



PRAKTICKÉ ZKUŠENOSTI S NEPŘÍMÝM MĚŘENÍM PRŮHYBŮ PŘI STATICKÝCH ZATĚŽOVACÍCH ZKOUŠKÁCH

30. MEZINÁRODNÍ SYMPOZIUM MOSTY

Ing. Tomáš Dejmek

*diagnostik stavebních konstrukcí
INSET s.r.o., Divize energetika*

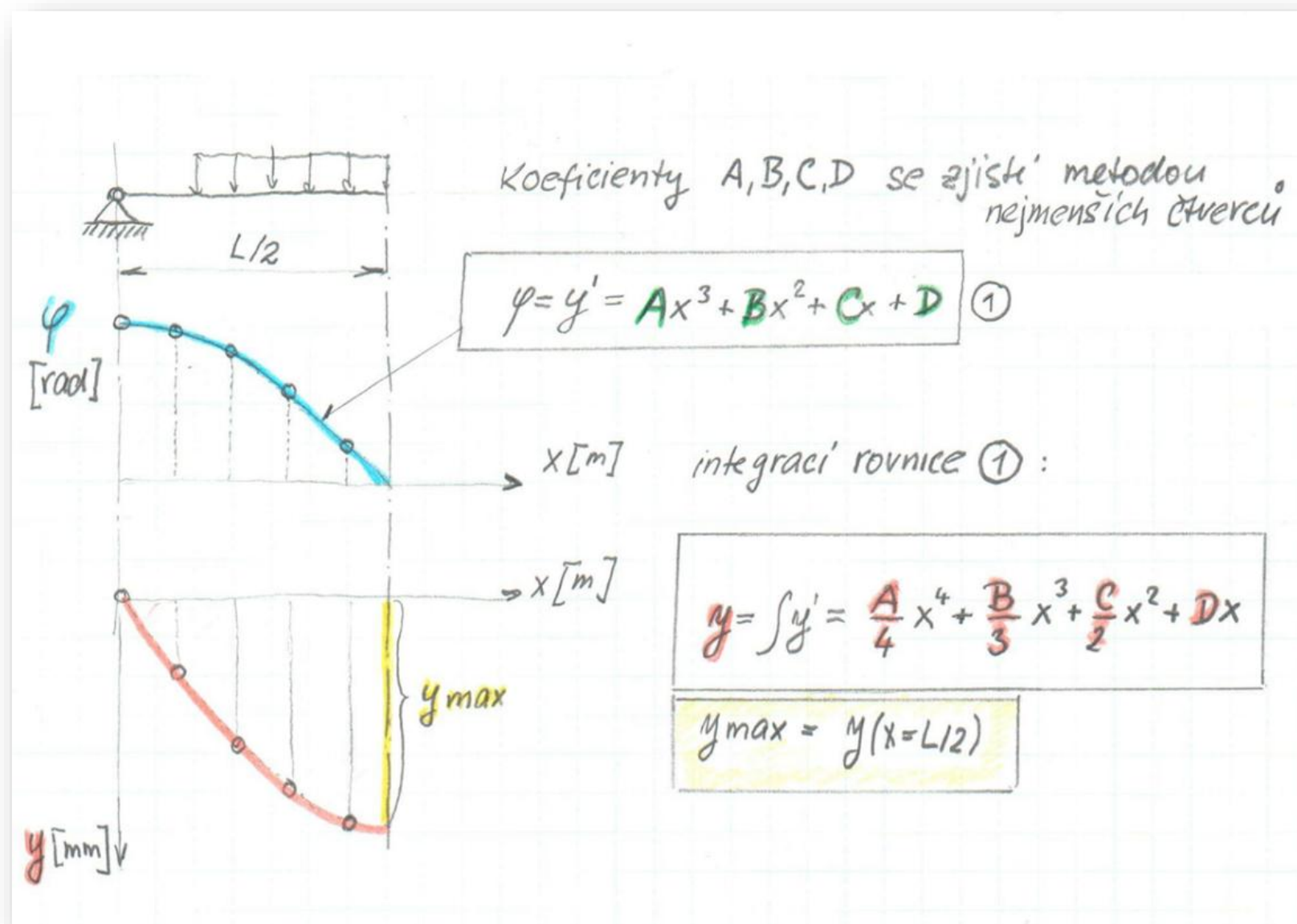




ÚVOD

- Statické zatěžovací zkoušky jako základní metoda ověřování skutečného chování mostních konstrukcí.
- Měření při zatěžovacích zkouškách komplikováno často **různými okrajovými podmínkami** (omezený přístup pod konstrukci pro umístění snímačů).
- Současná řešení nemusí poskytovat dostatečnou přesnost nebo jsou finančně náročné → **prostor pro nové metody měření.**
- Nepřímé měření se zakládají na **měření jiných veličin** (např. natočení) a následném **dopočtu průhybu** na základě matematických modelů.

