napínané na 50% predpínacej sily. Na obr.7 je znázornený vplyv napínania ostatných káblov na silu v monitorovanom kábli.

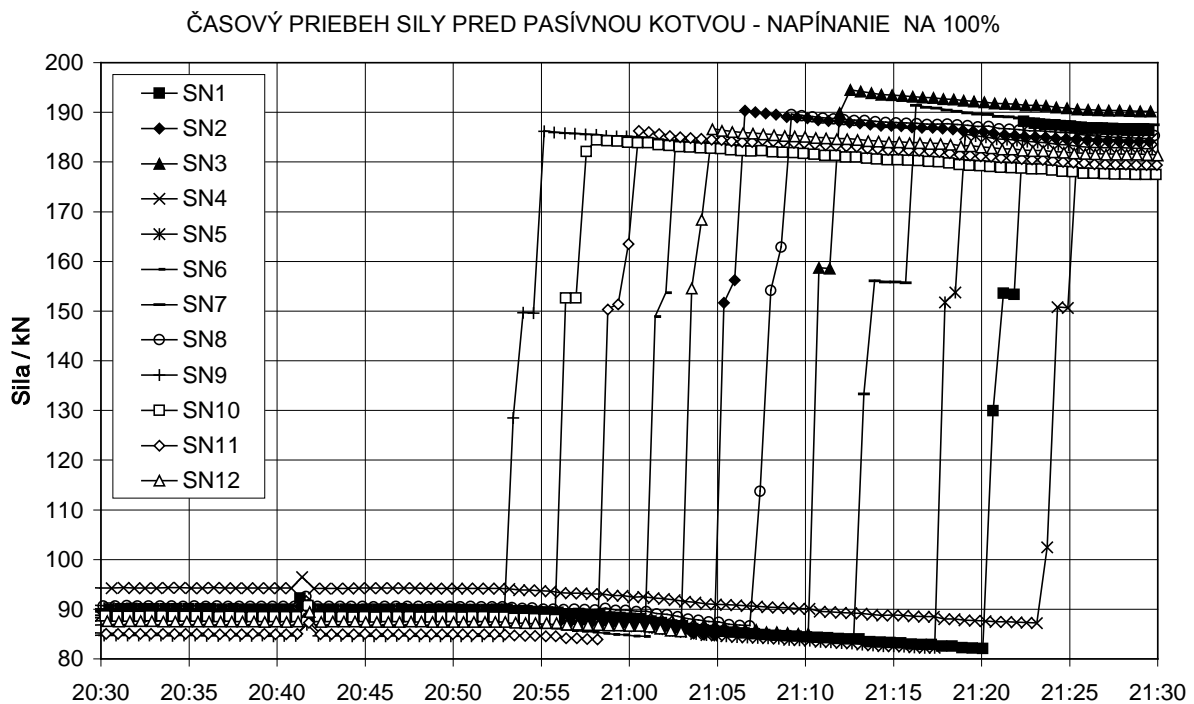


Obr.6 Časový priebeh sily v kábli pred pasívnou kotvou počas predpínacích prác

Poslednou etapou predpínania bolo dopnutie na plnú hodnotu predpínacej sily. Na obr.8 je znázornený úbytok sily v kábli v dôsledku postupného predpínania. Výsledné hodnoty sily v jednotlivých lanách sú zhrnuté v TAB.2. Pre presný výpočet koeficientov trenia v zakrivení by bolo potrebné osadiť multilanový snímač aj pod aktívnu kotvu, pretože pri malých hodnotách koeficientu trenia (orientačne vychádza hodnota 0,06-0,09) je potrebné veľmi presne merať pomery síl.



Obr.7 Vplyv predpínania ostatných káblov na silu v kábli č.1 napnutom na 50%



Obr.8 Straty z postupného predpínania pri napínaní kábla č.1 na 100%

TAB.2 Výsledné hodnoty sily v jednotlivých lanách kábla č.1

SNÍMAČ	PORADIE NAPÍNANIA	MAXIMÁLNA SILA PRED ZAKOTVENÍM [kN]	VÝSLEDNÁ SILA PO UKONČENÍ NAPÍNANIA [kN]	STRATA Z POSTUPNÉHO PREDPÍNANIA [kN]
SN9	1	186,18	178,41	7,76
SN10	2	184,43	177,48	6,96
SN11	3	186,26	179,40	6,85
SN6	4	184,75	177,63	7,12
SN12	5	186,56	181,29	5,26
SN2	6	190,31	184,08	6,22
SN8	7	189,56	185,29	4,27
SN3	8	194,49	190,19	4,29
SN7	9	191,37	187,48	3,89
SN5	10	185,53	182,59	2,94
SN1	11	188,19	186,36	1,83
SN4	12	185,51	184,63	0,88
STREDNÁ HODNOTA SILY / kN		<b>187,76</b>	<b>182,90</b>	<b>4,86</b>

## Záver

Multilanový EM snímač na rozdiel od bežne používaných prstencových dynamometrov umožňuje merať sily v jednotlivých lanách kábla, čo je veľmi dôležité najmä pri mnoholanových kábloch, napínaných po jednotlivých lanách. Ak je kábel navyše dynamicky namáhaný (záves zaveseného alebo visutého mosta), z hľadiska únavovej životnosti je rovnomerné rozdelenie sily medzi jednotlivé laná rozhodujúce. Experimenty, vykonané in-situ, umožnili navrhnúť multilanový snímač s podstatne menšou výškou. Snímač pod kotvu má výšku maximálne 85 mm, čo je zrovnateľné s výškou kotevnej objímky a podstatne neovplyvní geometriu kotvy.

V porovnaní s dostupnými prstencovými dynamometrami, necitlivými na nerovnomerné zaťaženie, je cena multilanového snímača podstatne nižšia (zrovnateľný prstencový dynamometer stojí cca. 160.000 Sk). Multilanový snímač poskytuje najúplnejšiu informáciu o stave viačlanového kábla, vrátane možnosti dlhodobého monitorovania sily.

## Literatúra

[1] Fabo, P., Jarosevic, A., Chandoga, M.: Health Monitoring of the Steel Cables Using the Elasto-Magnetic Method, Proceedings of IMCE'02, New Orleans, November 17-22, 2002