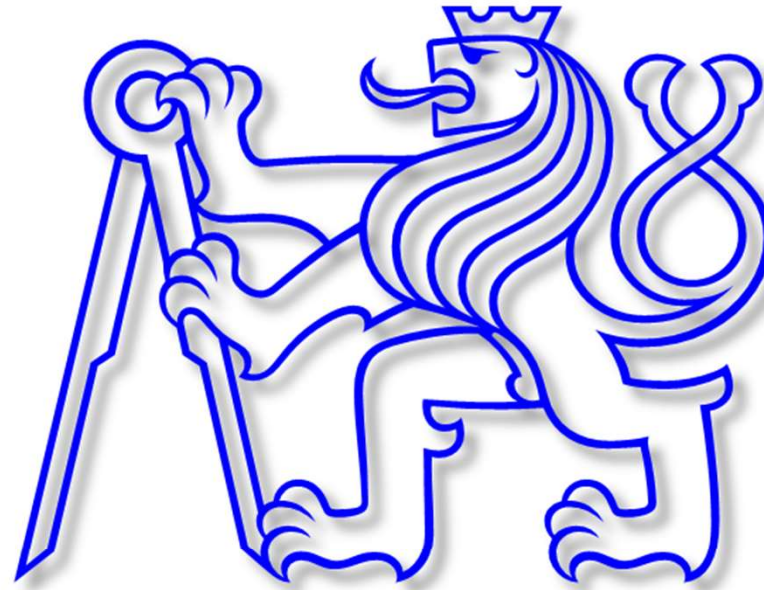


# **Předmět: 132DKBU**

**Experimentální stanovení osových a předpínacích sil v konstrukčních prvcích staveb (např. v táhlech, závěsech nebo předpínací výztuži)**



**prof. Ing. Michal POLÁK, CSc.**

**Fakulta stavební, ČVUT v Praze**

© 2004 - 2024

# **Konstrukce s důležitým konstrukčním prvkem namáhaným velkou osovou silou:**

## **Příklady:**

- **závěsy zavěšených konstrukcí, mostů, lávek,**
- **táhla visutých konstrukcí, mostů, lávek,**
- **táhla lanoplachtových konstrukcí,**
- **táhla kotvených stožárů,**
- **táhla vazeb,**
- **vnitřní předpínací výztuž konstrukcí z předpjatého betonu,**
- **vnější předpínací výztuž konstrukcí z předpjatého betonu,**
- **apod.**

# Závěs - důležitý prvek stavební konstrukce: Lávka pro pěší přes D5 Plzeň - Černice:



# Závěs - důležitý prvek stavební konstrukce:

## Zavěšený most přes rybník Jordán u Tábora:

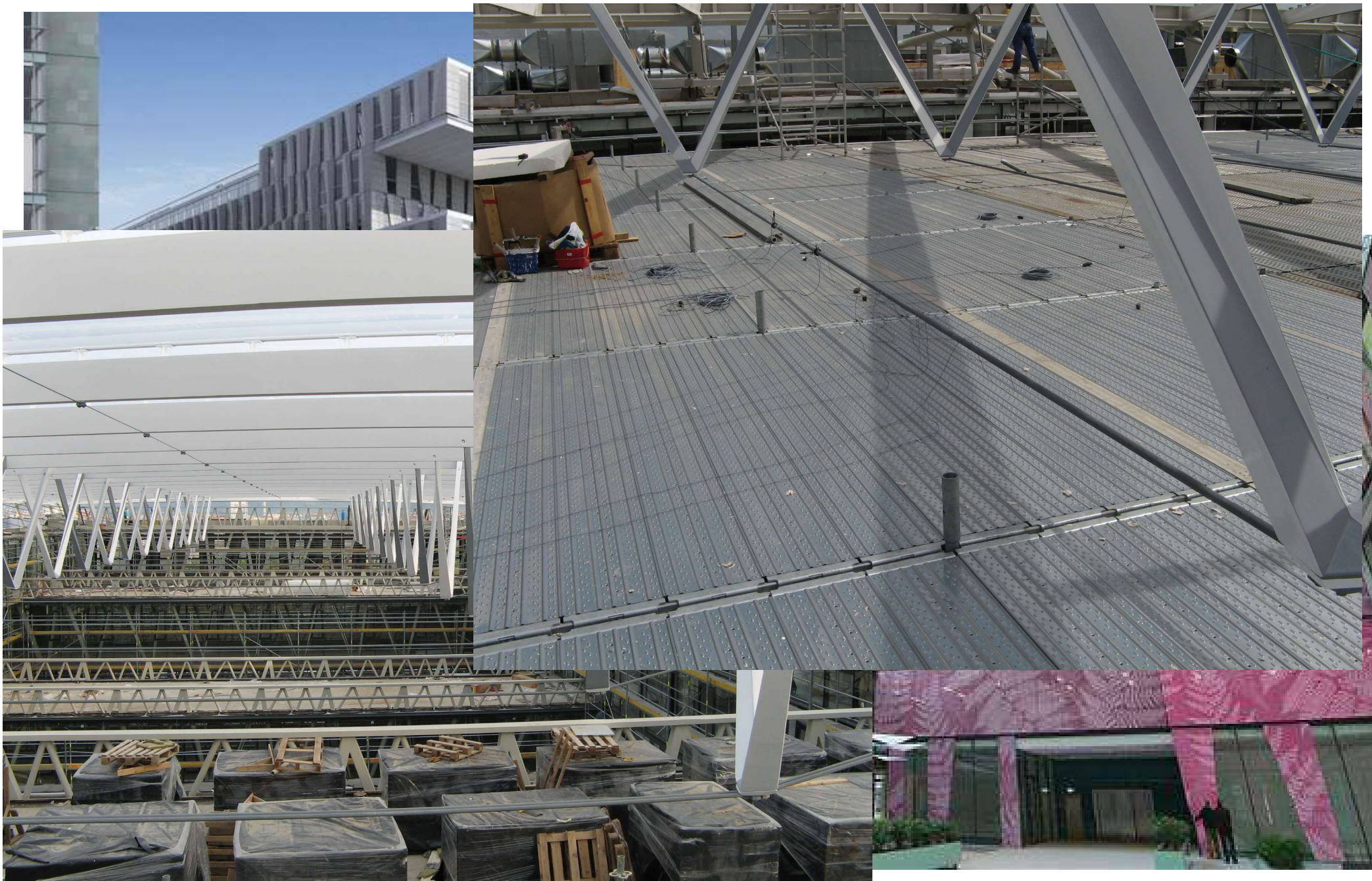


# Táhlo - důležitý prvek stavební konstrukce: Lanoplachtová konstrukce zastřešení tramvajové zastávky K Barrandovu:



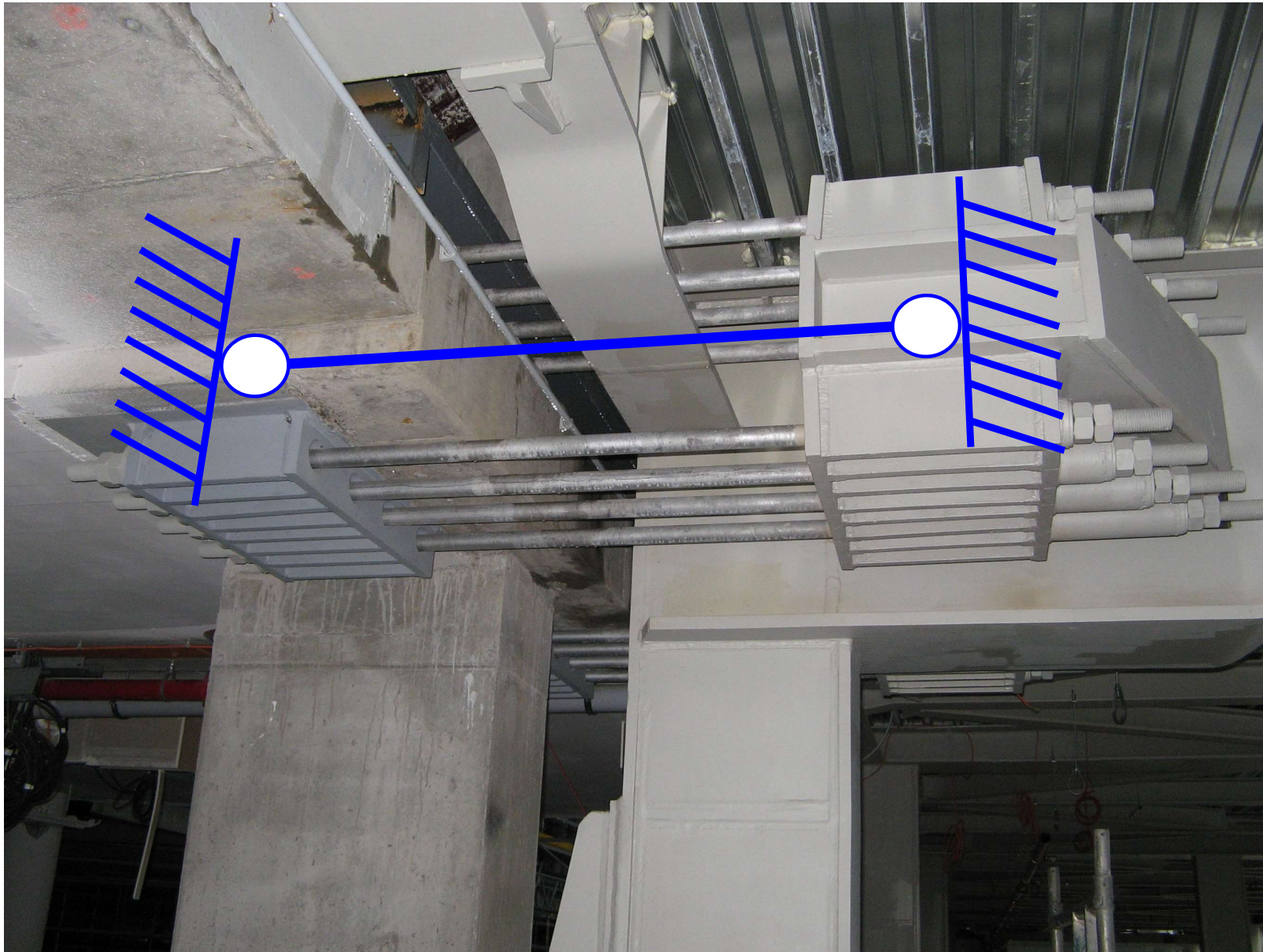
# Táhlo - důležitý prvek stavební konstrukce:

Budova Amazon Court v Praze 8 (v Karlíně):



# Táhlo vnitřní vazby - důležitý prvek stavební konstrukce:

Budova Amazon Court v Praze 8 (v Karlíně):



# Určování osové síly v táhlech, závěsech a předpínací výztuži stavebních konstrukcí:

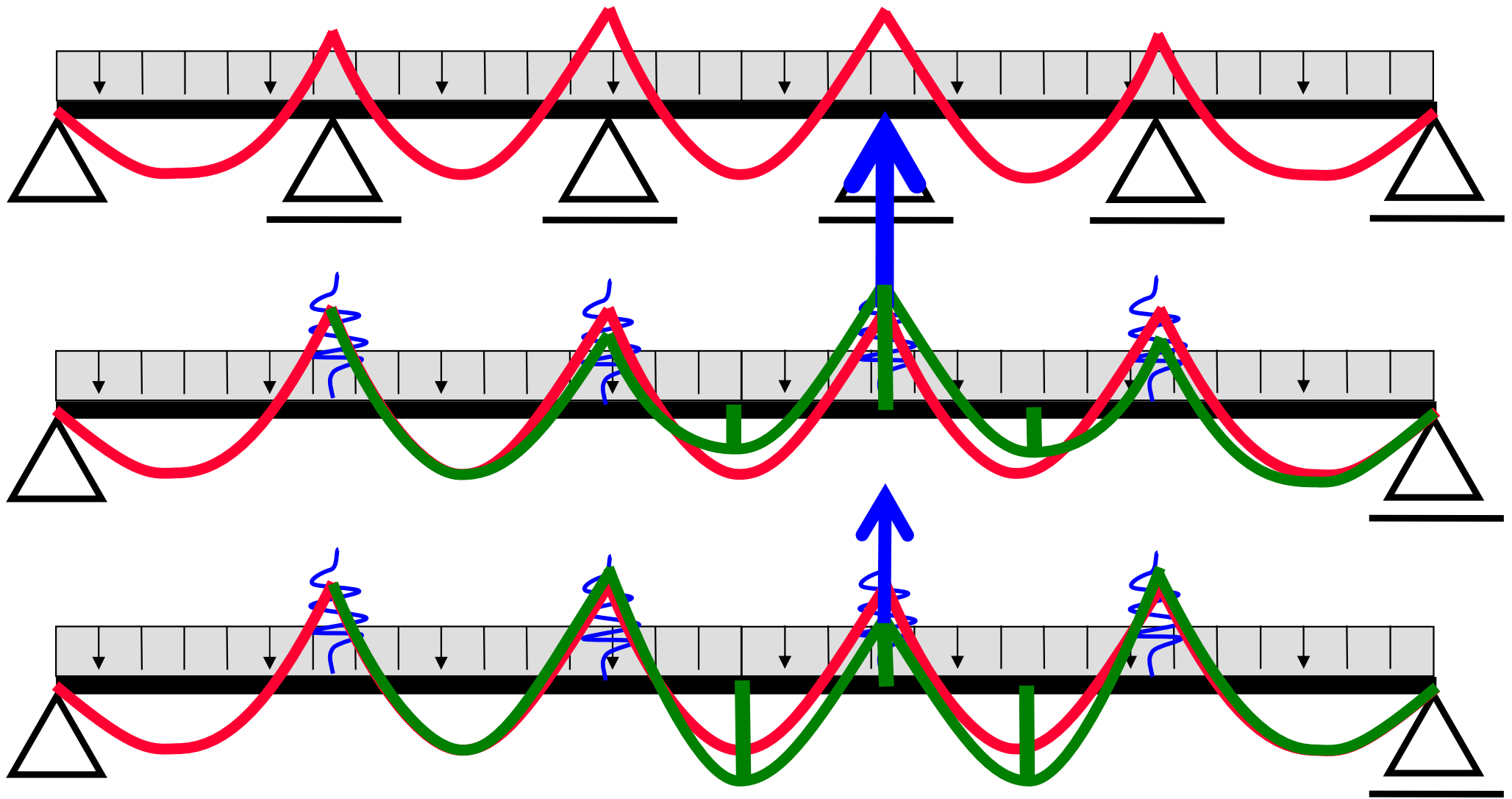
## Disciplína technické diagnostiky:

- zjišťování technického stavu sledovaného objektu – stanovení normálové, osové nebo předpínací síly  $N$ ,
- nedestruktivní bezdemontažní cestou,
- co nejmenší nejistota získaných výsledků experimentu,
- závadou nebo poruchou zkoumané stavební konstrukce jsou zpravidla dvě varianty:
  - příliš malá osová síla v konstrukčním prvku,
  - příliš velká osová síla v konstrukčním prvku.



# Určování osově síly v táhlech, závěsech a předpínacích výztuži stavebních konstrukcí:

## Namáhání mostovky zavěšeného mostu:



# Určování osově síly v táhlech, závěsech a předpínací výztuží stavebních konstrukcí:

## Nejčastěji používané metody ve stavební diagnostice:

- **Určování osově síly  $N$  přímo:**
  - snímač síly (siloměr, dynamometr).
- **Určování osově síly  $N$  nepřímě:**
  - změna poměrné deformace  $\varepsilon$ ,
  - závislost příčné síly a příčného vychýlení lana,
  - frekvenční metoda - vlastní frekvence a vlastní tvary zkoumaného prvku,
  - magnetoelastická metoda – stav magnetoelastických vlastností.

# Přímé měření osově síly N pomocí snímače síly:



an **HBK** company

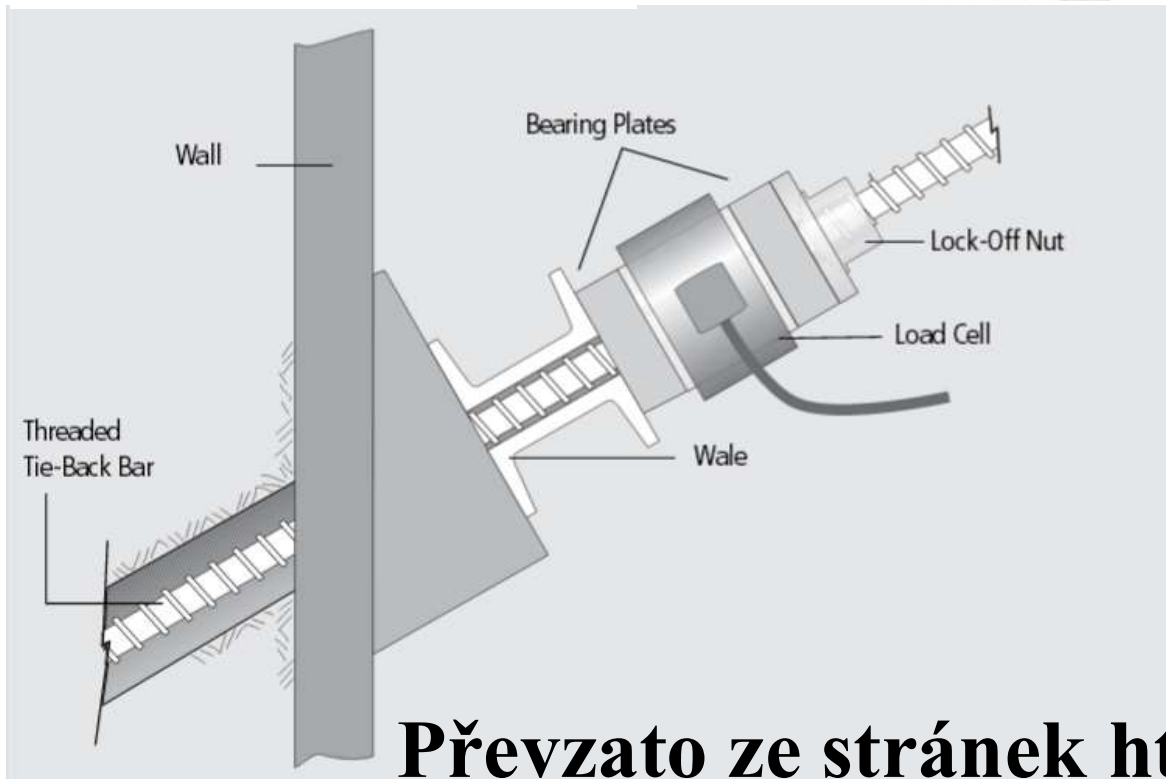
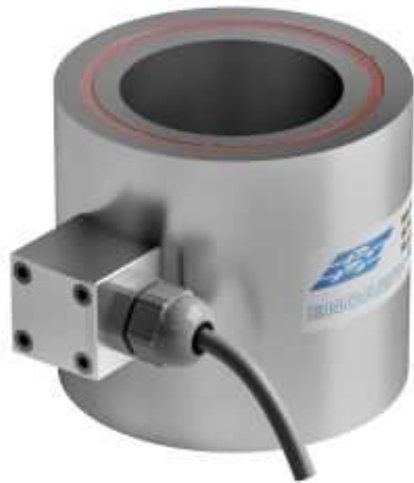
**Rozsah snímače ovlivňuje jeho velikost.**

**Snímač síly musí být zapojen sériově mezi prvek a jeho kotvení na konstrukci.**



# Přímé měření osově síly N pomocí snímače síly:

ENCARDIO RITE



Převzato ze stránek <https://www.encardio.com/>

# Přímé měření osově síly N pomocí snímače síly:



# **Přímé měření osově síly $N$ pomocí snímače síly:**

## **Výhody:**

- **Síla je zpravidla určována absolutně bez ohledu na prvotní (nulové) čtení.**
- **Možnost kalibrace snímače před instalací, podstatné zvýšení přesnosti experimentu.**
- **Je možné použít standardní měřicí aparaturu.**
- **S některými typy snímačů je možné sledovat dynamický průběh síly.**

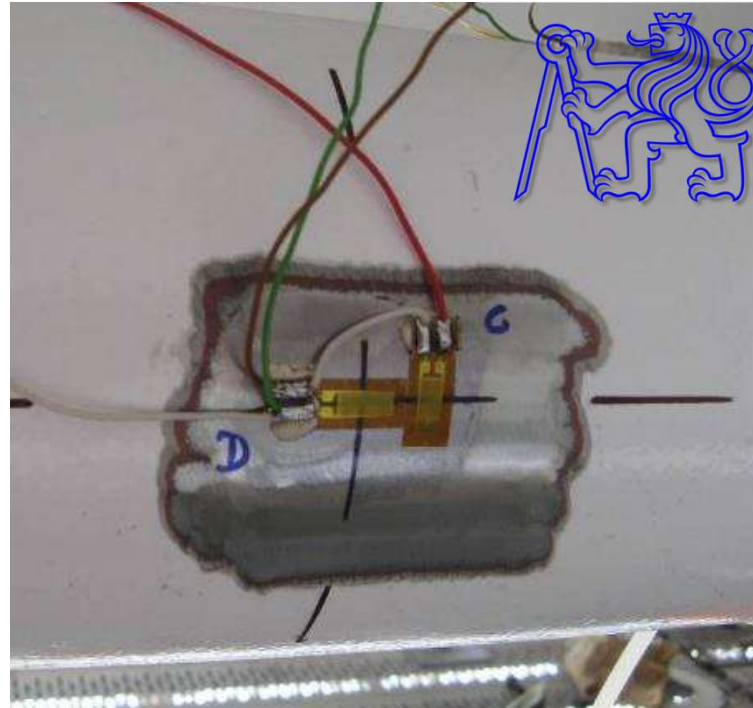
# **Přímé měření osově síly $N$ pomocí snímače síly:**