METODIKA NEPŘÍMÉHO MĚŘENÍ PRŮHYBŮ



Princip metodiky nepřímého měření průhybu

- Navržená metoda vychází ze vztahu mezi ohybovou deformací (průhybem) a úhlem natočení.
- Velikost maximálního průhybu a jeho poloha je spjatá s polohou maximálního úhlu natočení → **pro jednoduché příklady lze odvodit přímé vztahy a určit převodní koeficient K.**
- Při SZZ aproximace funkce natočení pomocí polynomu **3. stupně** → koeficienty polynomu stanoveny pomocí metody nejmenších čtverců z hodnot natočení měřených na konstrukci.
- Funkci průhybu získáme integrací aproximované funkce.

PROVEDENÉ STATICKÉ ZATĚŽOVACÍ ZKOUŠKY

- Při SZZ provedeno porovnání konvenční metody měření průhybů s nepřímou metodou.
- Průhyby měřeny dle akreditované metodiky v souladu s ČSN 73 6209 pomocí strunových LVDT snímačů.
- Představení praktických zkušeností a výsledků u tří případových studií:
 - ✓ železniční most přes silnici II. třídy;
 - ✓ silniční most přes dálnici;
 - ✓ železniční most přes komunikaci II. třídy a řeku.





Průběh zatěžovací zkoušky železničního mostu v Plzni

PROVEDENÉ STATICKÉ ZATĚŽOVACÍ ZKOUŠKY

Železniční most přes silnici II. třídy

- Nosná konstrukce tvořena železobetonovou deskou se zabetonovanými 5 nosníky, staticky se jedná o rozpěrákový rám s rozpětím pole 21,0 m.
- **Základní informace o zatěžovací zkoušce:**
 - ✓ SZZ navržena v 1 ZS;
→ vyvození maximální průhybu uprostřed rozpětí;
 - ✓ parní lokomotiva řady 475.111 o hmotnosti 160,89 t (účinnost 53%).

