

FUNKČNÍ VZOREK

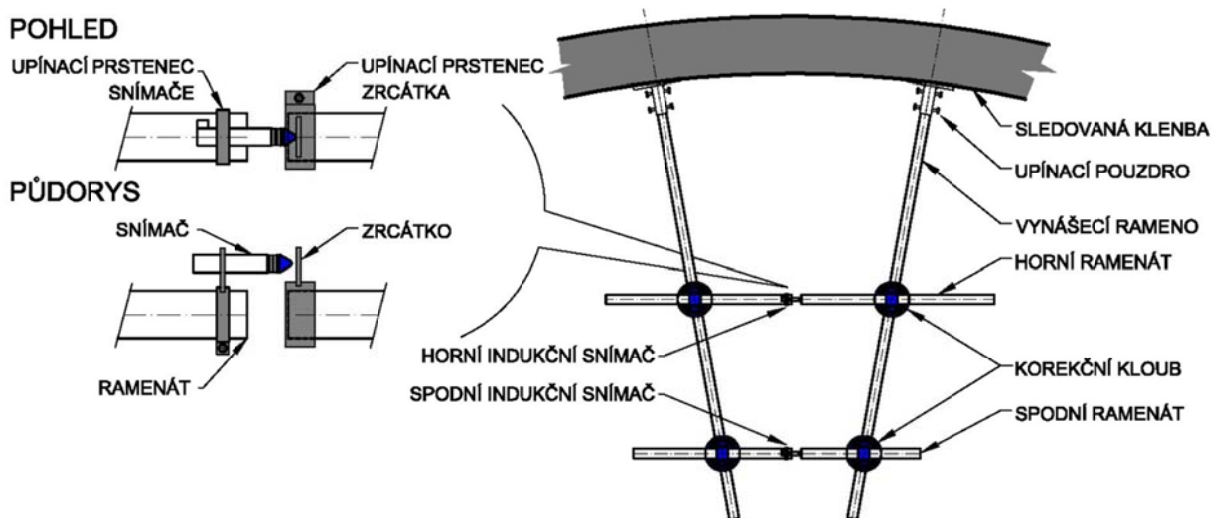
NÁZEV: RAMENÁTOVÝ ZESILOVAČ PRO SLEDOVÁNÍ PŘETVÁŘENÍ PRŮŘEZU KLENBY

1. ÚVOD

Užívání současných měřidel pro deformace zdiva bylo převzato z oblastí, kde byl sledovaný prvek zhotoven z dostatečně homogenních materiálů (ocel, beton). Zdivo je však typické svými odlišnými materiálovými charakteristikami u na sebe navzájem kolmých směrů. Díky velikosti základních stavebních prvků (cihla, malta) nepostačují dosavadní používané rozměry měřidel. Pro dosažení výsledků s postačující přesností je nutné sledovat opět vzájemnou změnu pozice dvou předem zvolených bodů, které se však nacházejí v dostatečné vzdálenosti od sebe, aby respektovaly lokální diskontinuity zdiva. Vytčený cíl komplikuje fakt, že sledovaný úsek je zakřivený.

2. KONSTRUKCE ZAŘÍZENÍ

Pro sledování deformací krajních vláken ve zvoleném průřezu klenby byla navržena ocelová konstrukce měřicího zařízení (dále „ramenátový zesilovač“). Podstata zařízení spočívá v měření přetváření vybraného úseku sledované konstrukce na účinky vnějšího silového namáhání pomocí snímačů, které ke klenbě samotné nepřiléhají. Navržená geometrie musí zohlednit potřebu záznamu deformace z řádově většího celku, než je velikost zdících prvků.



Obrázek 1 Konstrukční prvky měřicího zařízení - ramenátového zesilovače

Navrženým zařízením je možno stanovit velikost posunů a zároveň velikost pootočení části klenby nacházející se mezi body upnutí konstrukce ke klenbě. Soustava se skládá ze dvou tuhých polorámů, které nejsou vzájemně propojeny. Každý polorám je vetknut do zdiva na jednom konci sledovaného úseku. Polorámy se dotýkají hroty umístěných snímačů.

Připevnění upínacích pouzder na zdivo se provádí závitovými tyčemi procházejícími skrz celý průřez nebo mechanickými rozpěrnými kotvami. Do takto nachystaných pouzder se uchyťí vynášecí ramena. Jejich osa by měla být orientována kolmo ke střednici klenby. Požadované natočení ramenátů do jedné osy umožňují tzv. korekční klouby. Konstrukce kloubů byla navržena tak, aby se při běžně užívaných úhlech mezi vynášecími rameny docílilo snadné rotace jednotlivých ramenátů. Každá trubka se upne do kloubu přibližně

ve svém středu, díky tomu pak nedochází k namáhání kloubu v rovině rotace krouticím momentem.