## **Nevýhody:**

- **Snímač musí být trvale instalován po celou dobu experimentu (po dobu životnosti konstrukce).**
- **Při případném odstraňování snímače je nutné sledovaný prvek deaktivovat a pak jej znovu aktivovat.**
- **Velikost snímače – musí přenést měřenou sílu.**
- **Cena snímače.**

# Sledování změny poměrné deformace prvku:

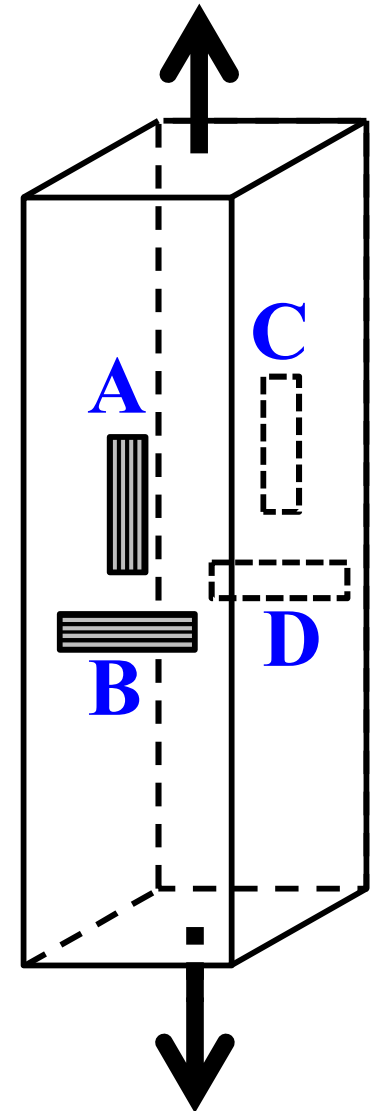
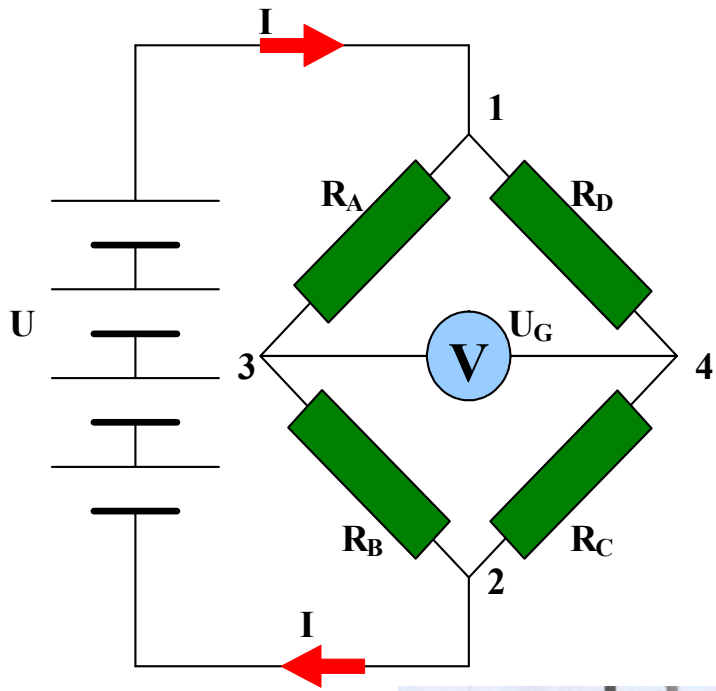
Odporové tenzometry nalepené na povrch sledovaného konstrukčního prvku s pevným povrchem:





# Sledování změny poměrné deformace prvku:

Tenzometry jsou k měřicí ústředně zapojeny do tzv. „plného mostu“:



$$\varepsilon' = \left( +\varepsilon_A - \varepsilon_B + \varepsilon_C - \varepsilon_D \right)$$

# Monitoring sil v závěsech železničního mostu Oskar:

## Kompensace jevů potenciálně zkreslujících výsledky:

Jevy potenciálně zkreslující výsledky experimentu:

- vliv rovnoměrné změny teploty,
- vliv nerovnoměrné změny teploty,
- vliv ohybového momentu  $M$ .

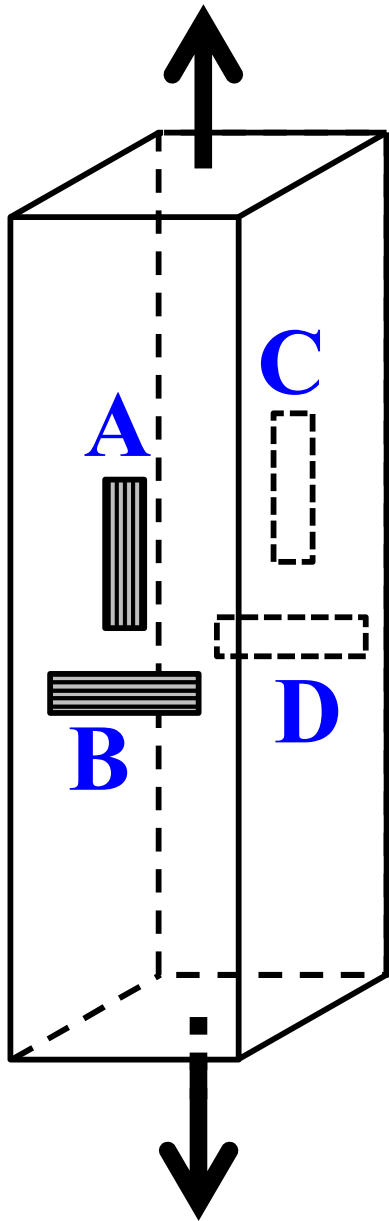
Řešení pomocí kompenzačních tenzometrů:

- kompenzační tenzometry nalepeny kolmo na podélnou osu,
- kompenzační tenzometry nalepené na nezávislé ocelové destičce.



# Sledování změny poměrné deformace prvku:

## Možnosti kompenzace vedlejších vlivů:

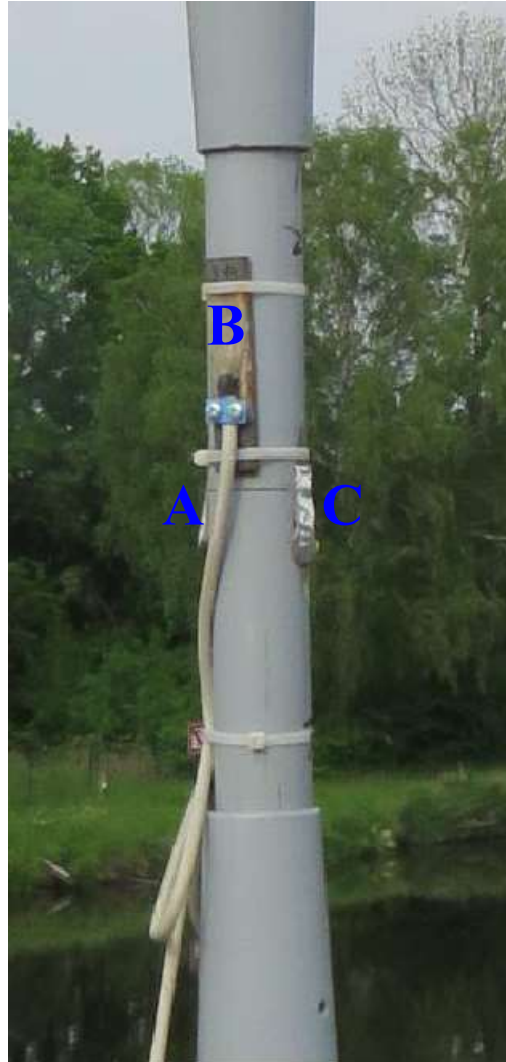
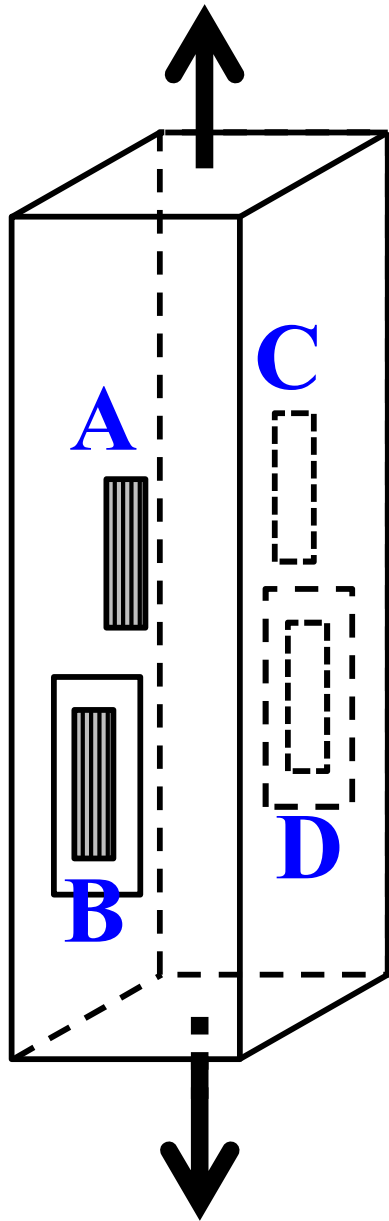


$$\begin{aligned}\varepsilon' &= [\varepsilon_A - \varepsilon_B + \varepsilon_C - \varepsilon_D] = \\ &= [(\varepsilon_{A,N} + \varepsilon_{A,M} + \varepsilon_{A,T}) - \\ &\quad - (-\mu(\varepsilon_{A,N} + \varepsilon_{A,M})) + \varepsilon_{B,T}] + \\ &\quad + (\varepsilon_{C,N} + \varepsilon_{C,M} + \varepsilon_{C,T}) - \\ &\quad - (-\mu(\varepsilon_{C,N} + \varepsilon_{C,M}) + \varepsilon_{D,T})]\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\varepsilon' &= [\varepsilon_A - \varepsilon_B + \varepsilon_C - \varepsilon_D] = \\ &= [\varepsilon_{A,N} - (-\mu \varepsilon_{A,N}) + \varepsilon_{A,N} - (-\mu \varepsilon_{A,N})] = \\ &= \varepsilon_{A,N} (1 + \mu + 1 + \mu) = \qquad \text{Ocel } \mu = \approx 0,3 \\ &= \varepsilon_{A,N} (2 + 2\mu) \Rightarrow \text{ocel } \approx 2,6 \cdot \varepsilon_{A,N}\end{aligned}$$

# Sledování změny poměrné deformace prvku:

## Možnosti kompenzace vedlejších vlivů:



$$\begin{aligned}\varepsilon' &= [\varepsilon_A - \varepsilon_B + \varepsilon_C - \varepsilon_D] = \\ &= [\varepsilon_{A,N} - (0) + \varepsilon_{A,N} - (0)] = \\ &= \varepsilon_{A,N} (1 + 0 + 1 + 0) = \\ &= \varepsilon_{A,N} 2\end{aligned}$$

# Sledování změny poměrné deformace prvku:

**Lana – profesionálně vyráběné příložné strunové tenzometry:**



**Výrobek firmy GEOKON - Model 4410 Strandmeter**

# Sledování změny poměrné deformace prvku:

## Výhody:

- Je možné stanovit absolutní velikost síly  $N$ .
- Relativně nízká cena odporových tenzometrů.
- Standardní měřicí aparatura.
- Snímač využívající odporové tenzometry lze použít k sledování dynamického průběhu síly.
- Tenzometry je možné odstranit, aniž by byl deaktivován konstrukční prvek.

# **Sledování změny poměrné deformace prvku:**

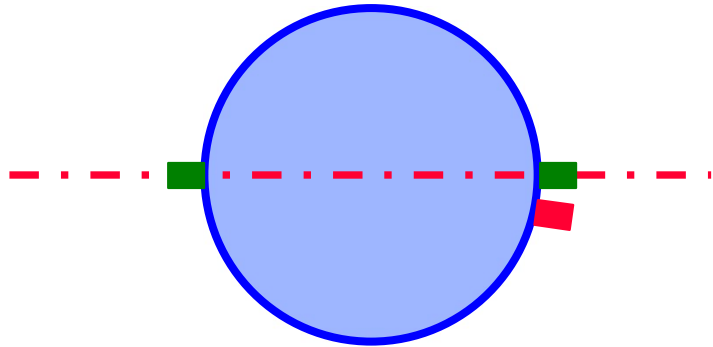
## **Nevýhody:**

- **Nároky na pečlivou přípravu a realizaci.**
- **Při instalaci odporových tenzometrů je nutné poškodit protikorozní ochranu ocelových prvků.**
- **Počáteční čtení v nezatíženém stavu, zejména u lan.**
- **Snímač musí být trvale instalován po celou dobu experimentu.**
- **Nutnost obnovy protikorozní ochrany po odstranění snímače.**

# Sledování změny poměrné deformace prvku:

## Nároky na pečlivou přípravu a realizaci:

- **Problém - pečlivé rozměření a nalepení tenzometrů co nejpřesněji do stanovené polohy.**



$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E} = \frac{1}{E} \cdot \frac{M}{I} \cdot Z = \frac{1}{E} \cdot \frac{M}{I} \cdot r$$

$$\varepsilon_{\alpha} = \frac{\sigma}{E} = \frac{1}{E} \cdot \frac{M}{I} \cdot Z = \frac{1}{E} \cdot \frac{M}{I} \cdot r \cdot \cos \alpha$$

$$\varepsilon_{\alpha} = \varepsilon \cdot \cos \alpha \Rightarrow \alpha = 10^{\circ} \Rightarrow \varepsilon_{\alpha} = \varepsilon \cdot 0.98$$

$$\varepsilon_{\alpha} = \varepsilon \cdot \cos \alpha \Rightarrow \alpha = 20^{\circ} \Rightarrow \varepsilon_{\alpha} = \varepsilon \cdot 0.94$$

**Kompenzace M**



# Sledování změny poměrné deformace prvku: Železniční most u Břeclavi – Oskar:



**Celkový počet táhel: 80**

**Verifikace systému  
v laboratoři:**

$$\mu = 0,29.$$



# Sledování změny poměrné deformace prvku: Železniční most u Břeclavi – Oskar:

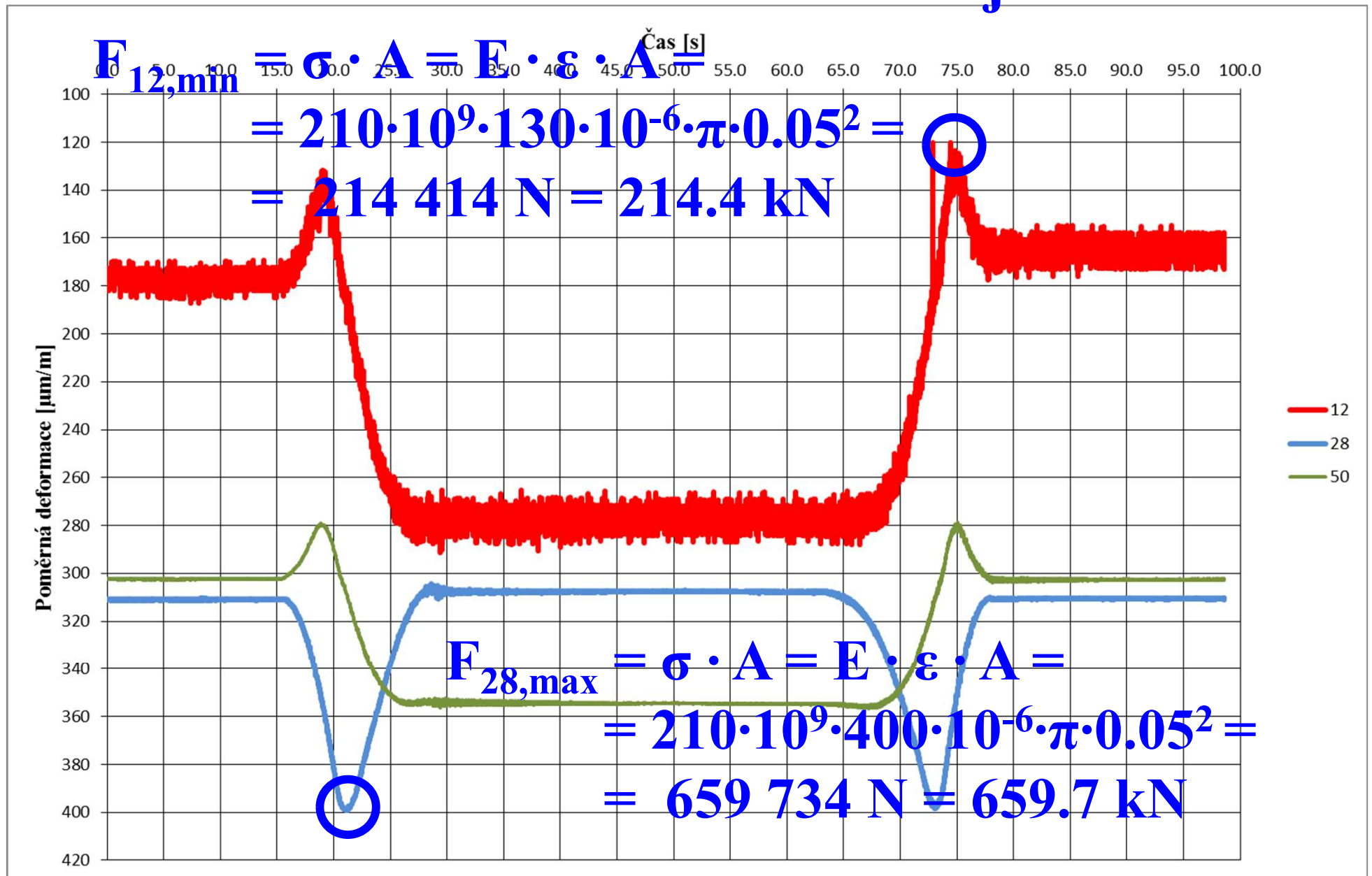
Dynamická zatěžovací  
zkouška – síla ve  
vybraných táhlech



# Sledování změny poměrné deformace prvku:

Železniční most u Břeclavi – Oskar:

100 km/h => brždění na mostu => rozjezd

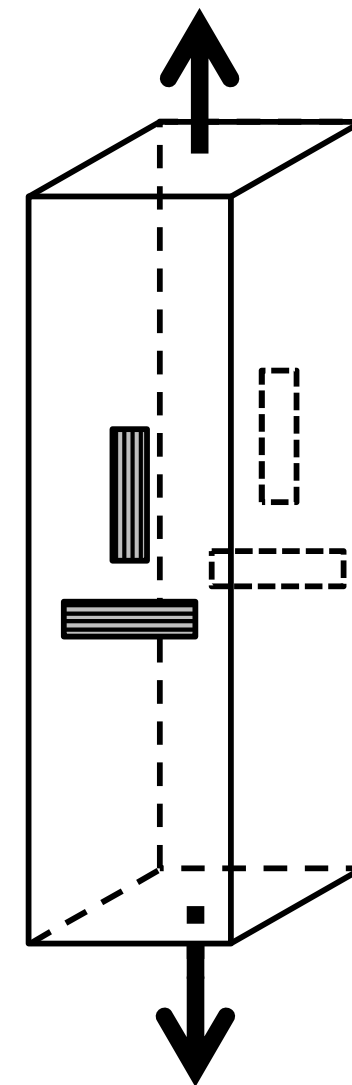
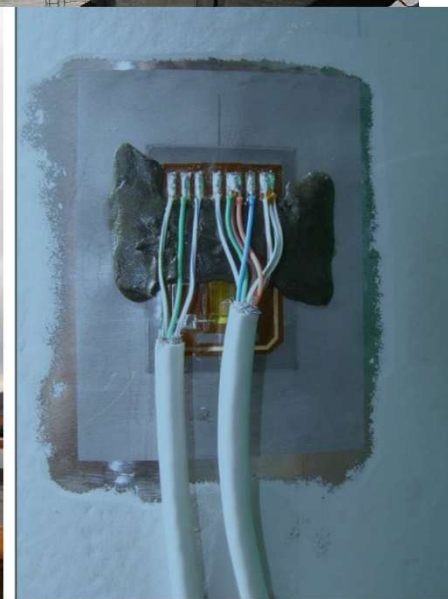


# Sledování změny poměrné deformace prvku:

## Silniční most přes Vltavu v Tróji:



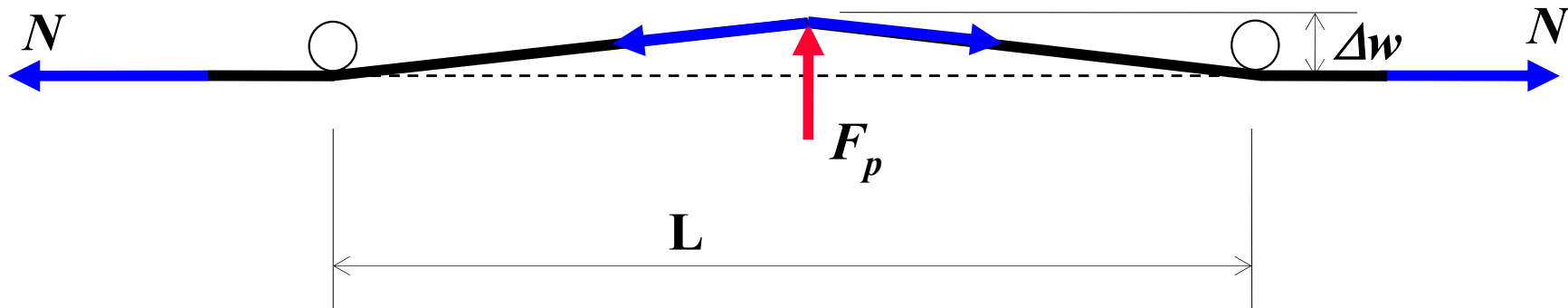
Celkový počet táhel: 200



Realizace – firma Pontex, oddělení diagnostiky.