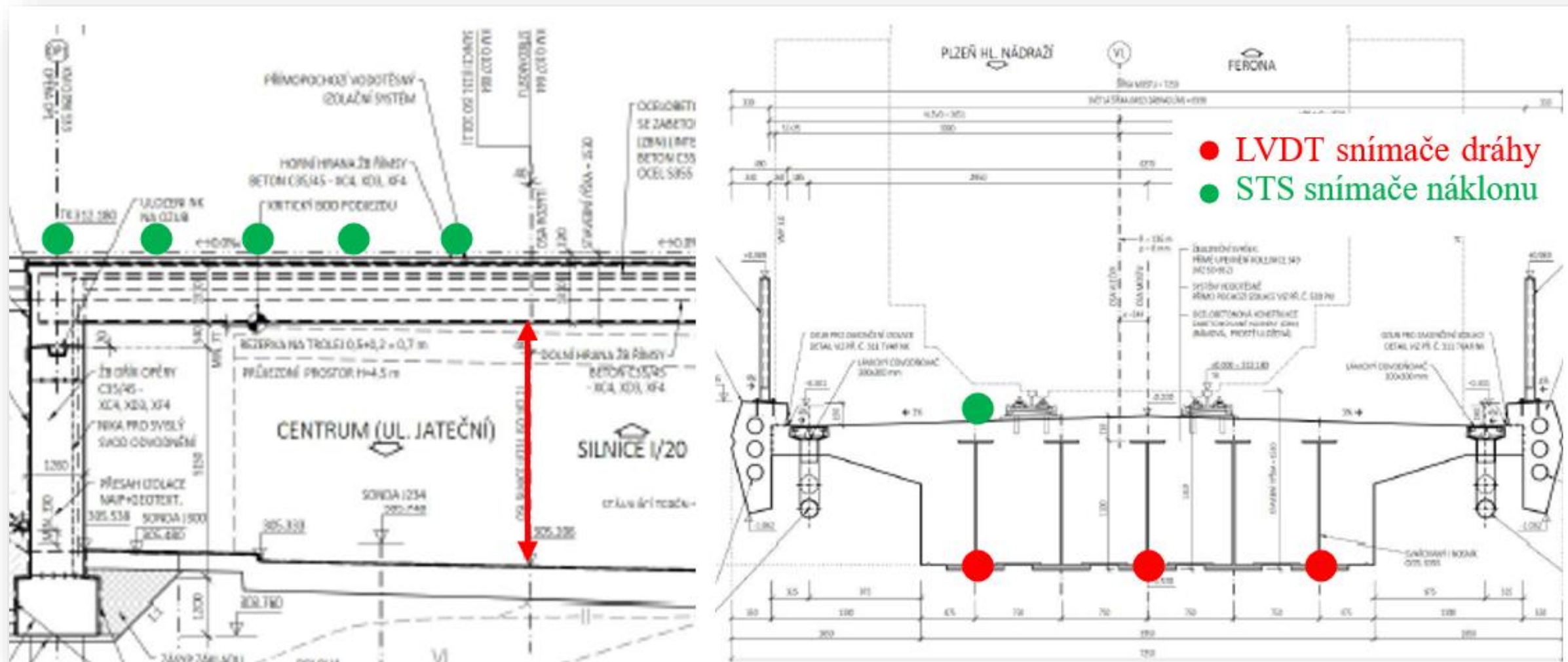
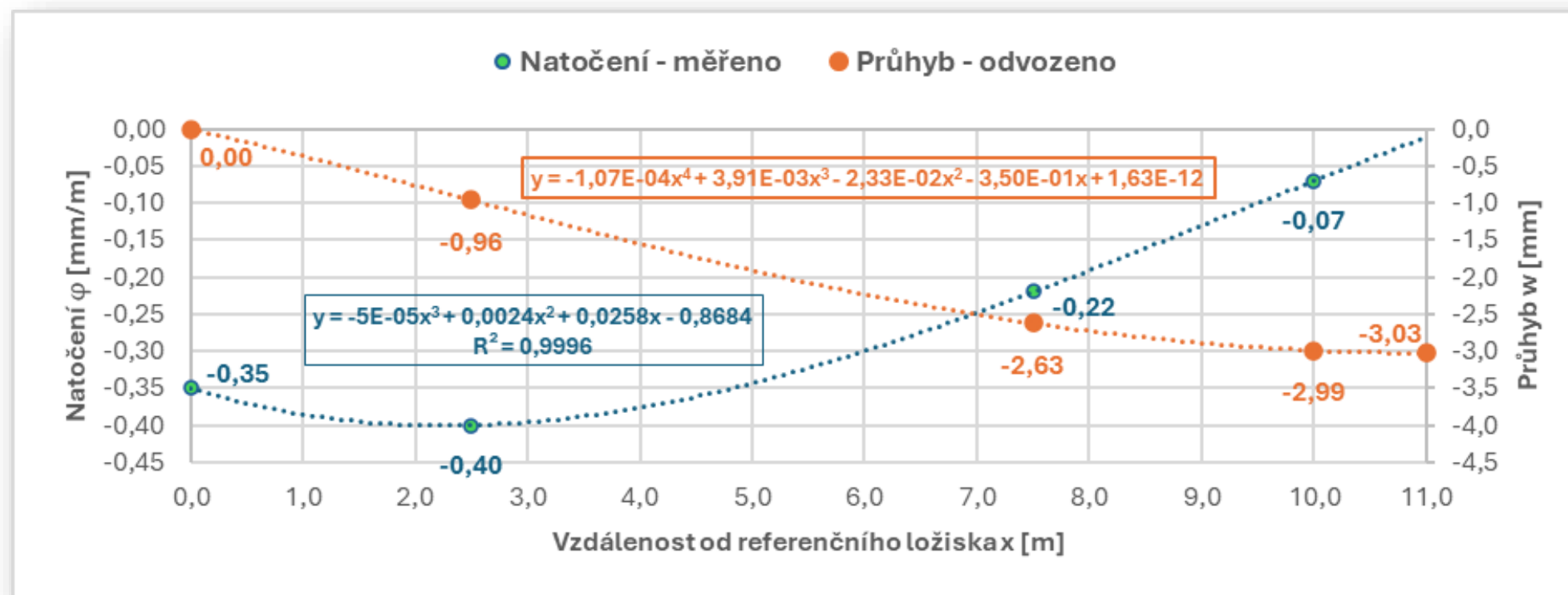