# Závislost příčné síly a příčného vychýlení lana:

Vztah mezi příčnou silou a příčným vychýlením lana:



**Podmínka rovnováhy:**

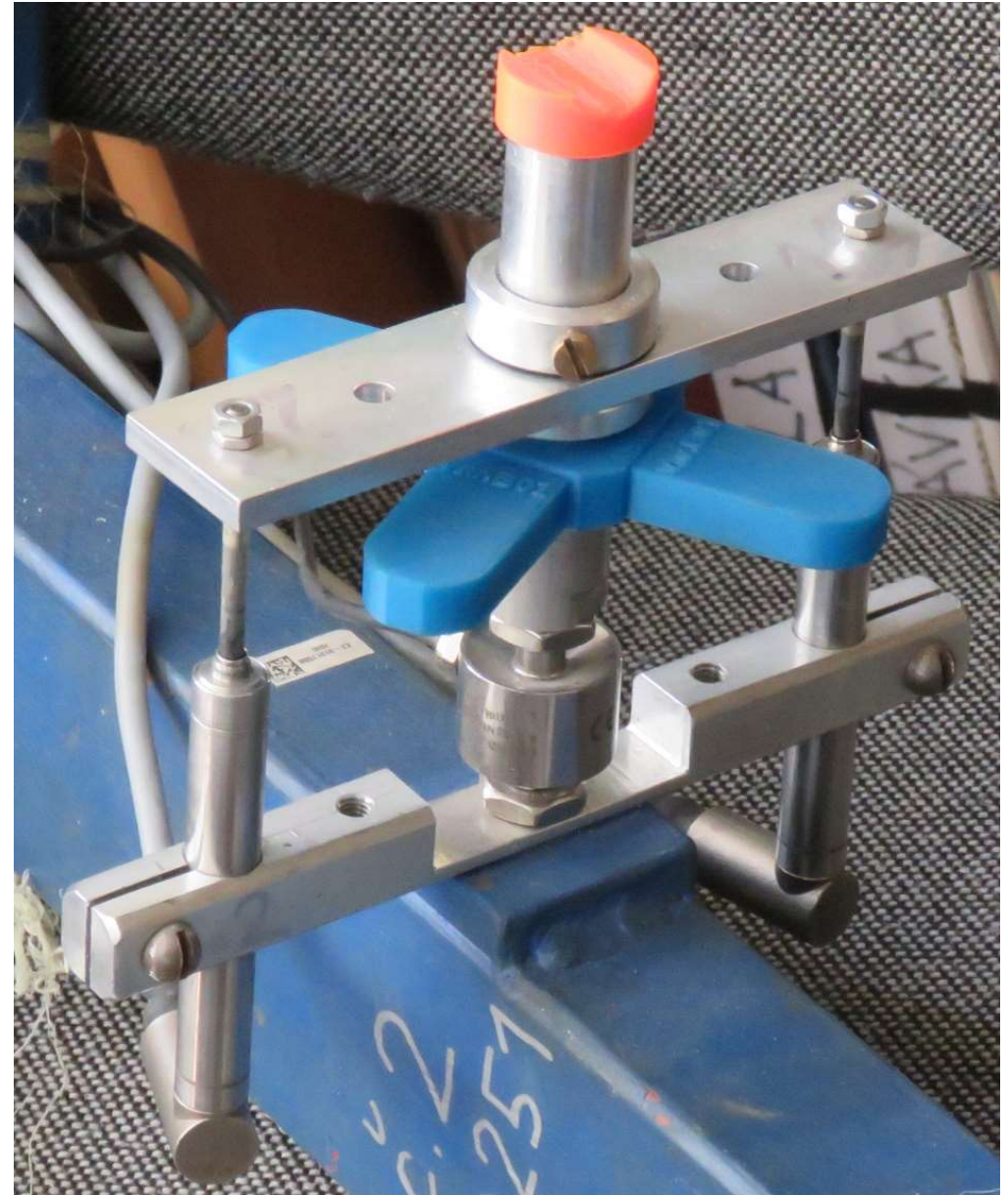
$$2 \cdot N \cdot \frac{\Delta w}{\sqrt{\left(\frac{L}{2}\right)^2 + \Delta w^2}} - F_p = 0$$

**Vzorec pro vyhodnocení  $N$ :**

$$N = \frac{F_p}{2} \sqrt{\left(\frac{L}{2 \cdot \Delta w}\right)^2 + 1}$$

# Závislost příčné síly a příčného vychýlení lana:

Přípravek K132 používaný pro experiment:



# Závislost příčné síly a příčného vychýlení lana:

## Aplikace přípravku na zkoumaný konstrukční prvek:



# Závislost příčné síly a příčného vychýlení lana:

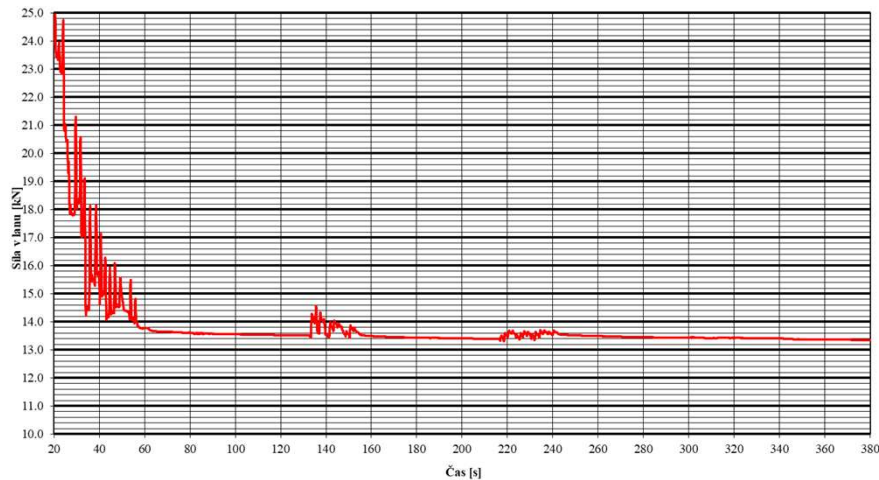
## Závislost mezi příčnou silou a příčným vychýlením lana:

**Délka lana: cca 10 m**

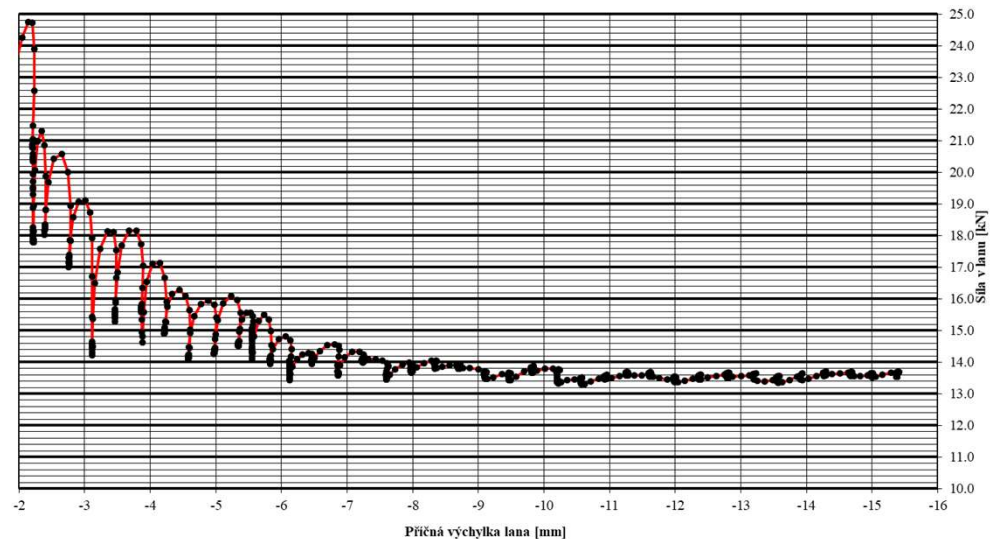
**Problém přesnosti:**

- síla při počátečním vychýlení,
- vyšší přesnost síly a výchylky – dostatečně velká měřená veličina.

Síla v lanu číslo 03V



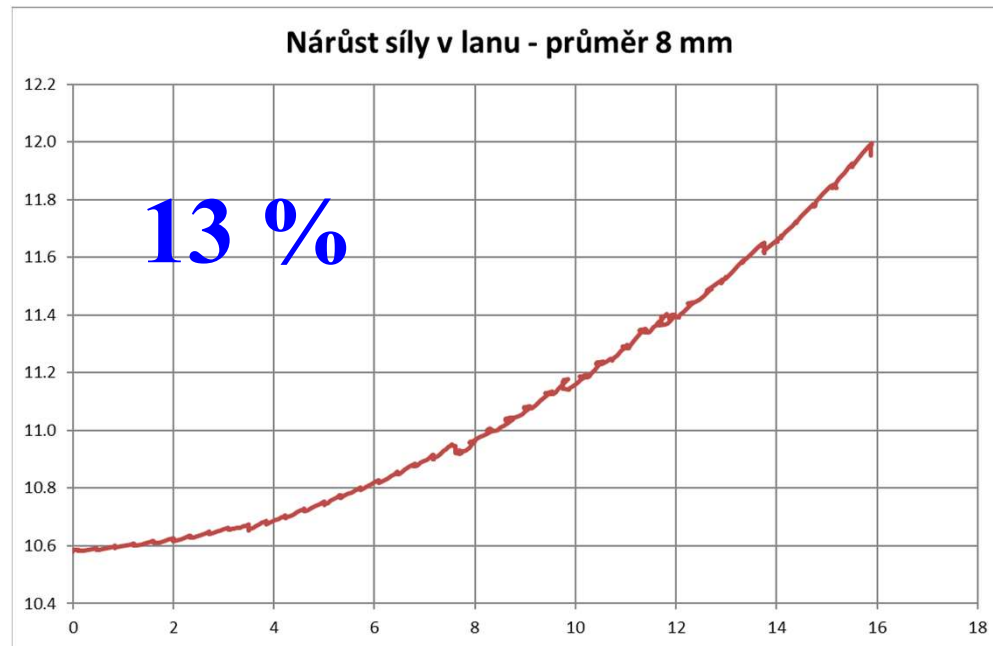
Síla v lanu číslo 03V





# Závislost příčné síly a příčného vychýlení lana:

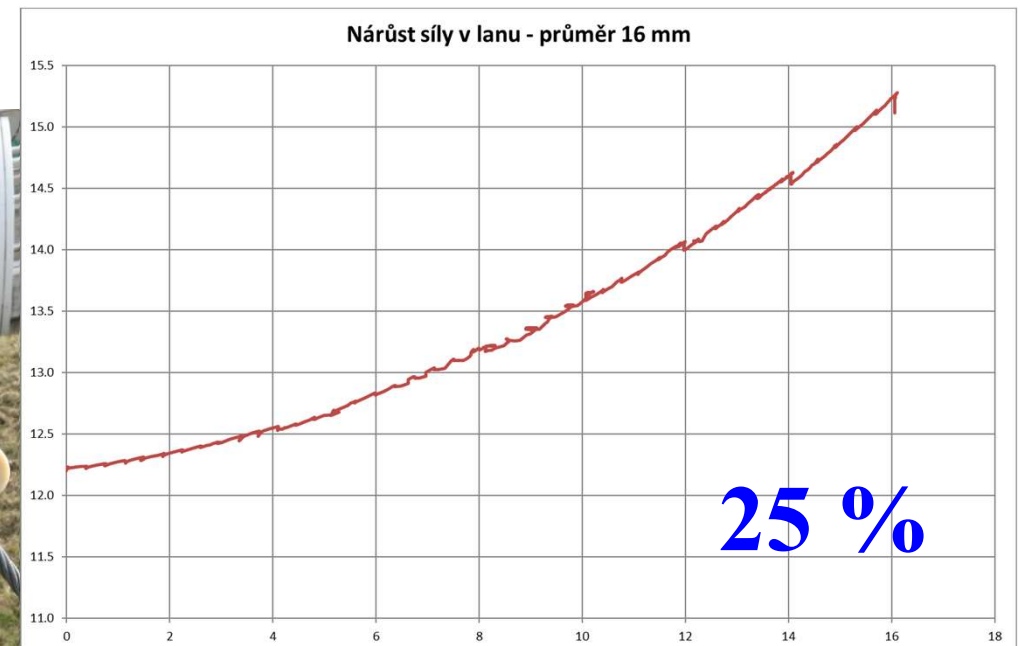
## Závislost mezi příčnou silou a příčným vychýlením lana:



**Délka lana: cca 2 m**

**Problém ovlivnění osové síly N:**

- vyšší přesnost síly a výchyly – dostatečně velká měřená veličina,
- ovlivnění síly příčným vychýlením lana.



# Závislost příčné síly a příčného vychýlení lana:

## Výhody:

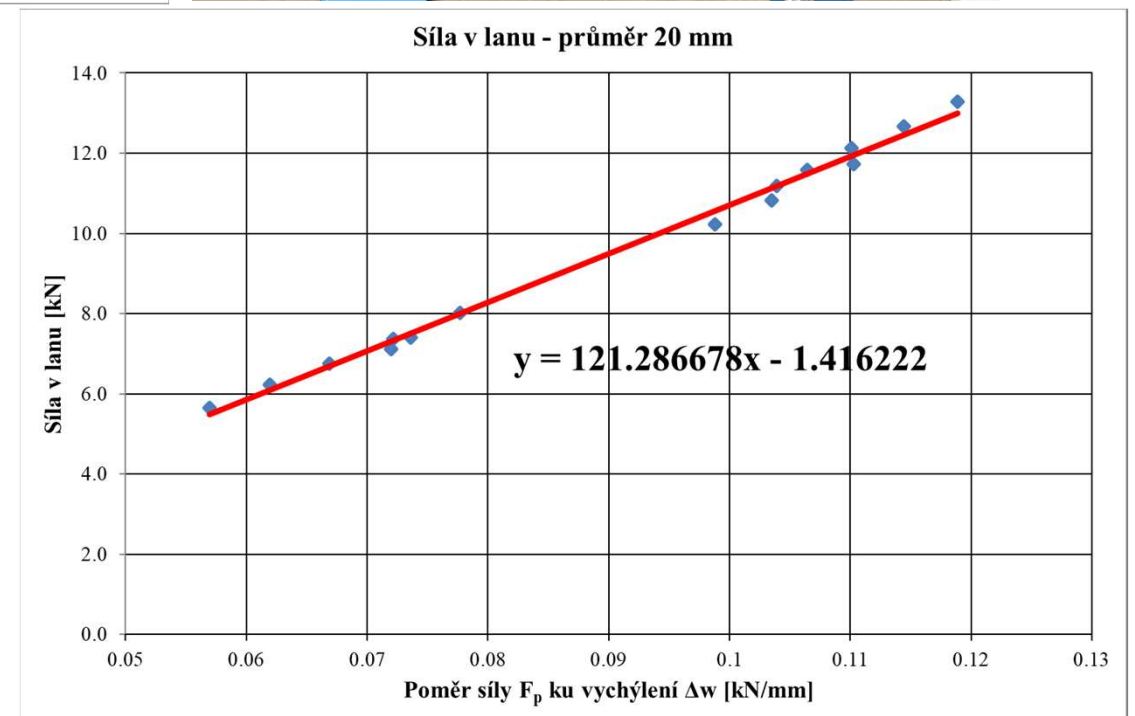
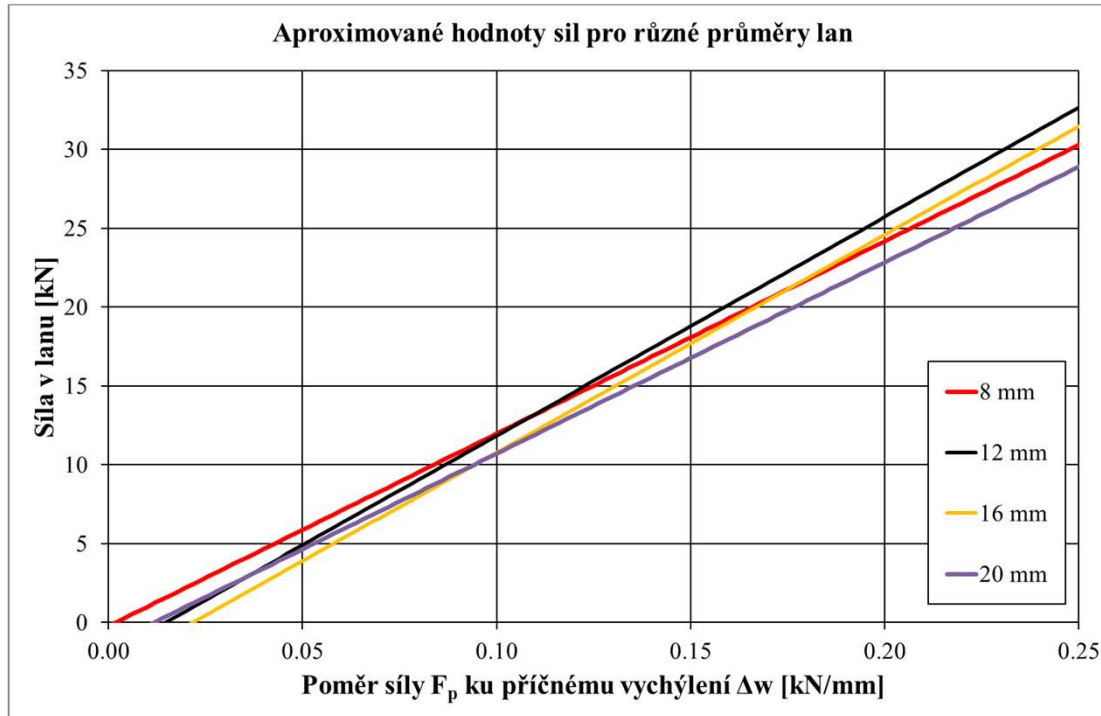
- Síla je určována absolutně, není nutné provést počáteční čtení.
- Možnost ověření citlivosti přípravku zpřesňující výsledky experimentu.
- Přípravek je odnímatelný.

# Závislost příčné síly a příčného vychýlení lana:

## Nevýhody:

- **Omezené použití v závislosti na ohybové tuhosti  $EI$  zkoumaného prvku:**
  - průměr lana,
  - průměr drátu, tyče,
  - vyhodnocovací vztahy zohledňující tuhost.
- **Ovlivnění síly vychylováním zkoumaného prvku, zejména u krátkých prvků.**
- **Není možné sledovat dynamický průběh síly.**

# Závislost příčné síly a příčného vychýlení lana:



# Frekvenční metoda:

## Princip metody:

- **Osová síla v konstrukčním prvku ovlivňuje jeho vlastní frekvence.**
- **Čím je tahová síla v prvku větší, tím větší jsou vlastní frekvence prvku.**
- **Analogie se strunou na kytáře – tón struny odpovídá její vlastní frekvenci.**



# **Frekvenční metoda:**

## **Uspořádání měření:**

- **Komerčně vyráběné měřicí ústředny a snímače vibrací s dostatečným frekvenčním a amplitudovým rozsahem.**
- **Uchycení snímačů je možné realizovat různými způsoby.**
- **Umístění snímačů na konstrukčním prvku**
  - **ovlivněno počtem hledaných vlastních frekvencí**
  - **obtížně dostupný prvek,**
  - **prvek dostupný po jeho celé délce.**
- **Rozkmitání konstrukčních prvků je možné realizovat různými způsoby.**
- **Zpracování naměřeného kmitání – FFT.**

# Frekvenční metoda:

## Měřicí ústředna a snímače:

- měřicí ústředna Sirius,
- piezoelektrický snímač B&K 8344,
- piezoelektrický snímač B&K 4507.