Schéma umístěných snímačů při SZZ

Detail umístění snímače náklonu



- Referenční průhyb: $-3,06 \pm 0,07$ mm
- **Nepřímá metoda: $-3,03 \pm 0,15$ mm**
- Dosažená shoda obou metod činila 99 %

Výsledné hodnoty průhybů stanovené nepřímou metodou

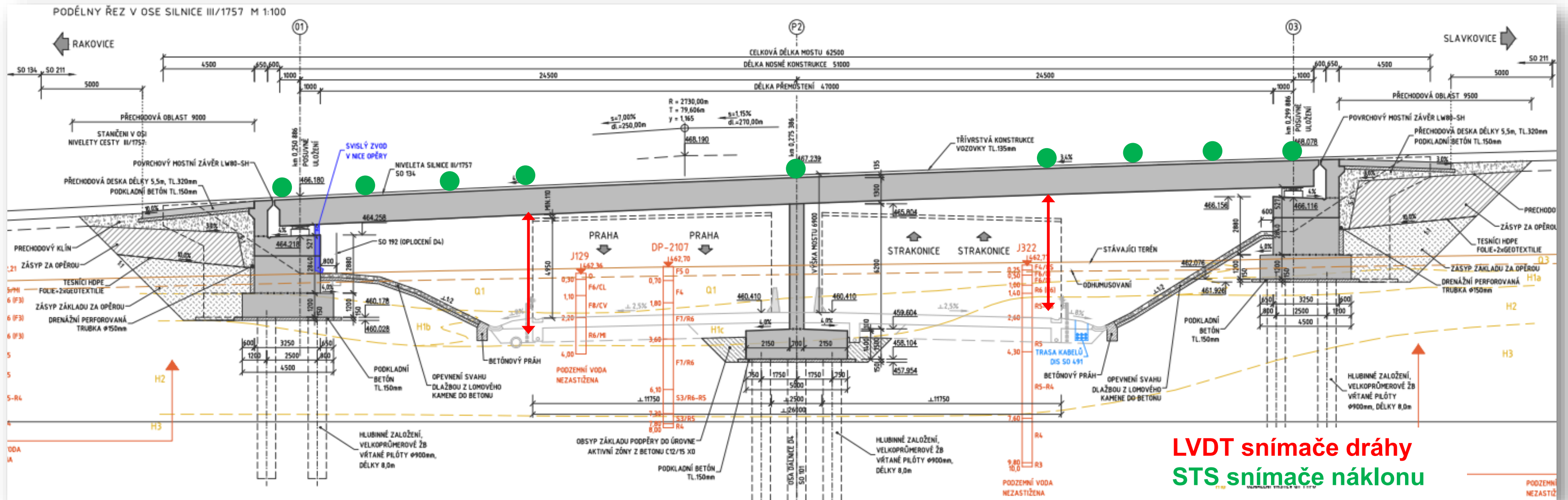
PROVEDENÉ STATICKÉ ZATĚŽOVACÍ ZKOUŠKY

Silniční most přes dálnici

- Betonová předpjatá konstrukce je navržena jako spojitá o dvou polích o rozpětích 2x24,5 m, příčný řez tvoří lichoběžníkový průřez s oboustrannými konzolami.
- **Základní informace o zatěžovací zkoušce:**
 - ✓ **SZZ navržena ve 2 ZS**
→ vyvození maximální průhybu v každém poli;
 - ✓ **4 nákladní automobily hmotnosti 137,28 t (účinnost 57 %);**
 - ✓ **nepřímé měření průhybu aplikováno na okraj levé konzoli.**



Průběh zatěžovací zkoušky silničního mostu



Zatěžovací stav	Levá konzola – pole 1		Levá konzola – pole 2	
	Referenční průhyb	Nepřímá metoda	Referenční průhyb	Nepřímá metoda
ZS1	-4,63 ± 0,07 mm	-4,71 ± 0,17 mm	1,13 ± 0,07 mm	1,09 ± 0,08 mm
ZS2	1,48 ± 0,07 mm	1,58 ± 0,10 mm	-4,53 ± 0,07 mm	-4,54 ± 0,18 mm