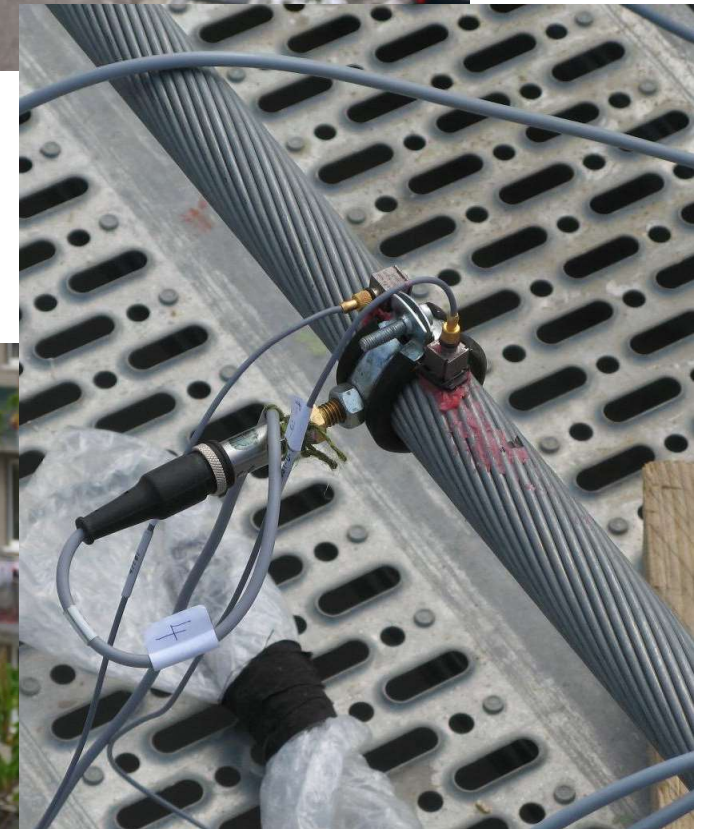
EVROPSKÁ UNIE  
Evropské strukturální a investiční fondy  
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

**MŠMT**  
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,  
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

# Frekvenční metoda:

## Uchycení snímačů:

- objímka,
- neodymový magnet,
- lepidlo,
- včelí vosk.

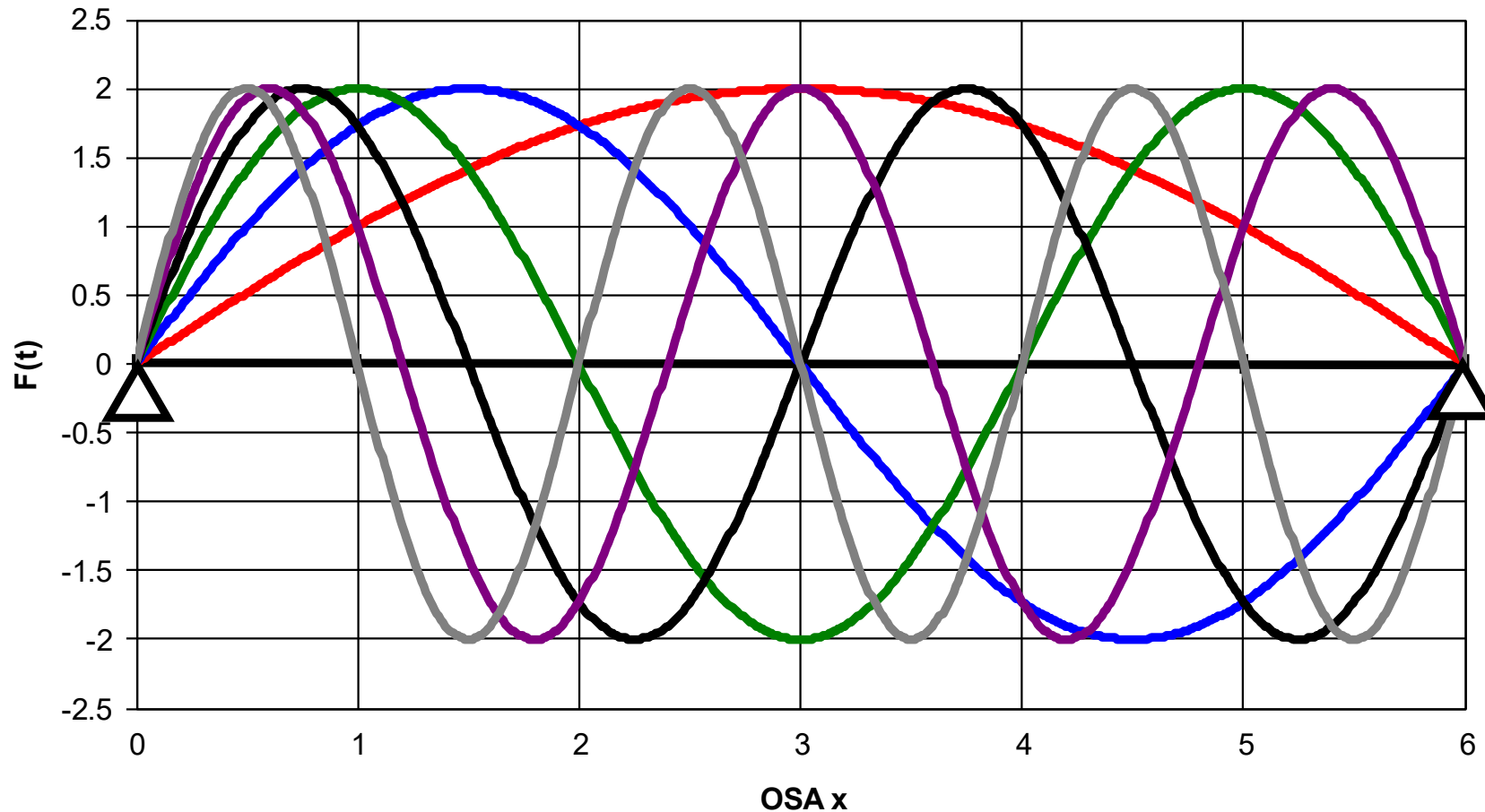




# Frekvenční metoda:

## Umístění snímačů na konstrukčním prvku:

TVARY VLASTNÍHO KMITÁNÍ - PROSTÝ NOSNÍK

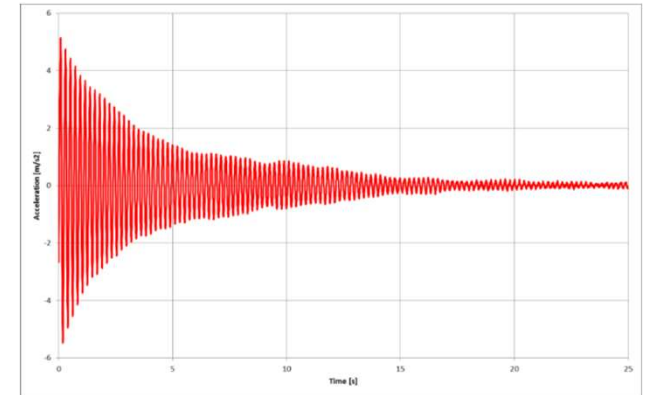


$$\frac{d^2 q_{(j)}(t)}{dt^2} + 2\omega_{b(j)} \frac{dq_{(j)}(t)}{dt} + \omega_{(j)}^2 q_{(j)}(t) = F_S(t) R_{S(j)}$$

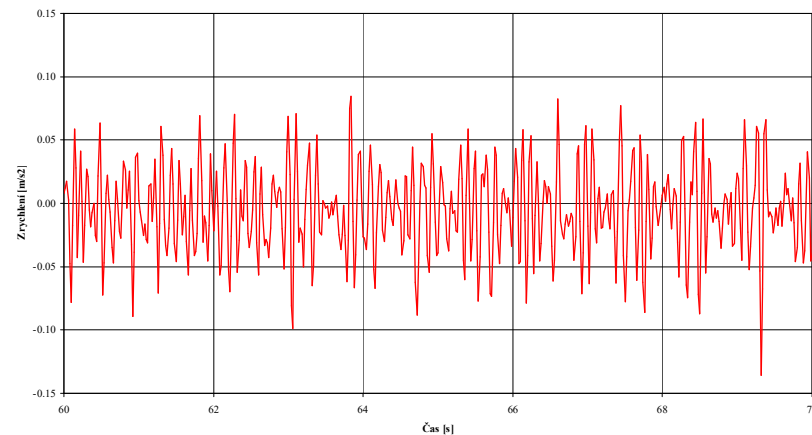
# Frekvenční metoda:

## Rozkmitání konstrukčního prvku:

- silový impulz:
  - gumová palice,
  - ruce,
- postupné rozkmitání:
  - ruce,
  - pomůcka,
- běžný provoz konstrukce.



Časový průběh měřeného vertikálního zrychlení - závěs P13S



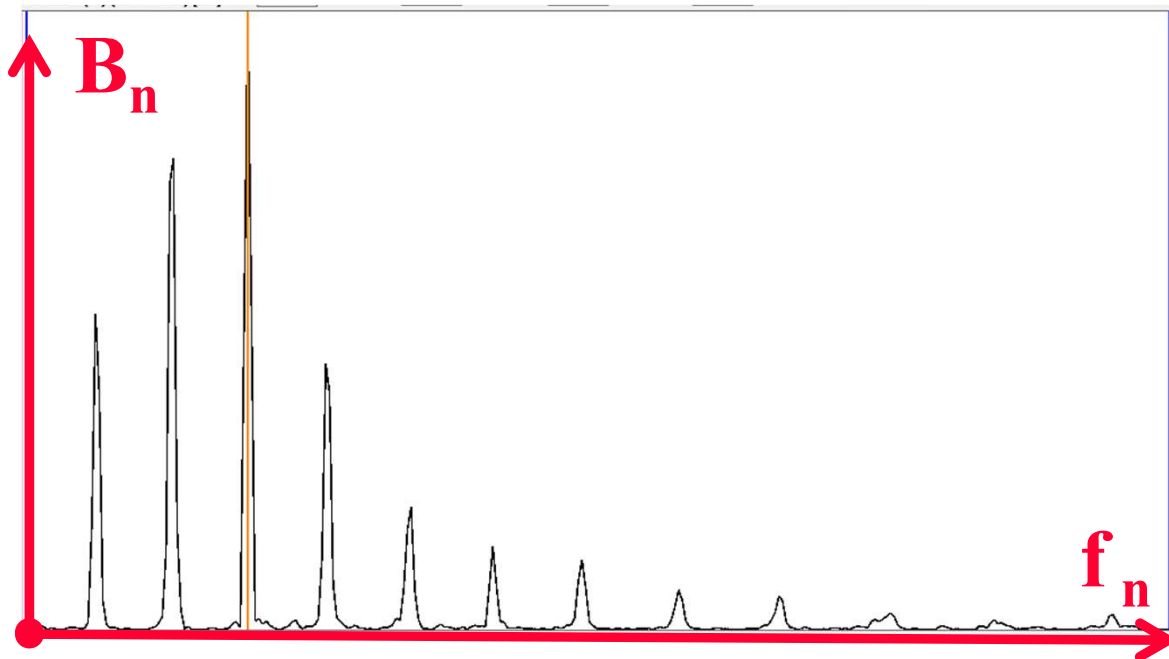
## Frekvenční metoda:

Zpracování naměřeného kmitání prvku – Rychlá  
Fourierova transformace (FFT):

$$f(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{+\infty} B_n \sin(2\pi f_n t + \varphi_n)$$

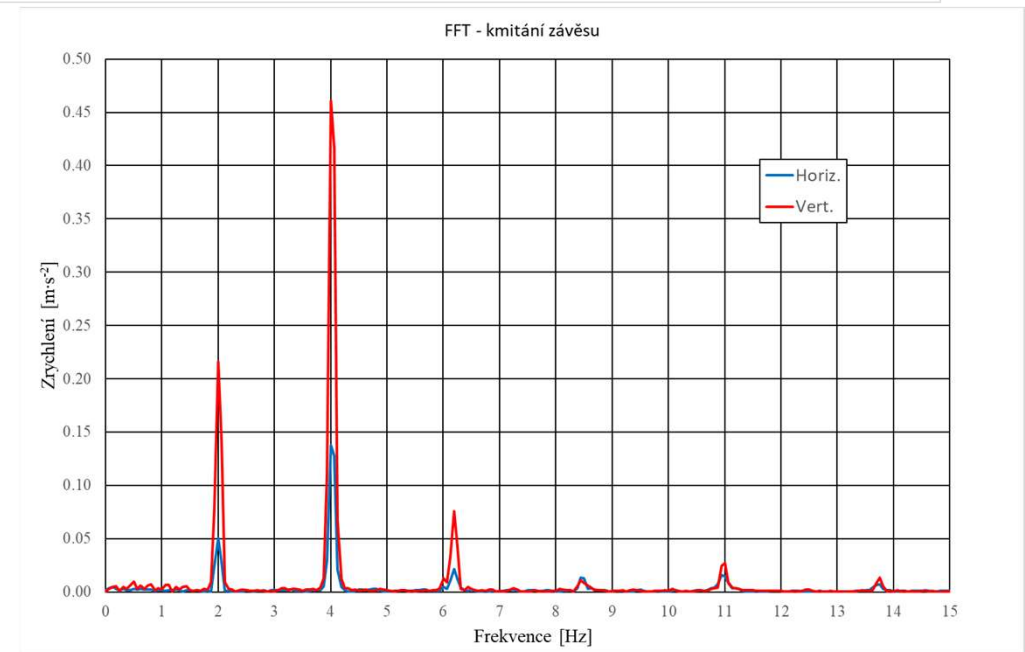
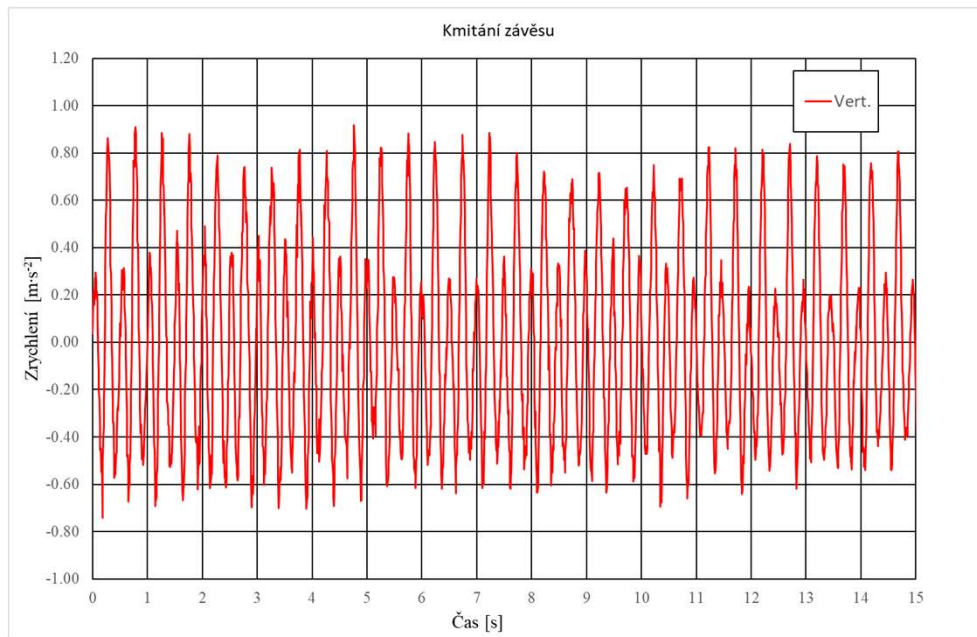
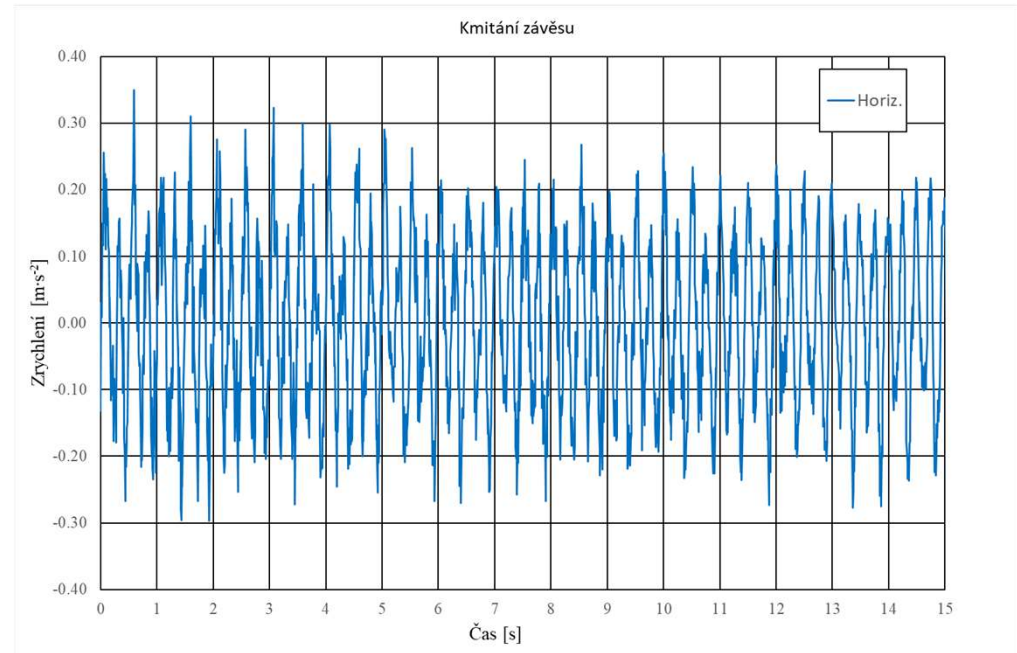
$$B_n = \sqrt{a_n^2 + b_n^2} \quad \text{tg } \varphi_n = \frac{a_n}{b_n}$$

**Převedení z časové do frekvenční oblasti:**



# Frekvenční metoda:

## $f(t)$ , FFT – volné kmitání závěsů mostu:

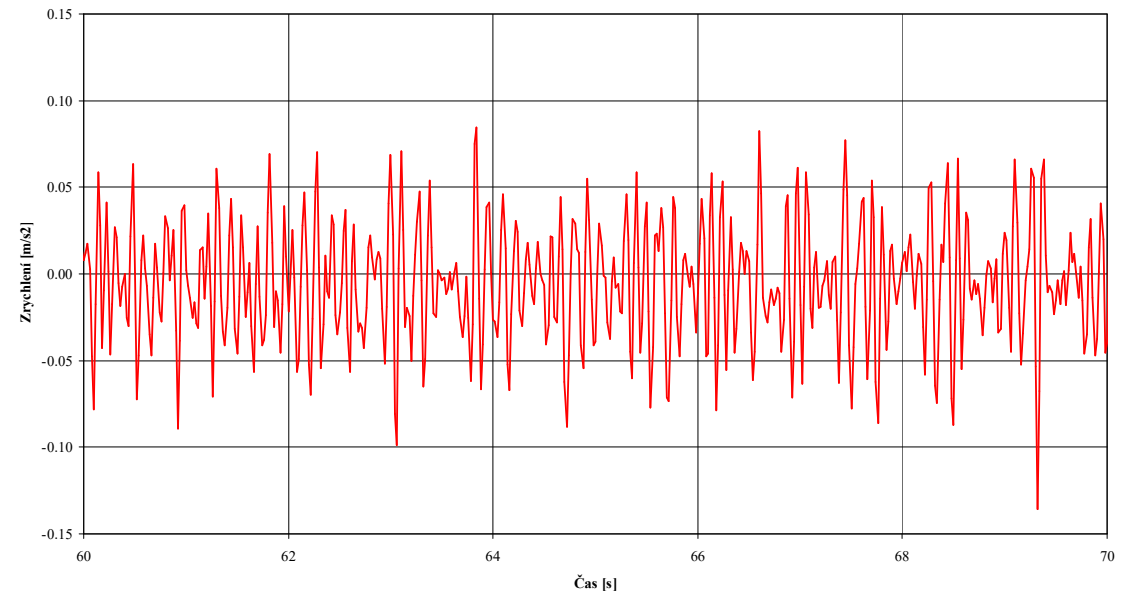


# Frekvenční metoda:

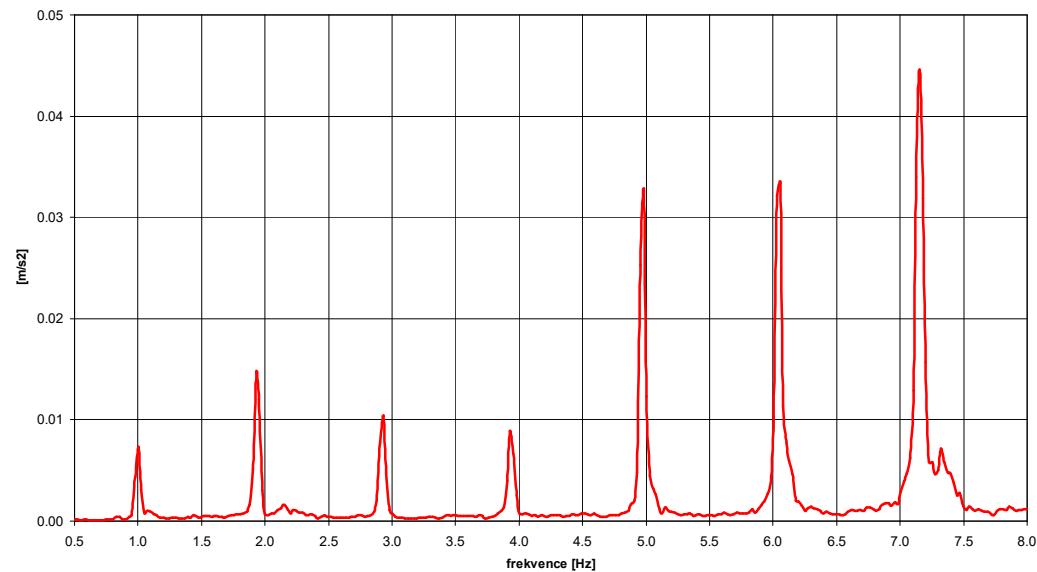
## $f(t)$ , FFT – kmitání závěsů mostu od běžného provozu:



Časový průběh měřeného vertikálního zrychlení - závěs P13S



Frekvenční spektrum - svislé kmitání - závěs P13S



# **Frekvenční metoda:**

## **Vyhodnocení osově síly ve zkoumaném prvku:**

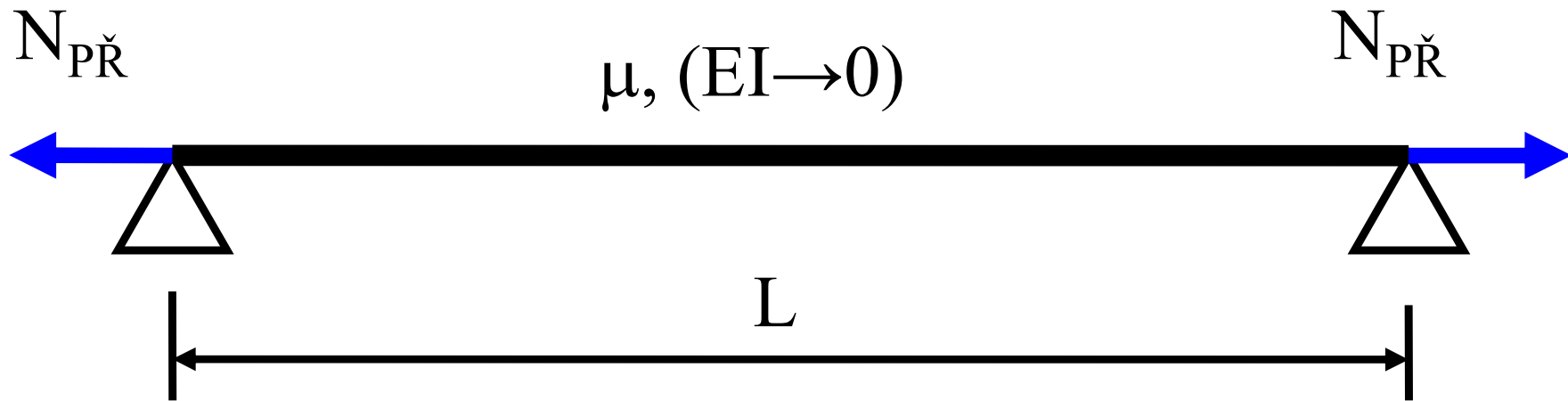
**Typy používaných teoretických modelů –  
podle okrajových podmínek uložení:**

- **strunová teorie,**
- **prutová teorie, okrajové podmínky:**
  - **kloub – kloub,**
  - **vetknutí – vetknutí,**
  - **pružné vetknutí – pružné vetknutí,**
- **složitější modely.**

# Frekvenční metoda:

## Model – strunová teorie:

- zanedbána ohybová tuhost konstrukčního prvku,
- zanedbán vliv okrajových podmínek uložení.

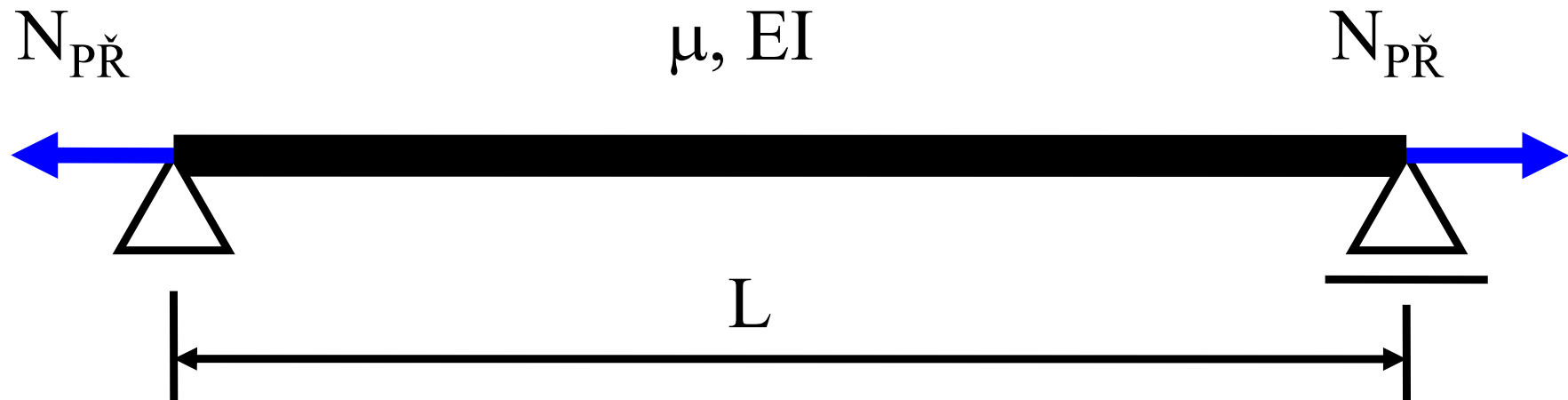


$$N_{(j)}^S = \mu \left( \frac{2f_{(j)} L}{j} \right)^2$$

# Frekvenční metoda:

## Model – prutová teorie, kloub - kloub:

- zohledněna ohybová tuhost konstrukčního prvku,
- okrajové podmínky uložení – volné pootočení.



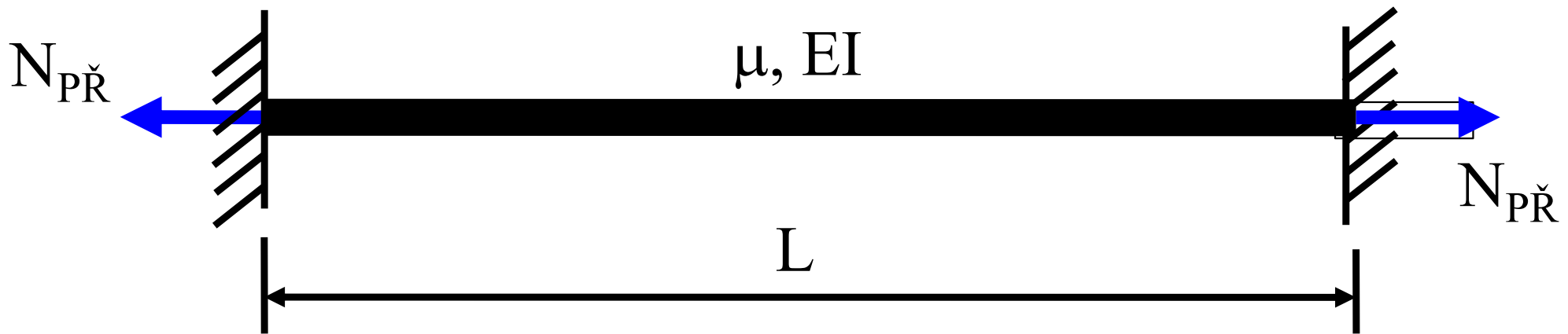
$$N_{(j)}^P = \mu \left( \frac{2f_{(j)} L}{j} \right)^2 - \left( \frac{j\pi}{L} \right)^2 EI = N_{(j)}^S - \left( \frac{j\pi}{L} \right)^2 EI$$



# Frekvenční metoda:

## Model – prutová teorie, vetknutí - vetknutí:

- zohledněna ohybová tuhost konstrukčního prvku,
- okrajové podmínky uložení – pootočení zcela zabráněno.

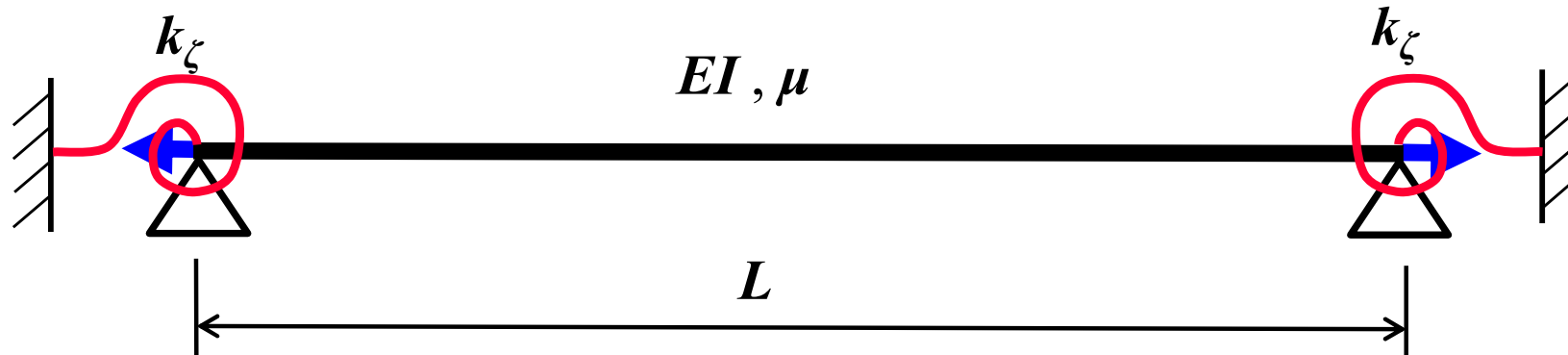


$$\sqrt{K_{(j)}} \left( 1 - \cosh \left( L \sqrt{B_{(j)} + \sqrt{B_{(j)}^2 + K_{(j)}}} \right) \right) \cos \left( L \sqrt{-B_{(j)} + \sqrt{B_{(j)}^2 + K_{(j)}}} \right) +$$
$$+ B_{(j)} \cdot \sinh \left( L \sqrt{B_{(j)} + \sqrt{B_{(j)}^2 + K_{(j)}}} \right) \sin \left( L \sqrt{-B_{(j)} + \sqrt{B_{(j)}^2 + K_{(j)}}} \right) = 0$$

$$N_{(j)}^V = 2 EI B_{(j)} \quad K_{(j)} = 4 \pi^2 \mu f_{(j)}^2 (EI)^{-1}$$

# Frekvenční metoda:

## Model - prutová teorie – oboustranné pružné vetknutí:



### Podklady pro vyhodnocení:

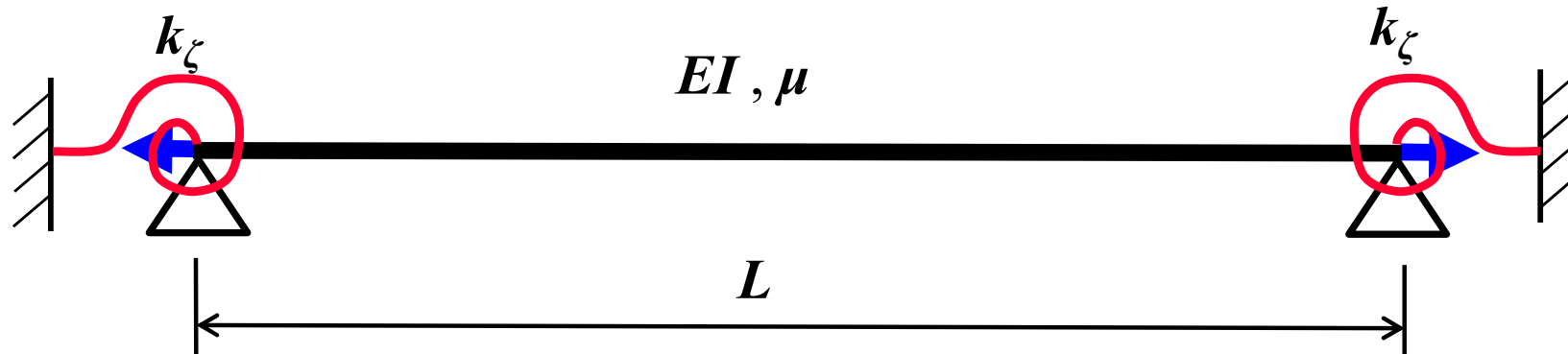
- vlastní frekvence,
- vlastní tvary.

### Způsob vyhodnocení:

- metoda Monte Carlo, odhad výchozích hodnot,
- počet realizací,
- kritérium pro nejpriléhavější realizaci.

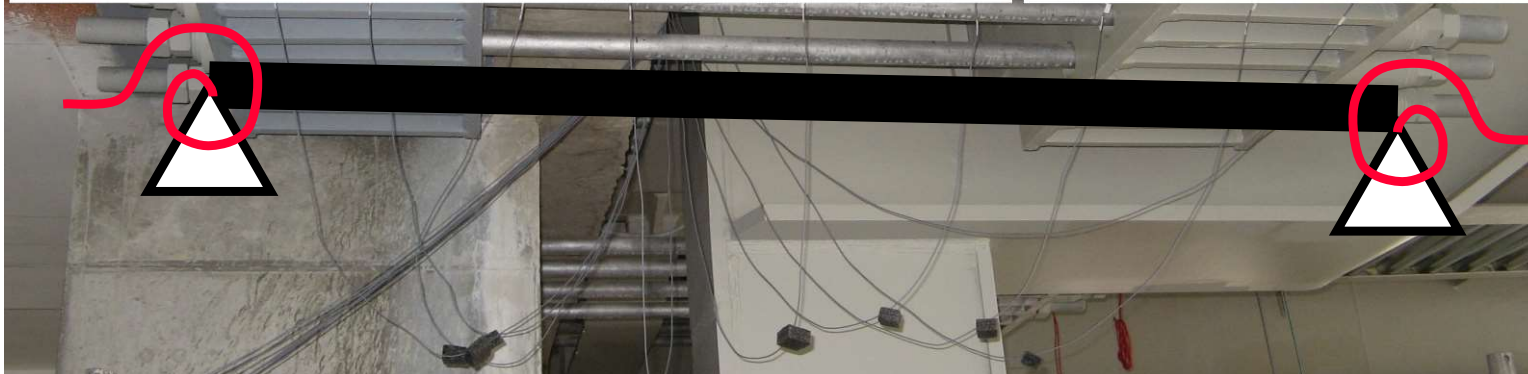
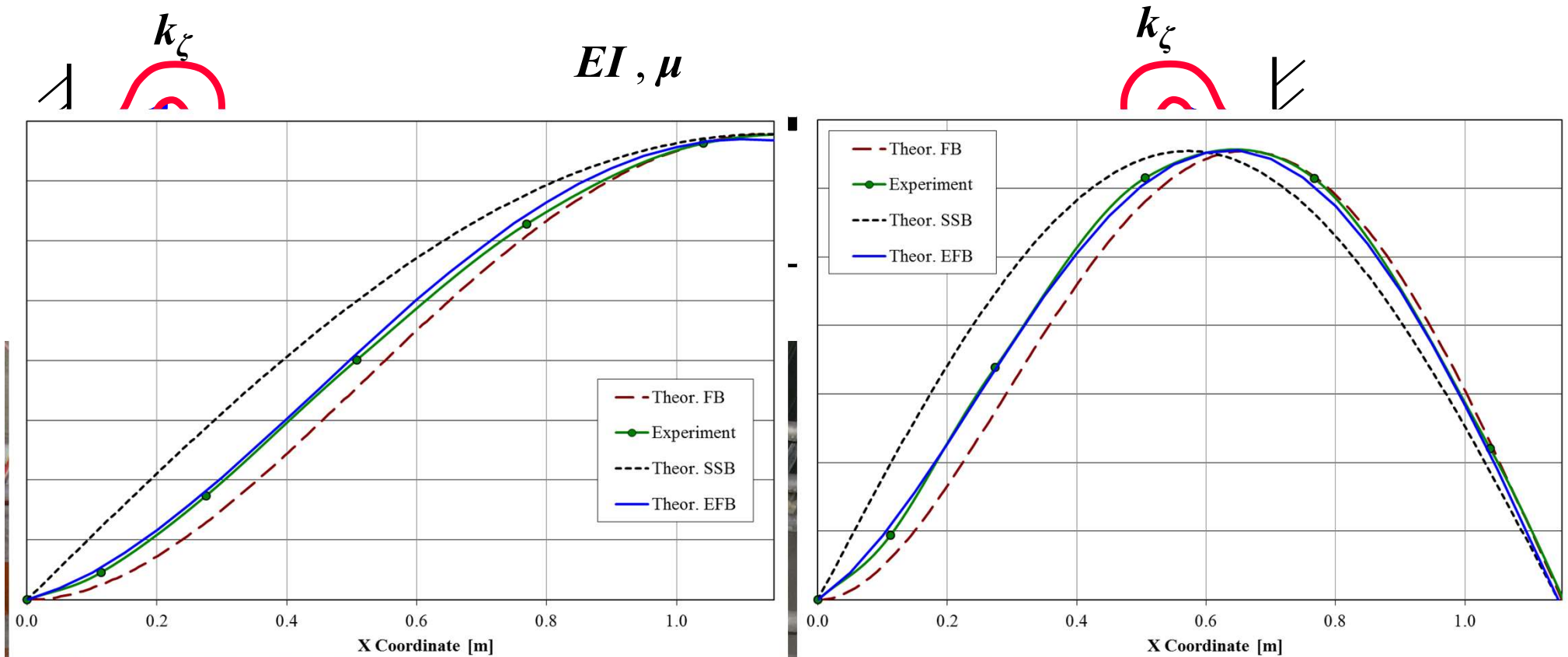
# Frekvenční metoda:

## Model - prutová teorie – oboustranné pružné vetknutí:



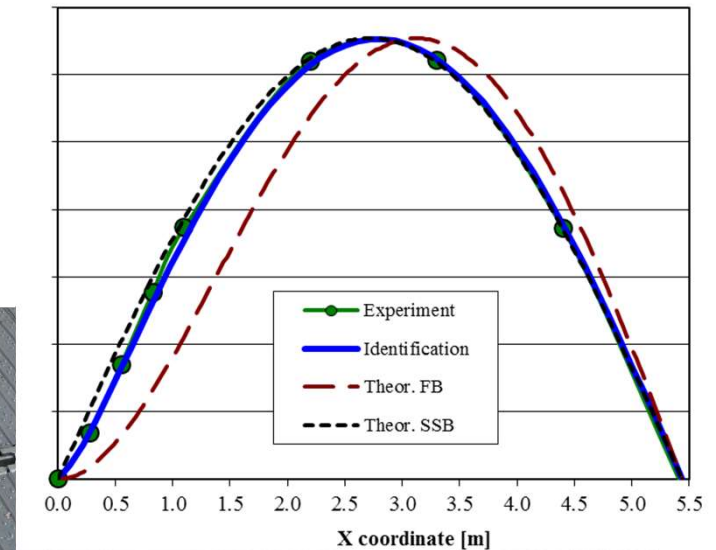
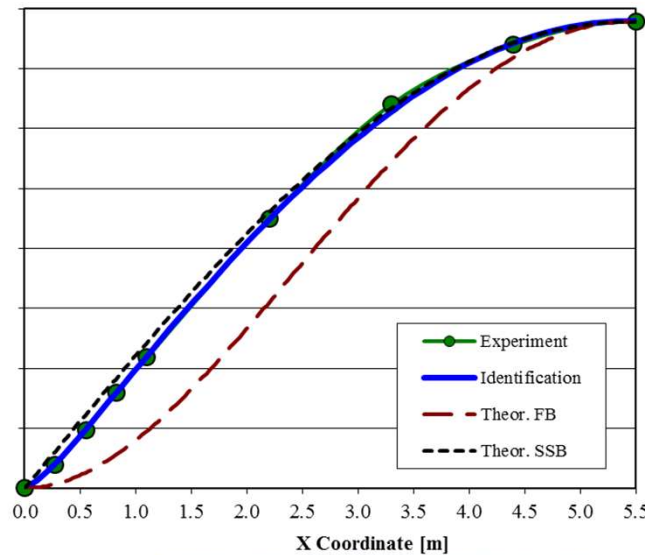
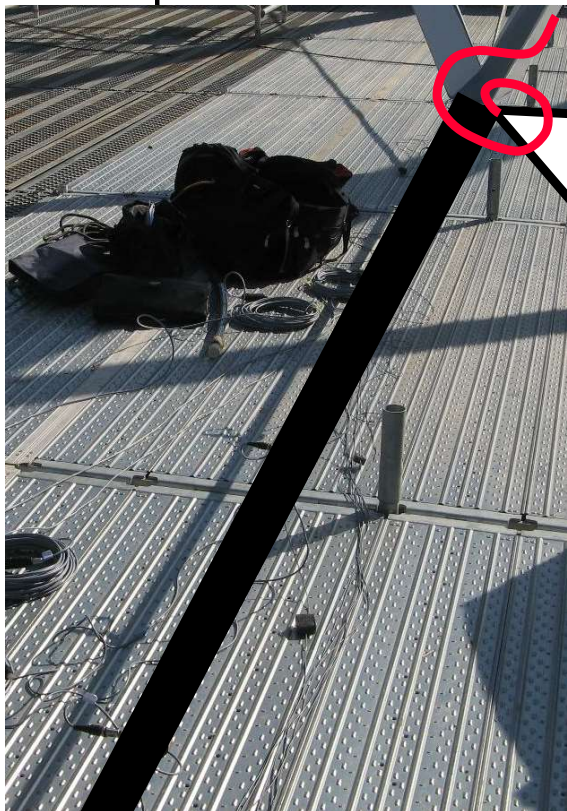
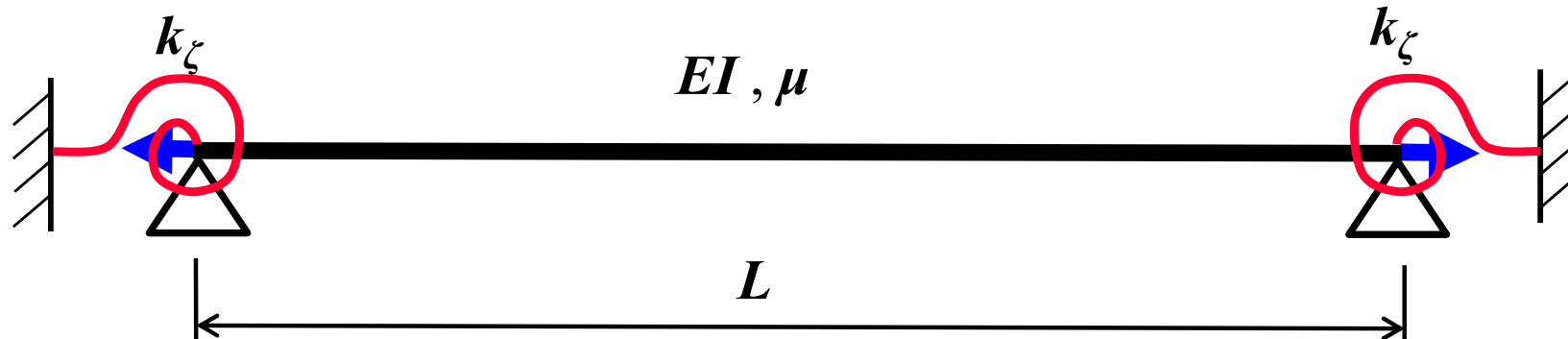
# Frekvenční metoda:

## Model - prutová teorie – oboustranné pružné vetknutí:



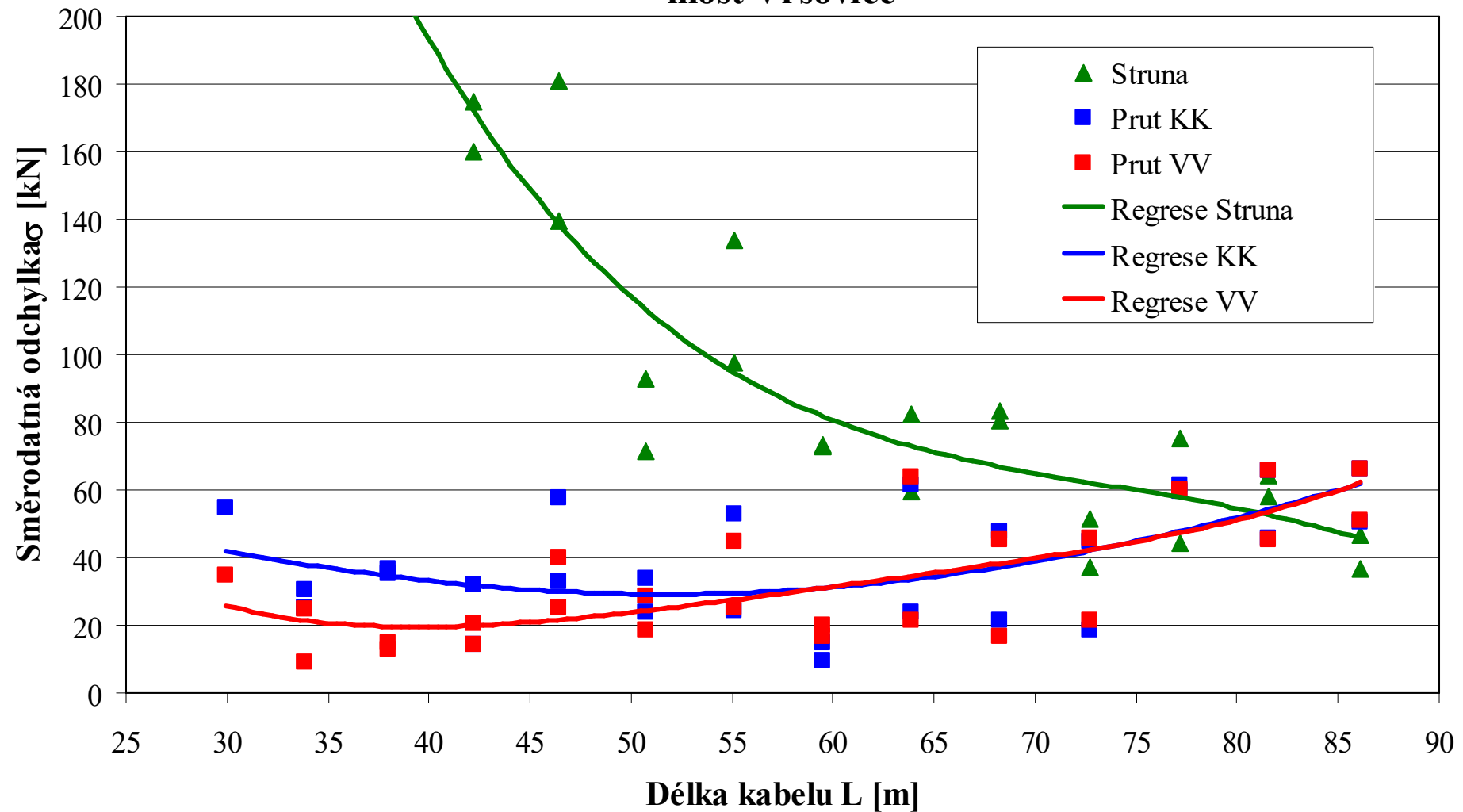
# Frekvenční metoda:

## Model - prutová teorie – oboustranné pružné vetknutí:



# Frekvenční metoda: Porovnání teorií:

Porovnání velikosti směrodatné odchyly osově síly N pro jednotlivé teorie  
- most Vršovice

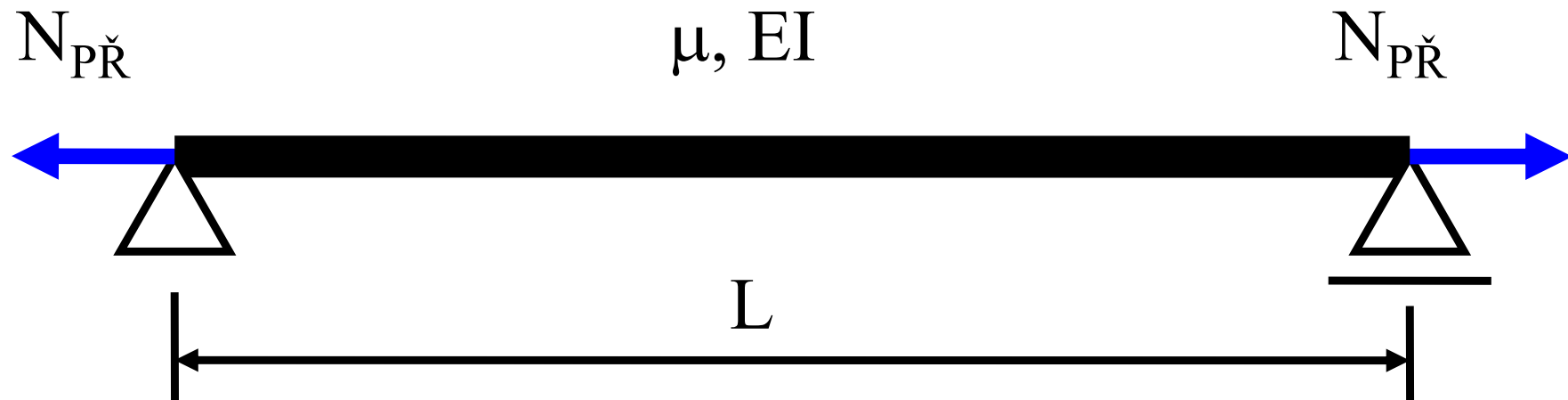


# Frekvenční metoda:

Model - prutová teorie, kloub - kloub:

Identifikace parametrů  $N_{PŘ}$  a  $EI$ :

- inverzní úloha,
- známo (nezávisle zjištěno)  $\mu$ ,  $L$ ,
- změřeno několik  $f_{(j)}$ .



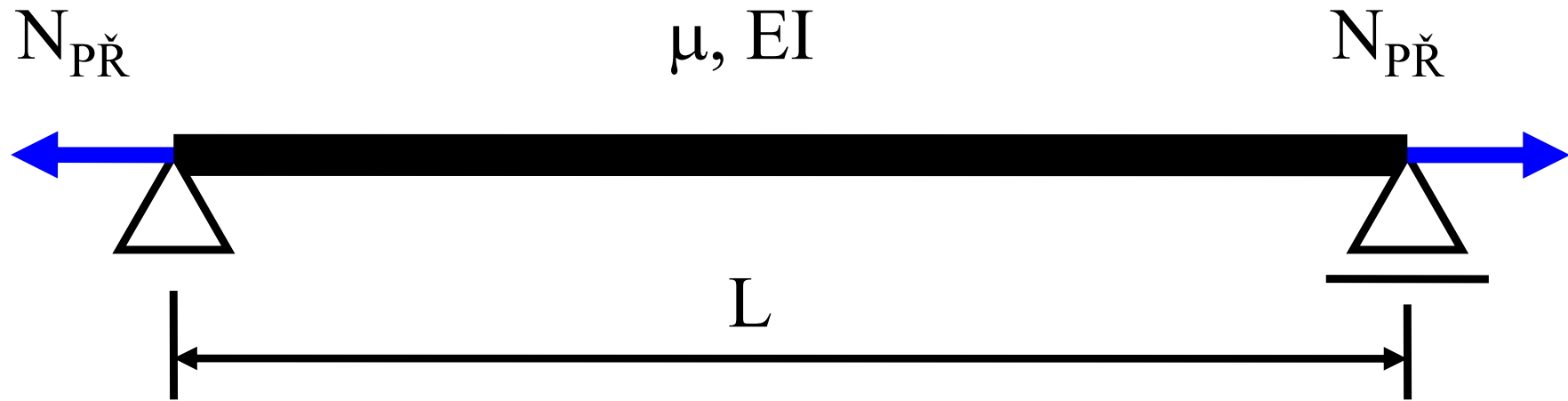
$$N_{(j)}^P = \mu \left( \frac{2f_{(j)} L}{j} \right)^2 - \left( \frac{j\pi}{L} \right)^2 EI = N_{(j)}^S - \left( \frac{j\pi}{L} \right)^2 EI$$

# Frekvenční metoda:

Model - prutová teorie, kloub - kloub:

Identifikace parametrů  $N_{PŘ}$  a  $EI$ :

- identifikováno  $N_{PŘ}$  a  $EI$ .



$$N_{(j)}^P = \mu \left( \frac{2f_{(j)} L}{j} \right)^2 - \left( \frac{j\pi}{L} \right)^2 EI = N_{(j)}^S - \left( \frac{j\pi}{L} \right)^2 EI$$

$$N_{PŘ, ID} + \left( \frac{j\pi}{L} \right)^2 EI_{ID} = \mu \left( \frac{2f_{(j)} L}{j} \right)^2$$



# Frekvenční metoda:

Model - prutová teorie, kloub - kloub:

Identifikace parametrů  $N_{PŘ}$  a  $EI$ :

- **soustava rovnic:**

$$N_{PŘ, ID} + \left( \frac{j \pi}{L} \right)^2 EI_{ID} = \mu \left( \frac{2 f_{(j)} L}{j} \right)^2$$

$$\begin{bmatrix} 1 & \left( \frac{1 \pi}{L} \right)^2 \\ \vdots & \vdots \\ 1 & \left( \frac{j \pi}{L} \right)^2 \\ \vdots & \vdots \\ 1 & \left( \frac{n \pi}{L} \right)^2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} N_{PŘ, ID} \\ EI_{ID} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \mu \left( \frac{2 f_{(1)} L}{1} \right)^2 \\ \vdots \\ \mu \left( \frac{2 f_{(j)} L}{j} \right)^2 \\ \vdots \\ \mu \left( \frac{2 f_{(n)} L}{n} \right)^2 \end{Bmatrix}$$

# Frekvenční metoda:

Model - prutová teorie, kloub - kloub:

Identifikace parametrů  $N_{PŘ}$  a  $EI$ :

- řešení soustavy rovnic – Gauss Markův teorém:

$$\begin{bmatrix} 1 & \left(\frac{1 \pi}{L}\right)^2 \\ \vdots & \vdots \\ 1 & \left(\frac{j \pi}{L}\right)^2 \\ \vdots & \vdots \\ 1 & \left(\frac{n \pi}{L}\right)^2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} N_{PŘ, ID} \\ EI_{ID} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \mu \left(\frac{2 f_{(1)} L}{1}\right)^2 \\ \vdots \\ \mu \left(\frac{2 f_{(j)} L}{j}\right)^2 \\ \vdots \\ \mu \left(\frac{2 f_{(n)} L}{n}\right)^2 \end{Bmatrix}$$

$$[A] \{x\} = \{y\}$$

$$[A]^T [A] \{x\} = [A]^T \{y\}$$

# Frekvenční metoda:

## Výhody:

- **Síla je určována absolutně, není nutné provést počáteční čtení.**
- **Je možné využít vhodné standardní snímače kmitání.**
- **Je možné použít standardní měřicí ústřednu.**
- **Snímače je možné na prvek upevnit a následně odstranit, aniž by byl sledovaný konstrukční prvek deaktivován.**
- **Snímače jsou na určitém prvku upevněny pouze po dobu realizace experimentu na tomto prvku (tj. v řádu minut).**

# **Frekvenční metoda:**

## **Nevýhody:**

- **Skutečné okrajové podmínky v upevnění prvku ovlivňují způsob a přesnost vyhodnocení výsledků.**
- **Výsledná síla může být podstatně zkreslena použitím nevhodného modelu prvku pro vyhodnocení výsledků.**
- **Není možné sledovat dynamický průběh síly.**

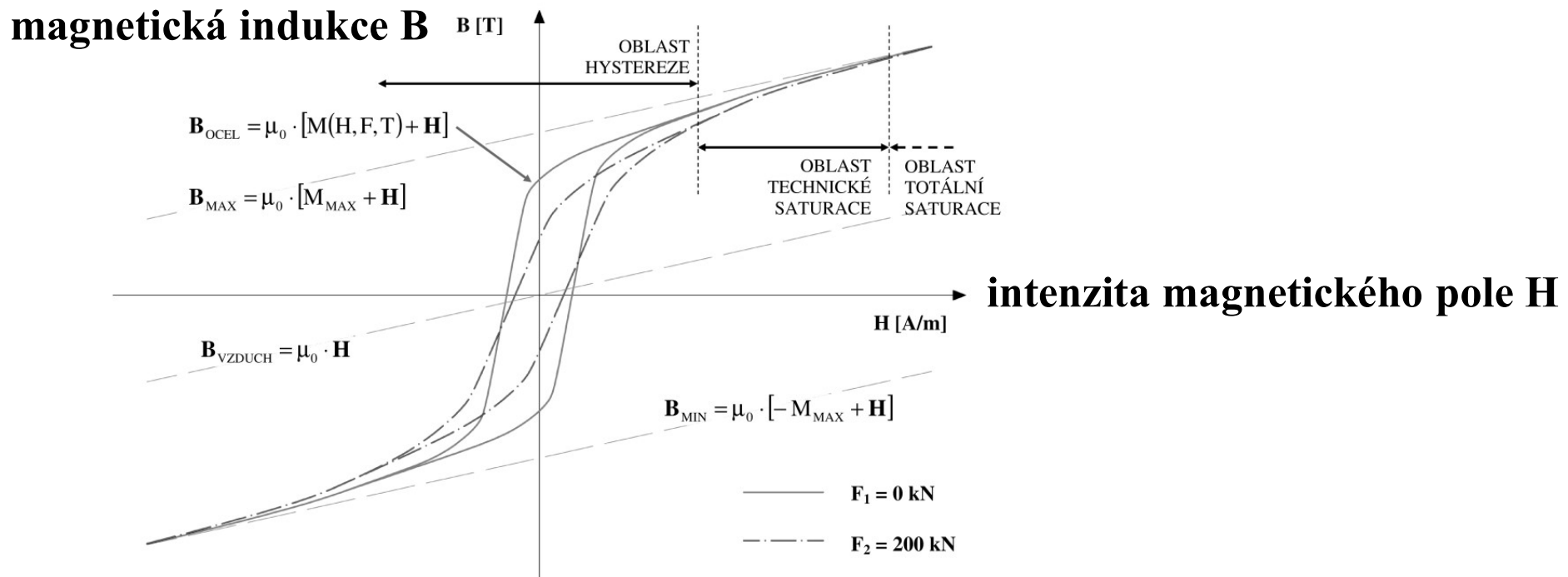
# Magnetoelastická metoda:

## Magnetoelastické vlastnosti oceli závisí na:

- teplotě materiálu,
- mechanickém napětí.

## Využívaná magnetoelastická charakteristika materiálu:

- Inkrementální permeabilita – její závislost na teplotě a mechanickém napětí.



# Magnetoelastická metoda:

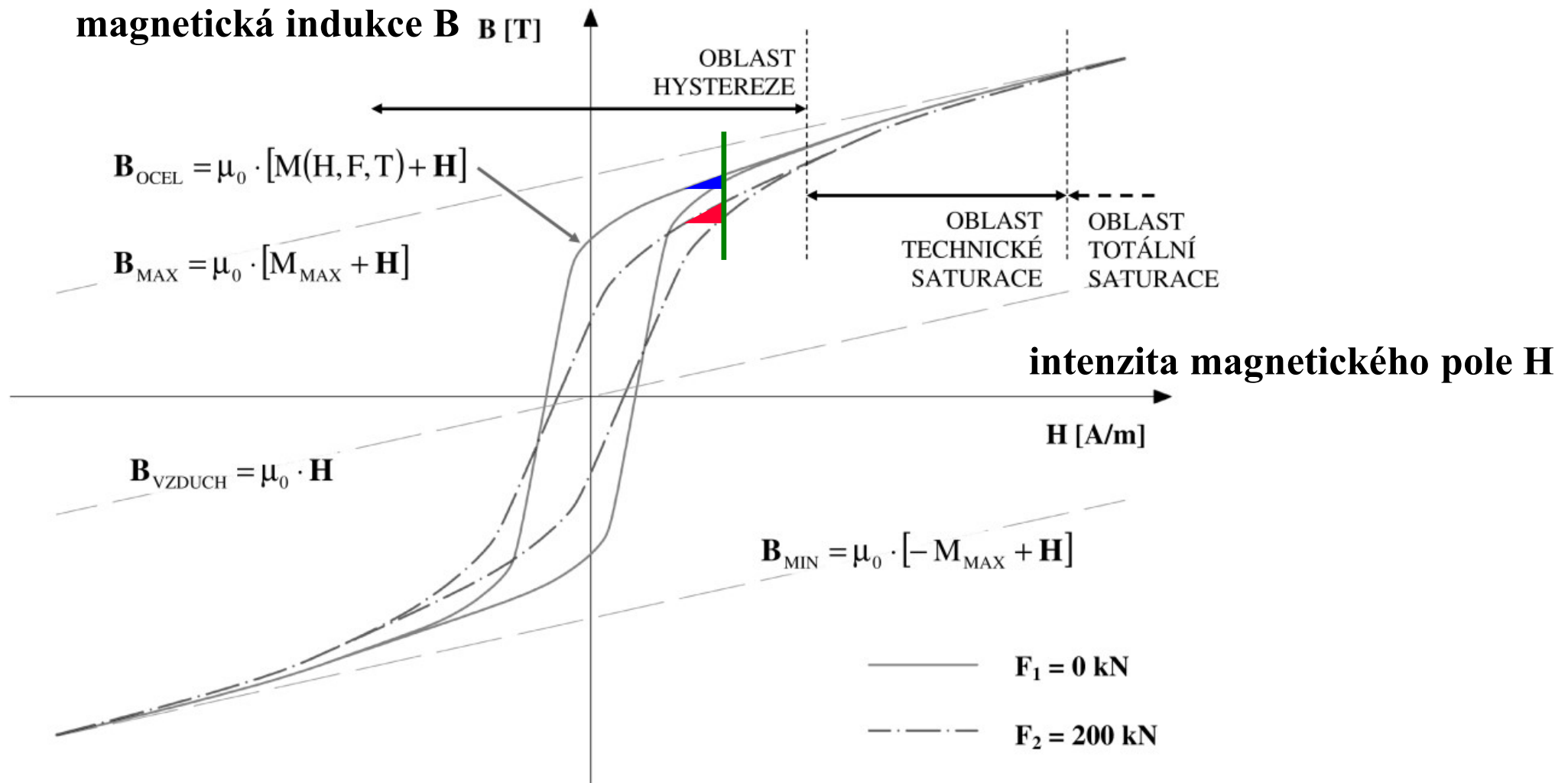
## Permeabilita $\mu$ :

- $B = \mu \cdot H$
- Fyzikální veličina udávající míru magnetizace v důsledku působícího magnetického pole.
- Vyjadřuje reakci určitého prostředí na silové účinky magnetického pole.
- Některá prostředí tyto účinky zesilují, jiná zeslabují.

# Magnetoelastická metoda:

## Inkrementální permeabilita:

- derivace hysterezní smyčky ( $\Delta B / \Delta H$ ),
- v určitém bodu hyst. sm. úměrná síle / mech. napětí.