Výsledné hodnoty průhybů stanovené nepřímou metodou

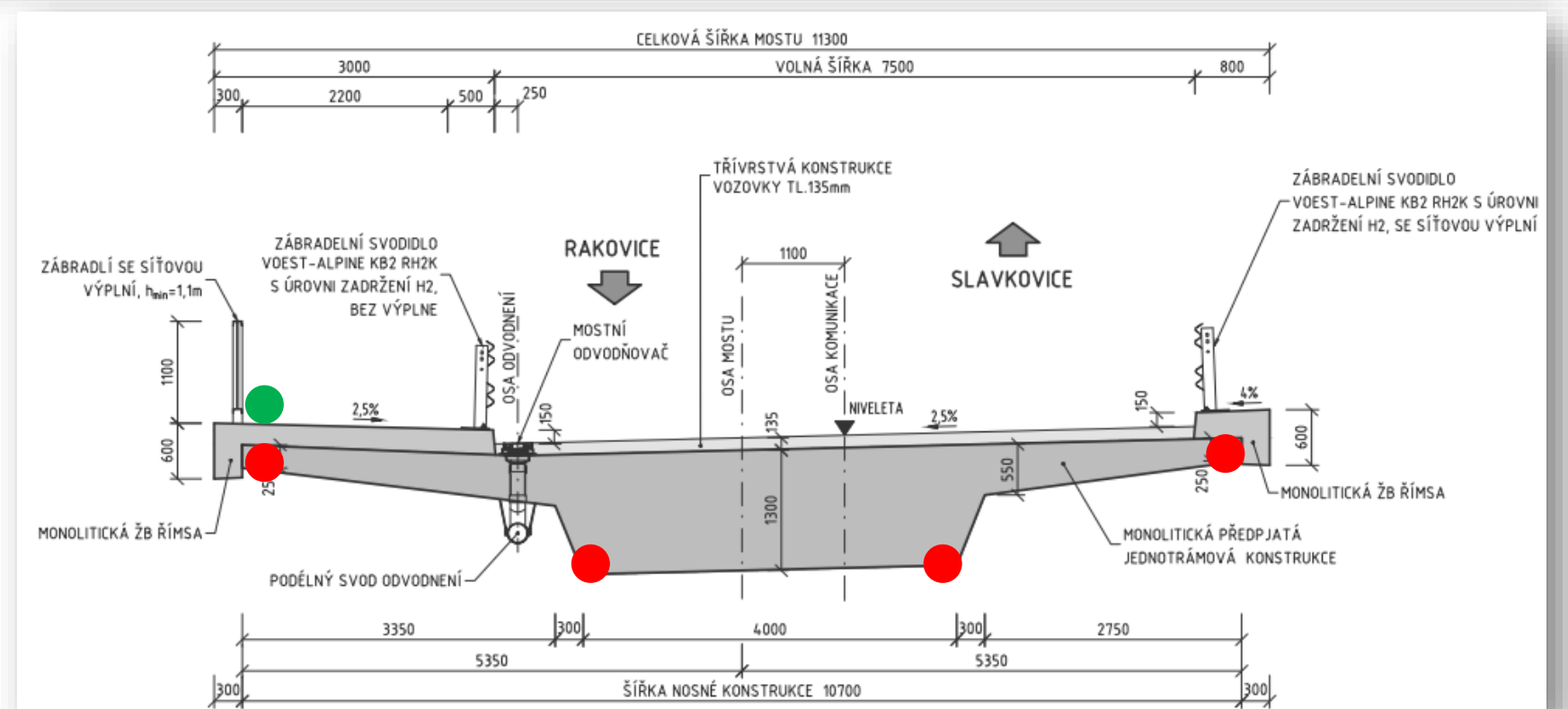


Schéma umístěných snímačů při SZZ

PROVEDENÉ STATICKÉ ZATĚŽOVACÍ ZKOUŠKY



Průběh zatěžovací zkoušky železničního mostu v Ústí nad Labem

Železniční most přes komunikaci II. třídy a řeku

- Nosnou konstrukci dvoupolového mostu s teoretickým rozpětím 34,52 m a 17,18 m tvoří dva plnostěnné ocelové nosníky spřažené s železobetonovou deskou, staticky obě pole působí jako prosté nosníky.
- Základní informace o zatěžovací zkoušce:
 - ✓ SZZ navržena pro hlavní pole ve 2 ZS → vyvození maximální průhybu uprostřed rozpětí a maximální zatížení ložisek;
 - ✓ sestava zatížení o hmotnosti 298,8 t;
 - ✓ natočení konstrukce sledováno po celé délce dolní pásnice pravého nosníku pomocí bezdrátových snímačů IOTIN (celkem 9ks).



Bezdrátový snímač náklonu IOTIN

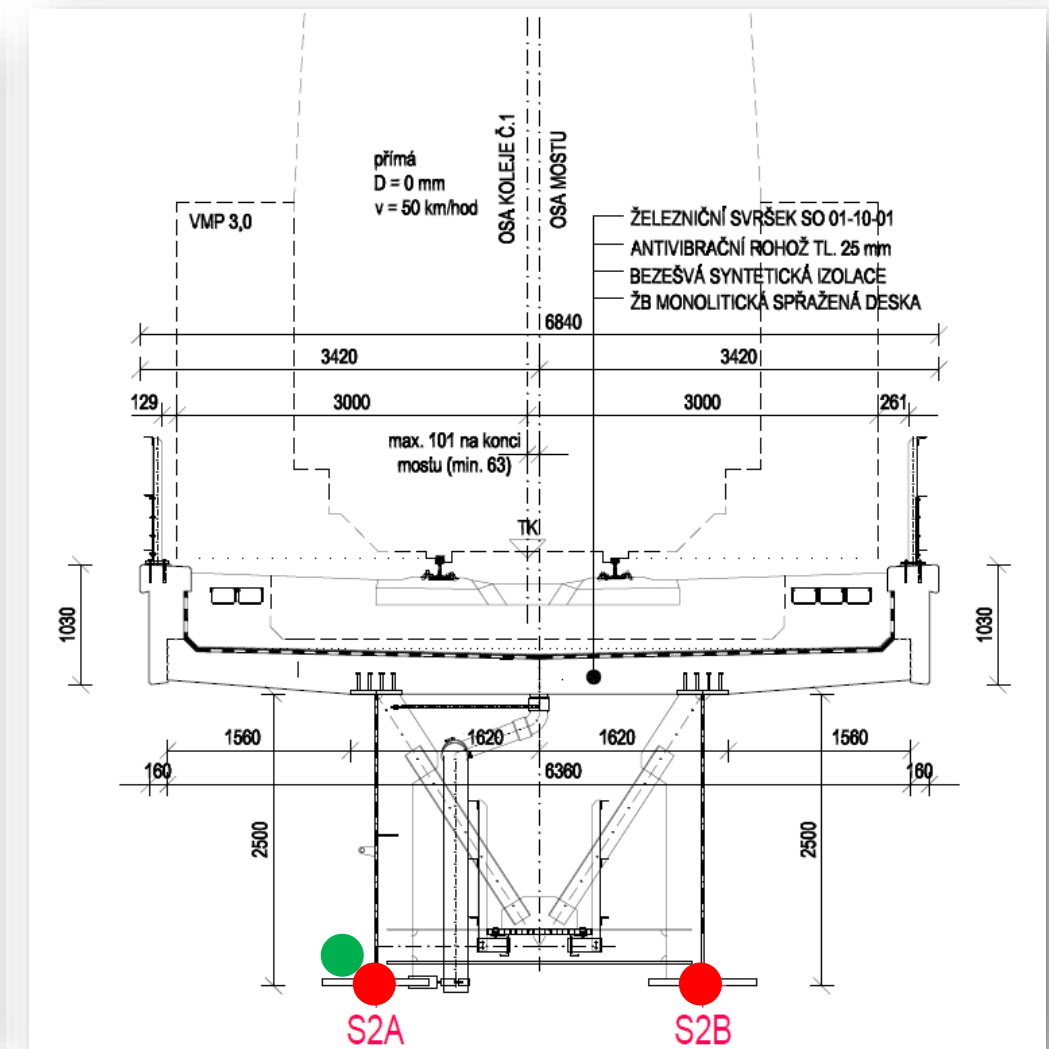