# Magnetoelastická metoda:

## Standardní válcový magnetoelastický snímač:

- nasunutý na měřený předpínací kabel,
- bezkontaktní měření inkrementální permeability.



Fotografie byla převzata z publikace:

Jaroševič, A.: PROJSTAR EM sensor PSSCS 020037xxx Properties and applications, dokument firmy Projstar – PK spol. s r.o., 2003.



# **Magnetoelastická metoda:**

## **Standardní válcový magnetoelastický snímač:**

- **válcový transformátor uzavřený v masivním krytu,**
- **předpínací výztuž je součástí snímače – tvoří jádro transformátoru,**
- **další části snímače – primární a sekundární cívka,**
- **nejistota měření pro kalibrovaný snímač  $< 1\%$ ,**
- **možno registrovat změny mechanického napětí pod 1 MPa,**
- **vliv podstatné magnetické změny v okolí snímače (drátkobeton, ocelové bednění apod.).**

# Magnetoelastická metoda:

## ME snímač – PSSCS 020037070:



Fotografie byly převzaty z publikace:

Jaroševič, A.: PROJSTAR EM sensor PSSCS 020037xxx Properties and applications, dokument firmy Projstar – PK spol. s r.o., 2003.

# Magnetoelastická metoda: ME snímač – PSSCS 020037070:



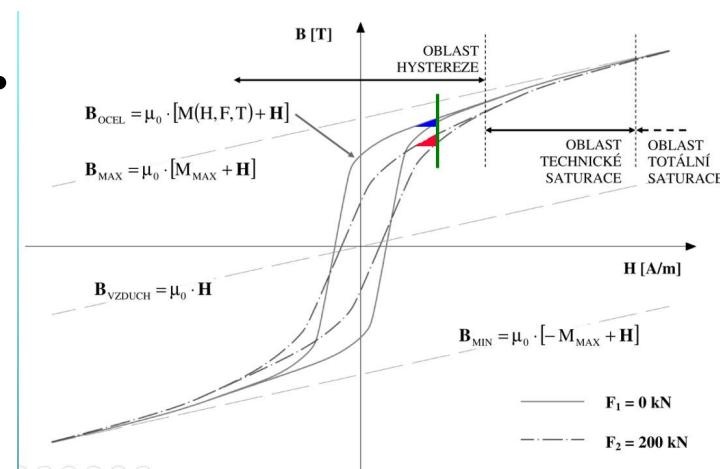
Fotografie byly převzaty z publikace:

Jaroševič, A.: PROJSTAR EM sensor PSSCS 020037xxx Properties and applications, dokument firmy Projstar – PK spol. s r.o., 2003.

# Magnetoelastická metoda:

## Síla v konstrukčním prvku se určí na základě:

- znalosti magnetoelastické charakteristiky daného materiálu,
- znalosti teploty materiálu při měření.
- Magnetoelastická charakteristika se většinou stanoví přímo při předpínání zkoumaného konstrukčního prvku.
- Využívána je inkrementální permeabilita v určitém bodu hysterezní křivky.

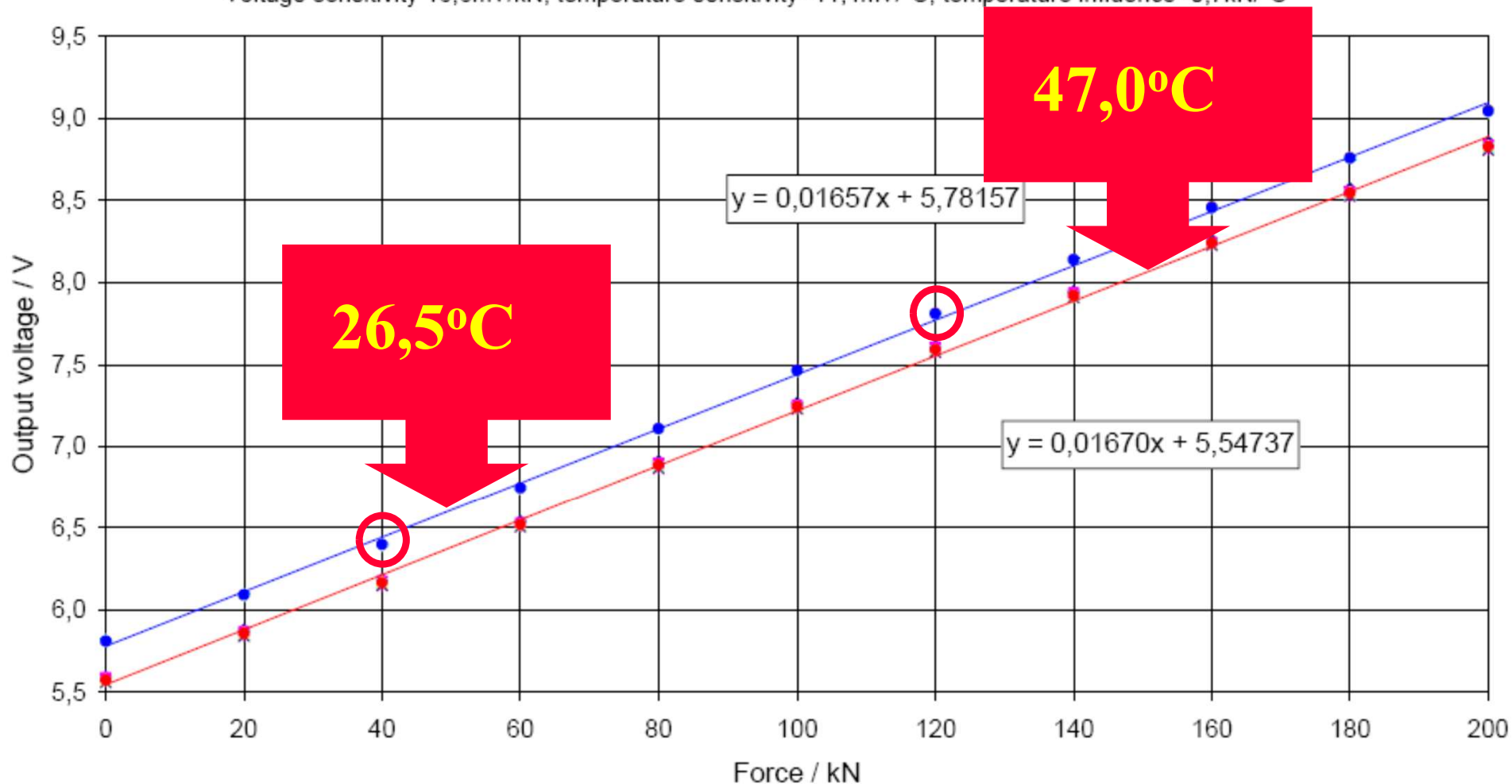


# Magnetoelastická metoda: ME snímač – PSSCS 020037070:

Sensor PSS20 with strand 15,5mm/1800 MPa, working point 5A/1A/75V

Output voltage as a function of force for 26,5°C (blue) and 47°C (red)

Voltage sensitivity 16,6mV/kN, temperature sensitivity -11,4mV/°C, temperature influence -0,7kN/°C



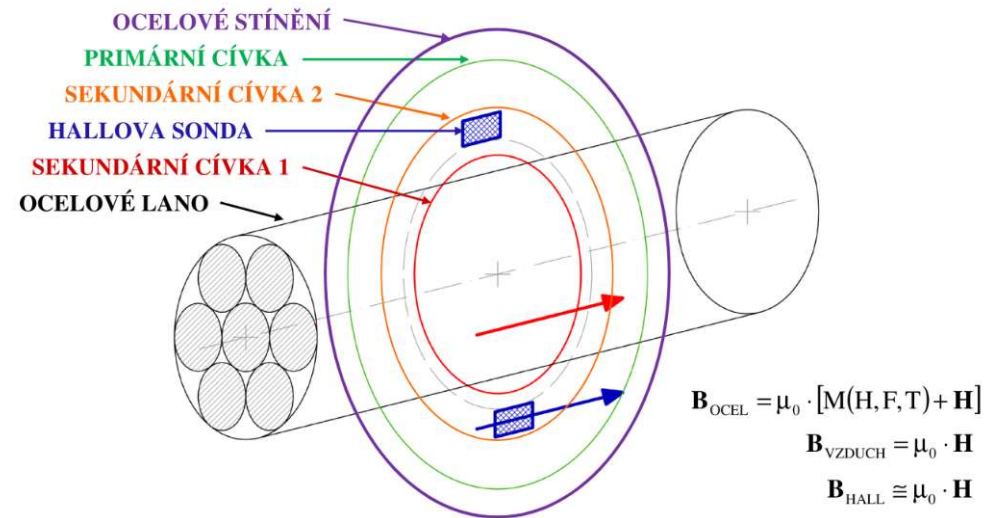
Obrázek byl převzat z publikace:

Jaroševič, A.: PROJSTAR EM sensor PSSCS 020037xxx Properties and applications, dokument firmy Projstar – PK spol. s r.o., 2003.

# Nový přístup k magnetoelastické metodě:

## Maximálně vybavený magnetoelastický snímač:

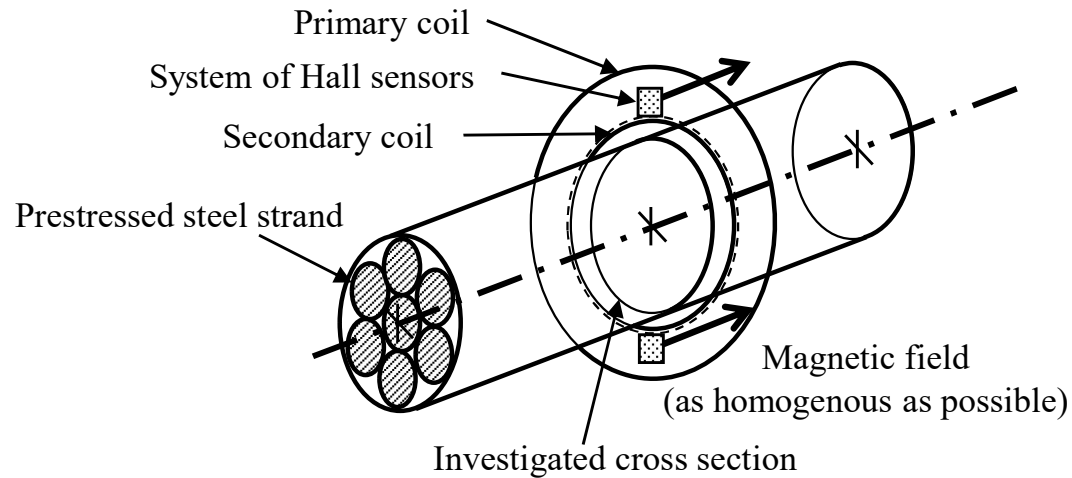
- primární cívka,
- sekundární cívka 1,
- sekundární cívka 2,
- Hallovy sondy,
- ocelové stínění.



### Dva způsoby určení magnetické indukce $\mathbf{B}$ :

- určení  $\mathbf{B}$  na základě zpracování výsledků z obou sekundárních cívek,
- přímé měření Hallovými sondami.

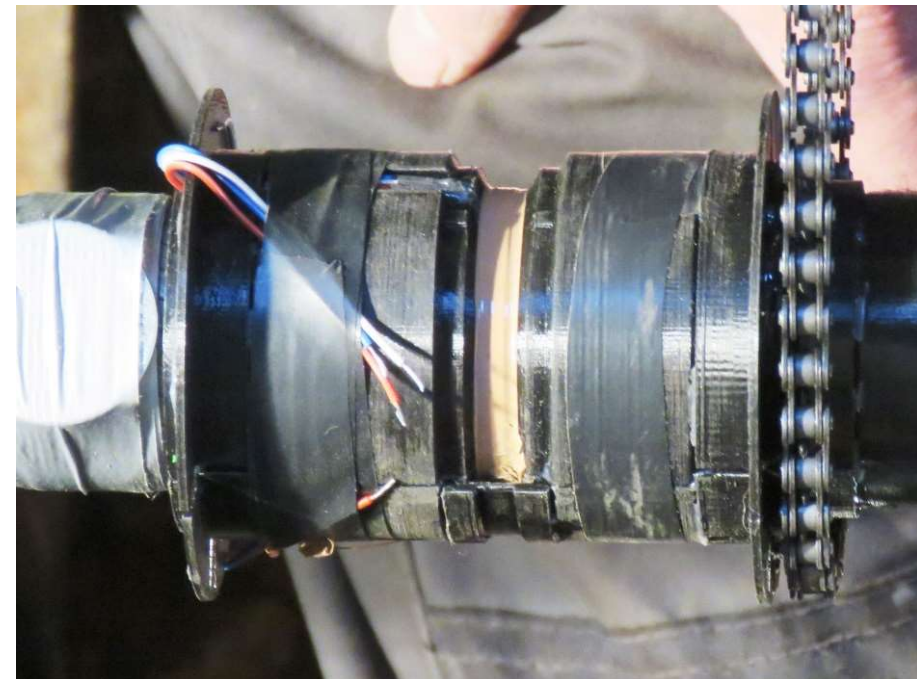
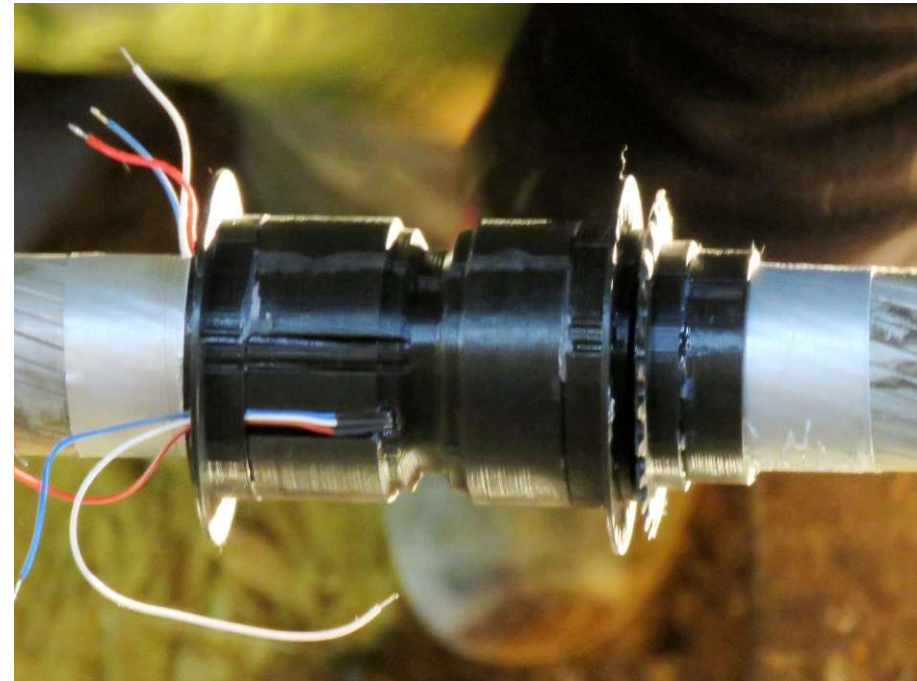
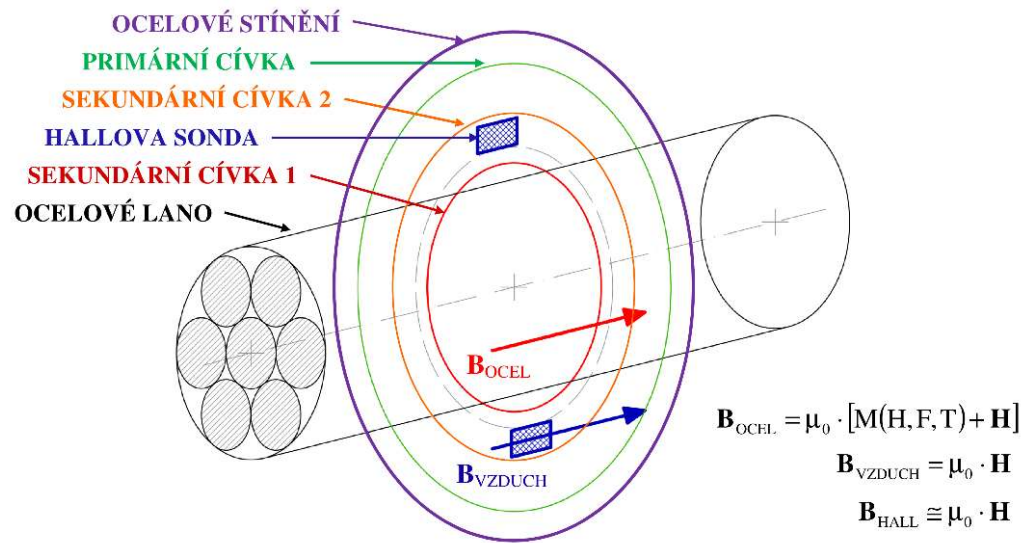
# Nový přístup k magnetoelastické metodě: Příklad aplikace ME snímače na stávající konstrukci:



(chybí sekundární cívka 2)

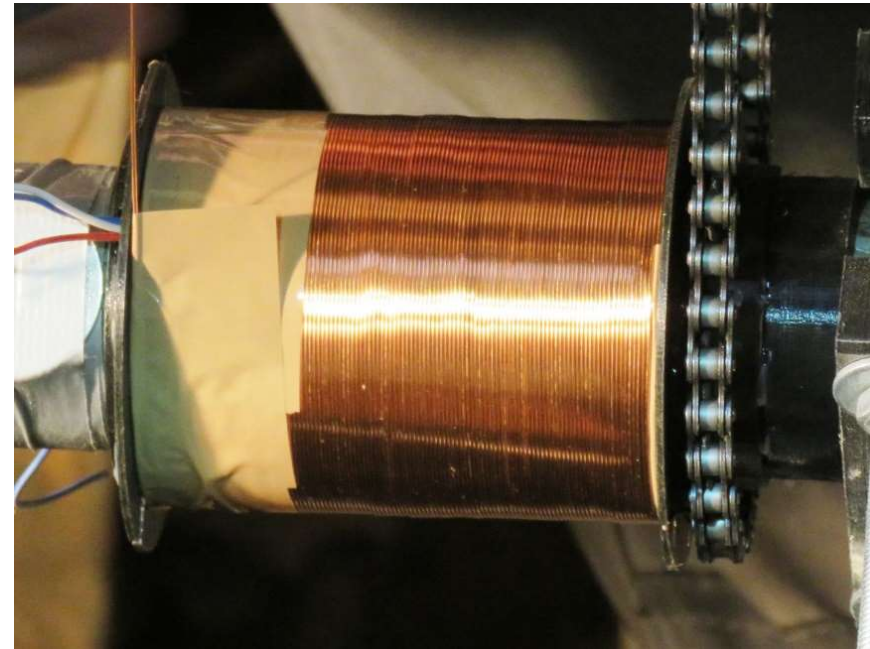
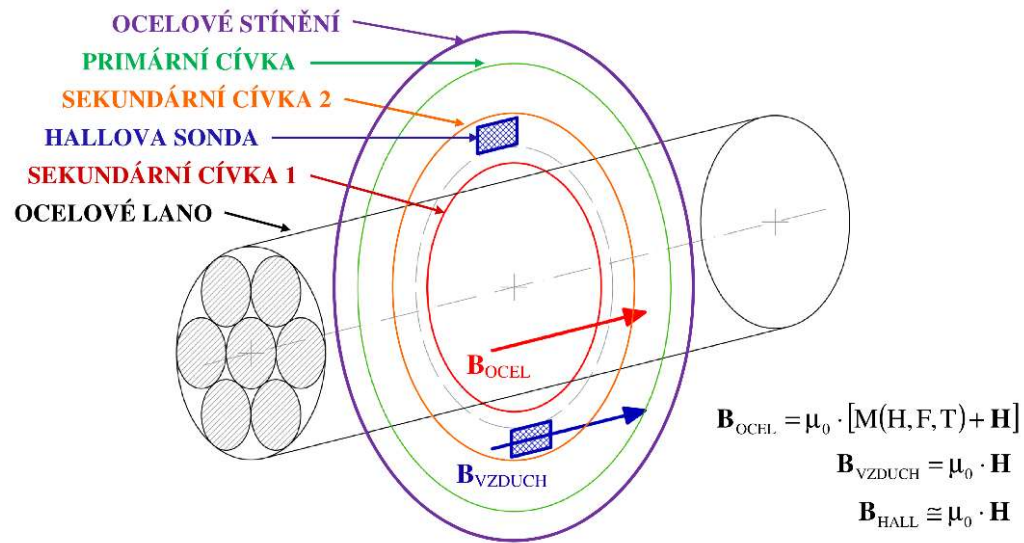