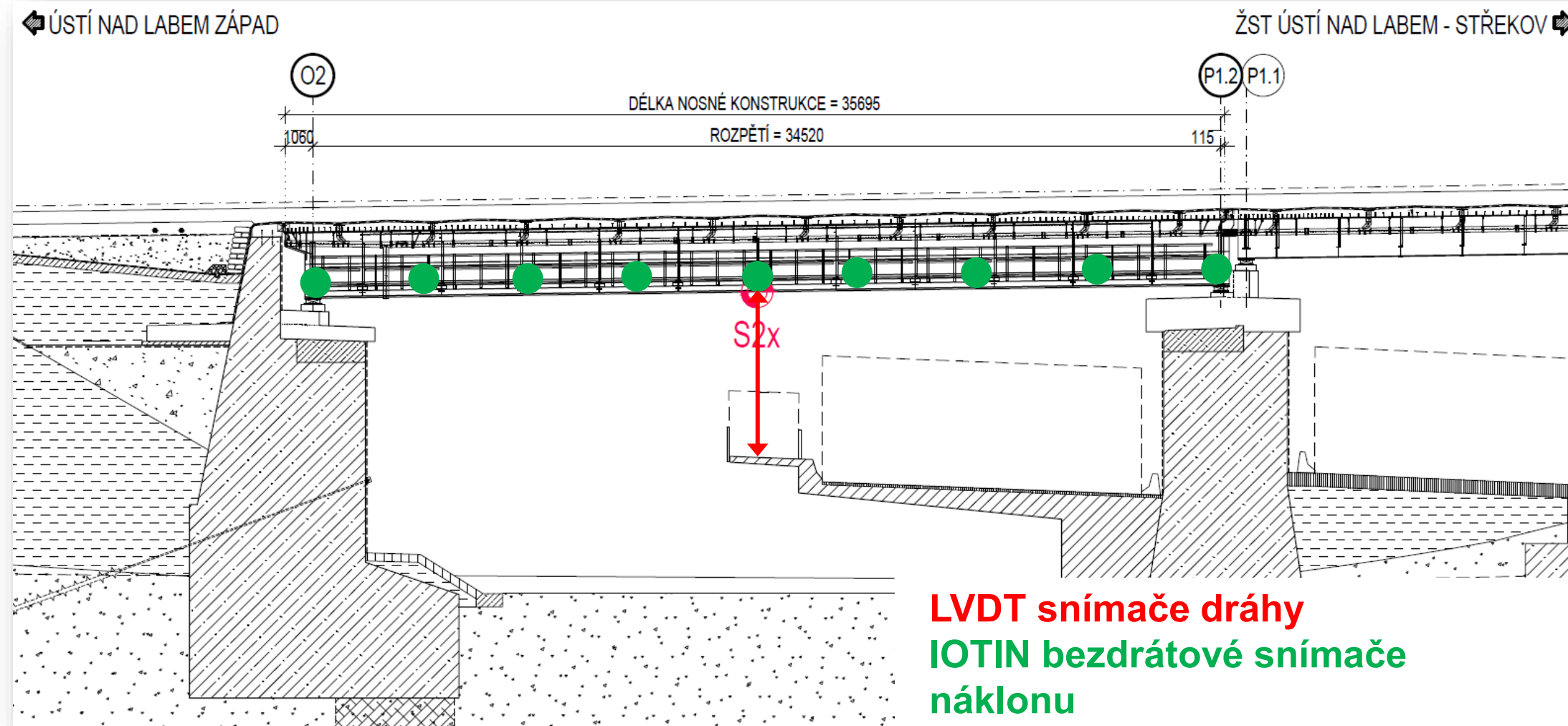
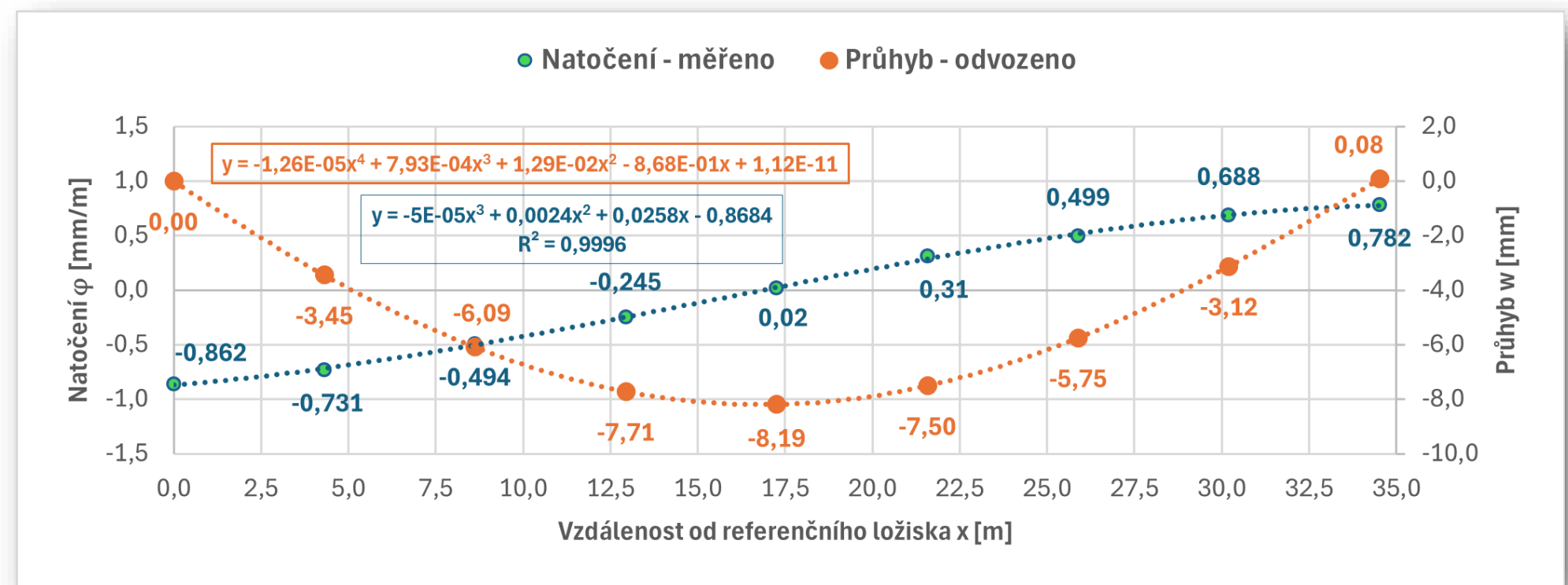