# Nový přístup k magnetoelastické metodě:

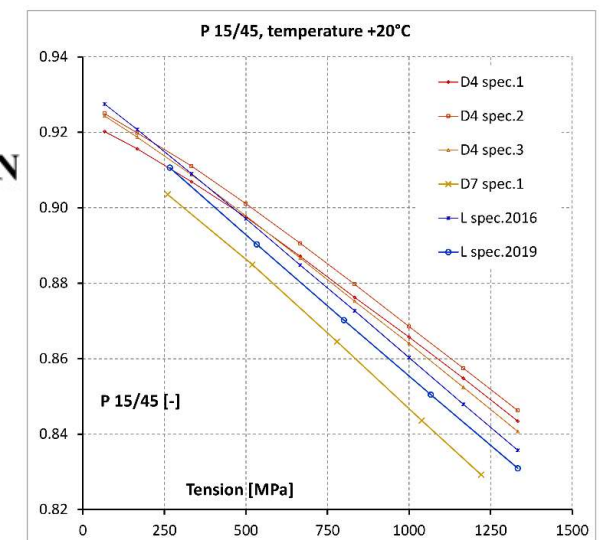
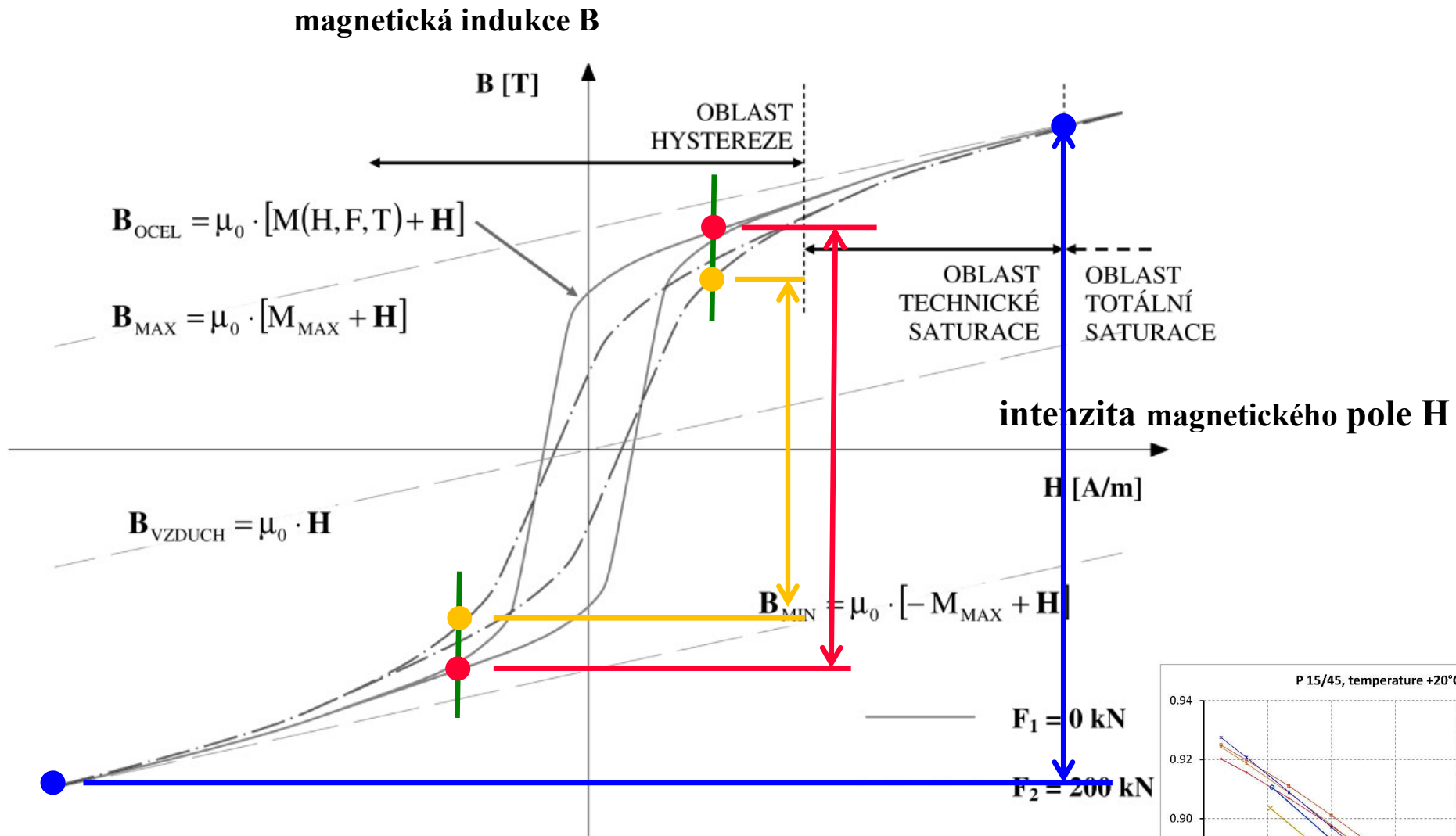




# Nový přístup k magnetoelastické metodě:

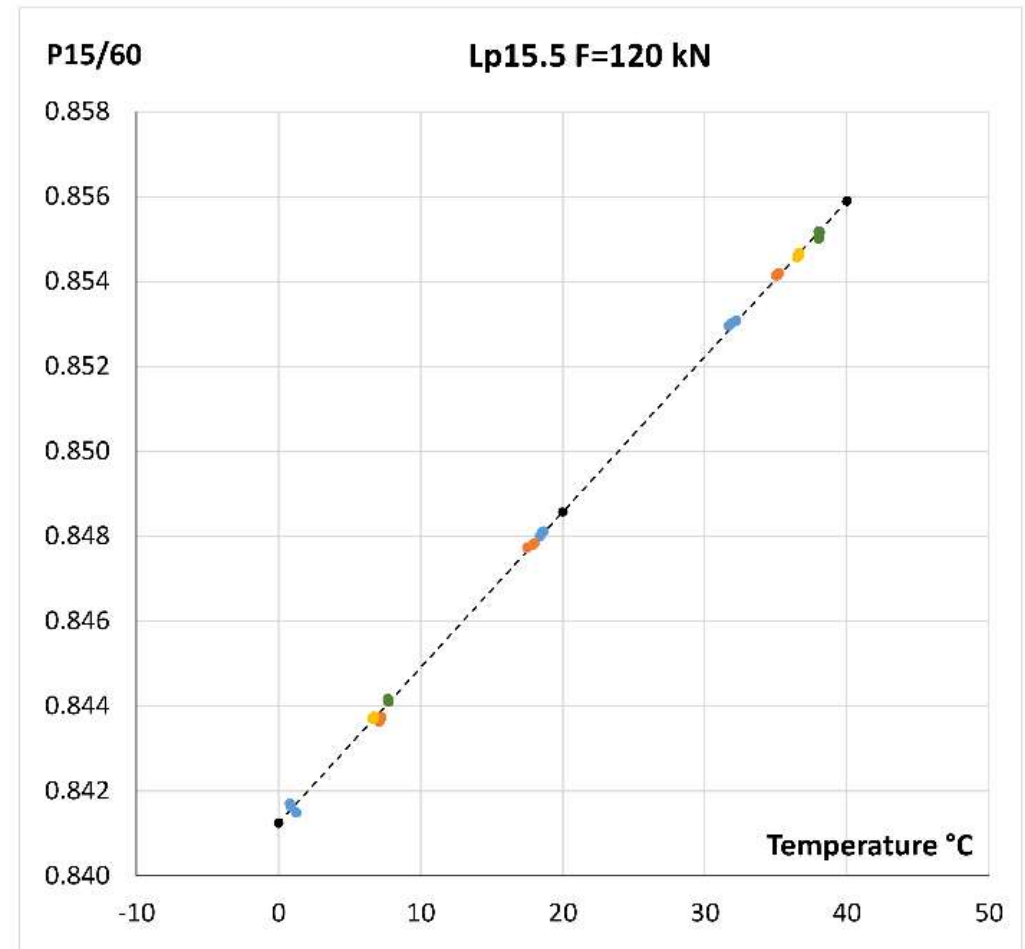
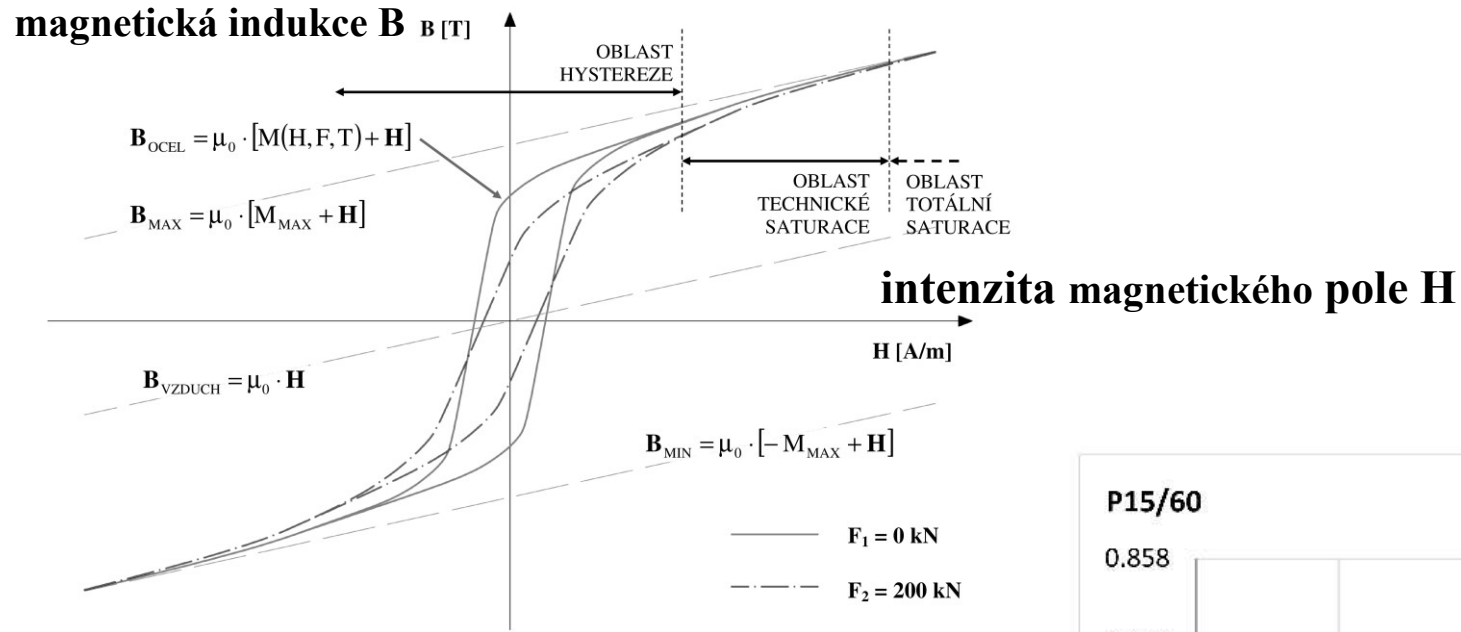


# Nový přístup k magnetoelastické metodě:



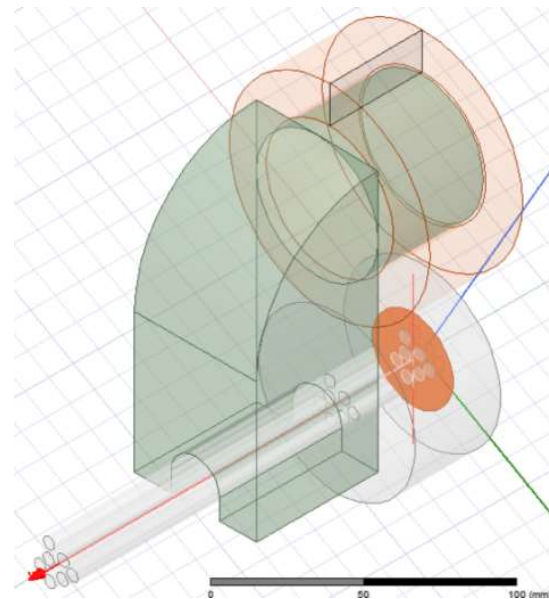
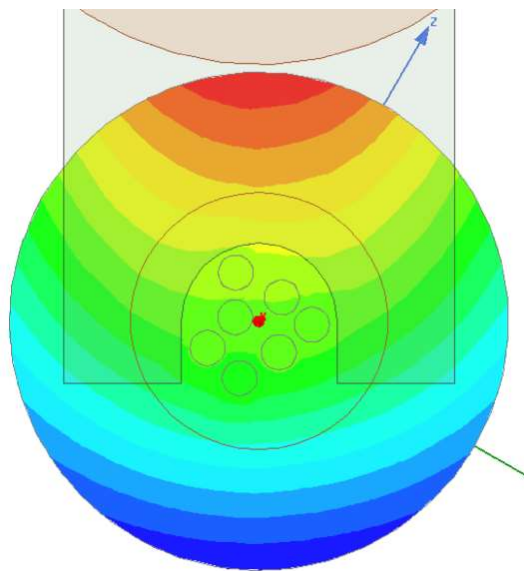
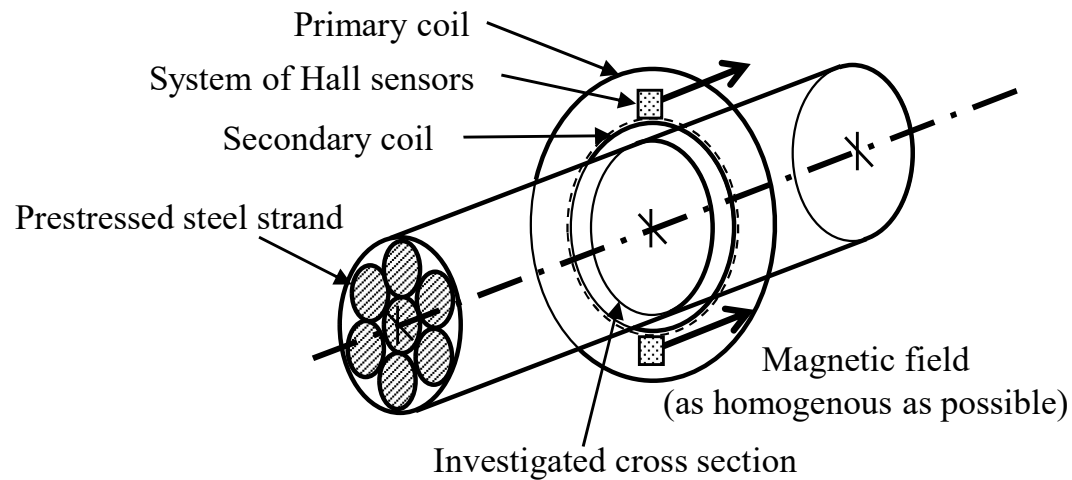
**Tři patentované dráty P4.5,  
jeden patentovaný drát P7 a dvě  
předpínací lana Lp15.7 / 1860 MPa**

# Nový přístup k magnetoelastické metodě:

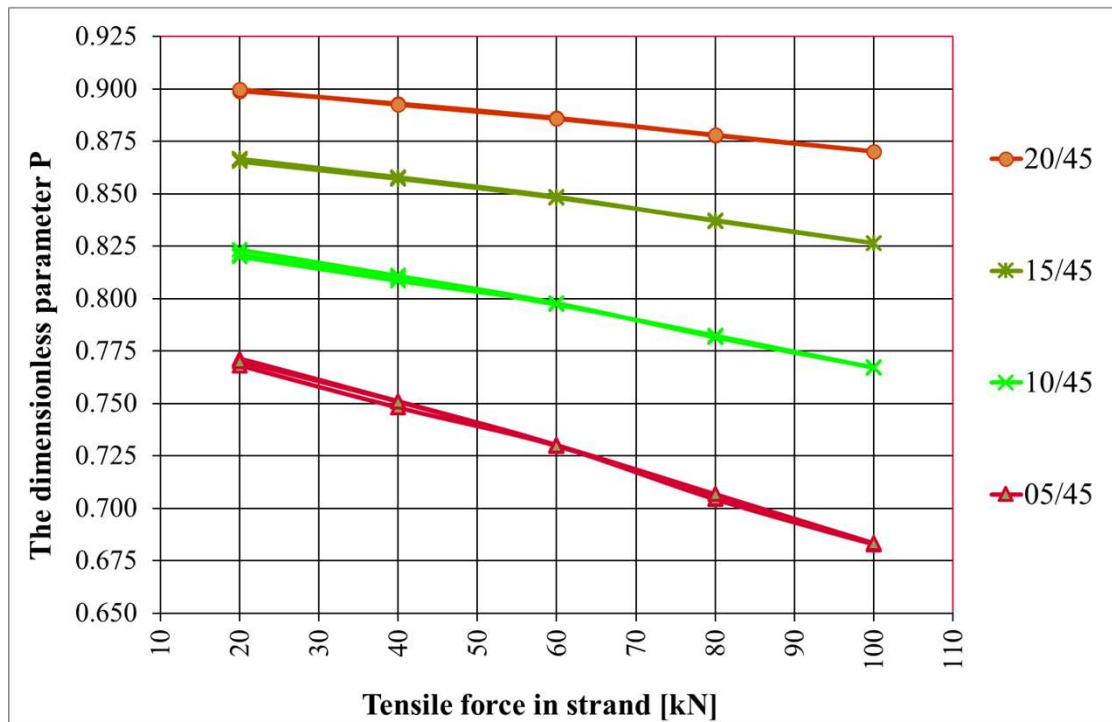
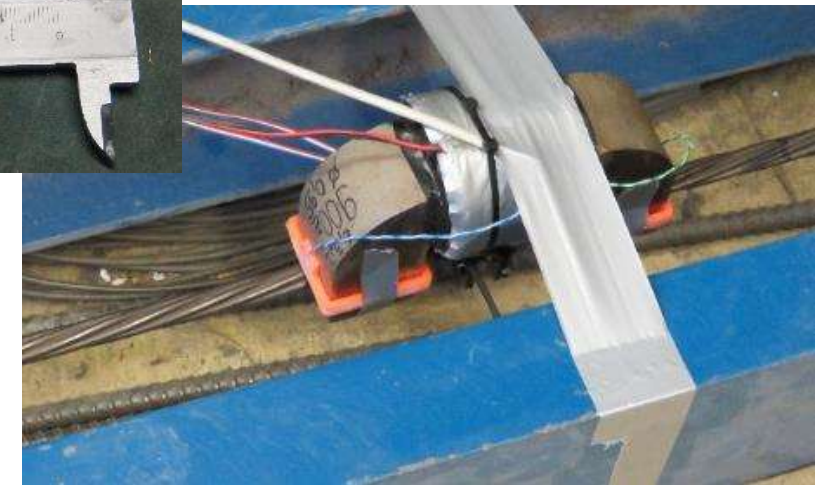
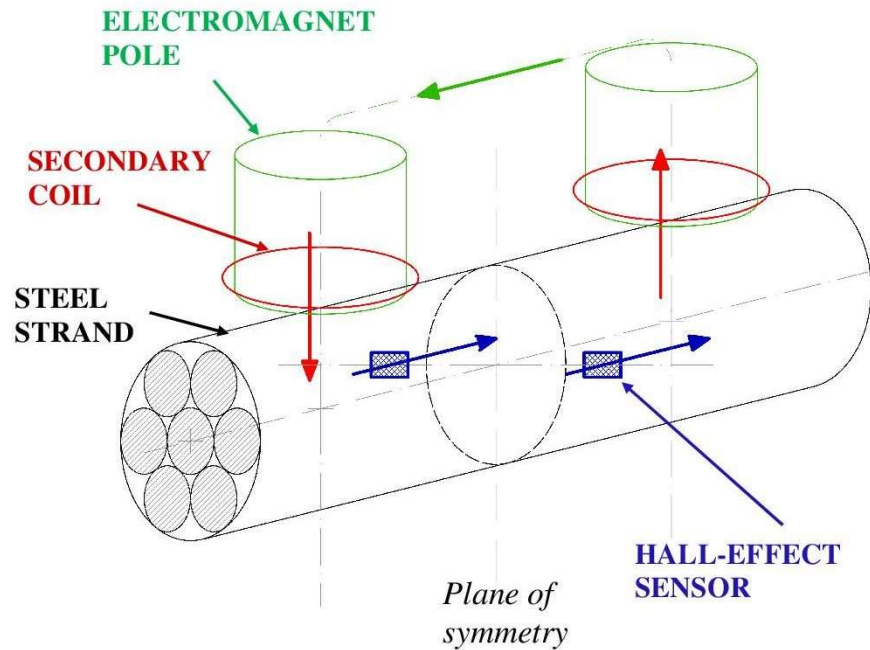


# Nový přístup k magnetoelastické metodě:

## Příklad aplikace odnímatelného ME snímače in situ:



# Nový přístup k magnetoelastické metodě:



# **Magnetoelastická metoda:**

## **Výhody:**

- **Nový přístup umožňuje sílu určovat absolutně bez ohledu na prvotní čtení.**
- **Metodu je možné použít pro vnitřní předpínací výztuž.**
- **Vlastnosti instalovaného snímače se s časem prakticky nemění.**
- **Po ukončení experimentu je možné standardní magnetoelastický snímač z prvku demontovat.**

# Magnetoelastická metoda:

## Nevýhody:

- Metoda je použitelná pouze na prvky vyrobené ze standardní feromagnetické oceli.
- Rozdílné ME snímače pro rozdílné konstrukční prvky.
- Unikátní měřicí aparatura.
- Standardní snímač musí zůstat instalovaný po celou dobu experimentu.
- Nutnost kalibrace snímače pro konkrétní předpínací prvek – v laboratoři, in situ.
- ME snímač není možné použít ke sledování dynamického průběhu síly.
- Ovlivnění výsledků podstatnou změnou magnetického okolí prvku (betonáž drátkobetonu, odejmutí ocelového bednění apod.).

**Konec**