Schéma umístěných snímačů při SZZ

- Referenční průhyb: $-8,47 \pm 0,09$ mm
- Nepřímou metoda: $-8,19 \pm 0,20$ mm
- Dosažená shoda obou metod činila 97 %



Výsledné hodnoty průhybů stanovené nepřímou metodou

VYUŽITÍ METODIKY V MONITORINGU KONSTRUKCÍ

- Metodika jako efektivní nástroj i pro dlouhodobé monitorování průhybu.
- Bez nutnosti instalace snímačů pod úrovní mostovky.
- **Získání přepočtového koeficientu K mezi natočením a průhybem:**
 - ✓ pomocí výpočetního modelu;
 - ✓ provedení krátkodobého měření (obdoba měření při SZZ).
- Časový záznam průběhu změny úhlu natočení konstrukce (např. při přejezdu vozidla) → **lze následně přepočítat na hodnotu průhybu.**
- Při správném návrhu měřicí linky lze průhyb stanovit i pomocí jediného snímače náklonu.




ZÁVĚR

- Porovnání výsledků nepřímého měření průhybů s konvenčními metodami prokázalo vysokou shodu (**přesnost měření $\pm 0,1$ mm**).
- Nové možnosti při měření v rámci statických zatěžovacích zkoušek a monitoringu konstrukcí.
- Rychlost vývoje měřicí techniky → **počet snímačů a délka instalace již není limitující faktor**.
- IoT snímače přináší další zjednodušení a zefektivnění.



PODĚKOVÁNÍ

Velké poděkování náleží mému kolegovi **Ing. Karlu Karmazínovi**, autorovi představené metodiky, za poskytnutí podkladů z provedených měření. Jeho odborný přínos a ochota sdílet výsledky své práce významně přispěly k odbornému zpracování článku.





DĚKUJI ZA POZORNOST



INSET s.r.o.
Lucemburská 1170/7,
130 00 Praha 3 - Vinohrady
IČO: 03579727, DIČ: CZ03579727



Ing. Tomáš Dejmek
dejmek.tomas@inset.com
diagnostik stavebních konstrukcí



+420 725 342 733



www.inset.com