Obrázek 2 Upínací pouzdro



Obrázek 3 Korekční kloub

3. TEORIE K ANALÝZE SOUBORU EXPERIMENTÁLNĚ NAMĚŘENÝCH DAT

Samotný záznam dat pořízený během měření sanované konstrukce zobrazuje sice změny v geometrii, avšak nemá vypovídací schopnost o míře přetvoření. Proto byla odvozena zjednodušená teorie na základě stavebně-mechanických, pružnostních a geometrických charakteristik. Obecné řešení, platné v celém rozsahu, překračuje reálné hodnoty deformací na stavební konstrukci a nelze ho odvodit přímým výpočtem analyticky. Proto byly zavedeny zjednodušující předpoklady umožňující přímý výpočet s přijatelnou nepřesností.

Záznam posunů na snímačích se převede zpět na velikost deformací líce a rubu sledované konstrukce. Na základě znalosti těchto posunů je možno stanovit přetvoření krajních vláken sledovaného úseku klenby. Rozdílná hodnota poměrných přetvoření na líci a rubu je důsledkem změny poloměru klenbového oblouku, resp. změny křivosti.

3.1. Odvození geometrických závislostí

Za vstupní hodnoty jsou považovány geometrické rozměry rámu h_1 , h_2 , L_1 , L_2 , t a deformace Δ_1 , Δ_2 , zaznamenané snímači na ramenátech. Ostatní rozměry se dopočítávají podle následujících vztahů. Vynášecí ramena nesvírají díky zakřivení střednice klenby pravý úhel s ramenáty osazenými snímačem. Proto se stanoví kolmé vzdálenosti mezi spodními a horními ramenáty.

$$\bar{h}_2 - \bar{h}_1 = \sqrt{(h_2 - h_1)^2 - \left(\frac{L_1 - L_2}{2}\right)^2}$$

L_1 , L_2 - délka ramenátů mezi stavěcími klouby osazených snímačem č. 1, 2

h_1 - vzdálenost kloubu s ramenátem č. 1 od líce klenby

h_2 - vzdálenost kloubu s ramenátem č. 2 od líce klenby

Stanoví se kolmá vzdálenost mezi horním snímačem č. 1 a spojnicí bodů proniku vynášecích ramen se spodním lícem klenby.

$$\bar{h}_1 = h_1 \times \frac{\bar{h}_2 - \bar{h}_1}{h_2 - h_1}$$

Délka základen pro výpočet přetvoření v krajních vláknech průřezu je odvozena z geometrie.

$$L_D = L_2 + \bar{h}_2 \times \frac{L_1 - L_2}{h_2 - \bar{h}_1}, \quad L_H = L_2 + (\bar{h}_2 + t) \times \frac{L_1 - L_2}{h_2 - \bar{h}_1}.$$

Nezbytnou hodnotou pro posouzení, zda došlo ke změně křivosti, je stanovení poloměru zakřivení. Opět lze vycházet z podobnosti trojúhelníka:

$$\operatorname{tg} \frac{\varphi}{2} = \frac{\frac{L_1 - L_2}{2}}{\bar{h}_2 - \bar{h}_1} = \frac{\frac{L_D}{2}}{\bar{r}_D},$$

kde je za neznámou považován průmět poloměru líce klenby do svislé roviny. Matematickou úpravou lze tuto teoretickou hodnotu vyjádřit ve vztahu:

$$\bar{r}_D = L_D \times \frac{\bar{h}_2 - \bar{h}_1}{L_1 - L_2}.$$

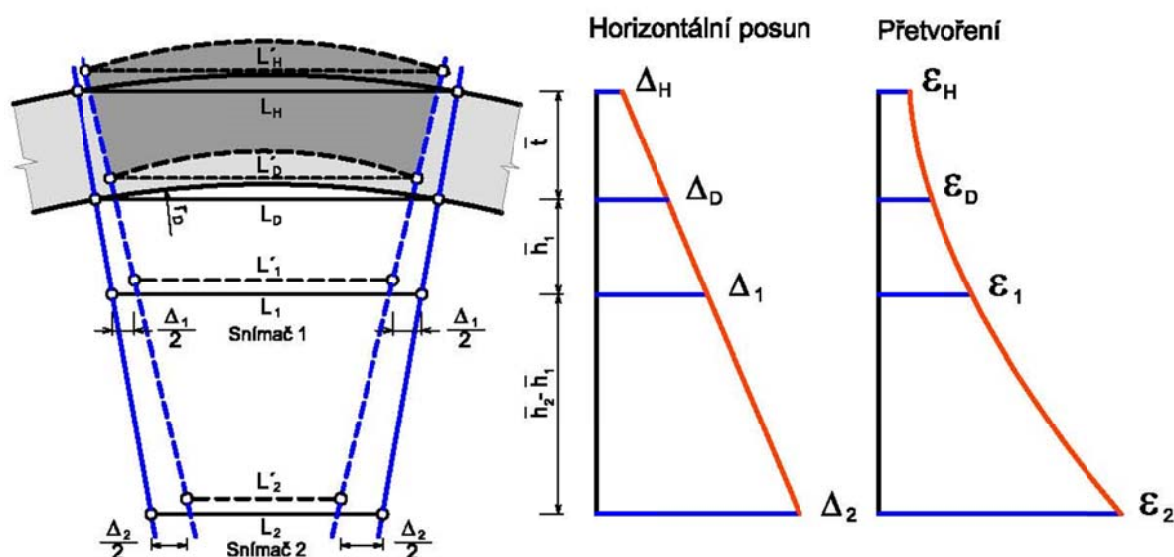
Stanoví se hledaný poloměr zakřivení v úseku klenby mezi vynášecími rameny. V případě, že osa vynášecích ramen nesvívá se střednicí klenby pravý úhel, výpočtem stanovený poloměr r_D bude vykazovat odchylku. Ve výpočtu je možné uvažovat spočtený nebo skutečný poloměr

$$r_D = \sqrt{\left(\frac{L_D}{2}\right)^2 + \bar{r}_D^2} = L_D \sqrt{\frac{1}{4} + \left(\frac{\bar{h}_2 - \bar{h}_1}{L_1 - L_2}\right)^2}.$$

Je-li určena hodnota poloměru r_D , stanoví se pro známou velikost vrcholového úhlu φ obloukové délky líce a rubu klenby $\hat{L}_D, \hat{L}_H$ mezi rameny:

$$\hat{L}_D = \varphi \times r_D, \quad \hat{L}_H = \varphi \times r_H, \quad r_H = r_D + t.$$

Na základě velikosti deformací zaznamenaných snímači se tyto změny transformují zpět na povrchová vlákna klenby. Nejprve se extrapolují zaznamenané deformace Δ_1, Δ_2 a z takto stanovených deformací Δ_D a Δ_H se již určí velikosti přetvoření po výšce vyšetřovaného průřezu v konstrukci, za předpokladu platnosti Bernoulliovy hypotézy.

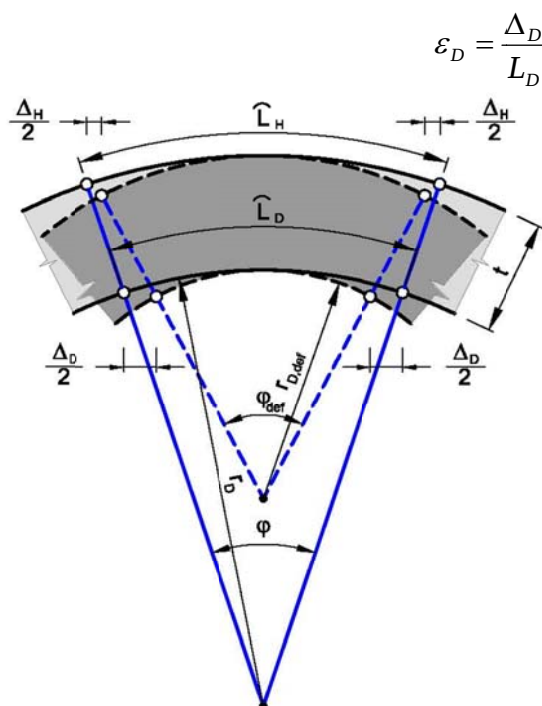


Obrázek 4 Rozdíly mezi extrapolací posunů a poměrných přetvoření

Velikost změny délky krajních vláken klenby (spodních a horních) ve sledovaném úseku L_D , resp. L_H , vyjadřují následující vztahy:

$$\Delta_D = \Delta_2 - \bar{h}_2 \times \frac{\Delta_2 - \Delta_1}{\bar{h}_2 - \bar{h}_1}, \quad \Delta_H = \Delta_2 - (\bar{h}_2 + \bar{t}) \times \frac{\Delta_2 - \Delta_1}{\bar{h}_2 - \bar{h}_1}.$$

Na základě znalosti deformací Δ_D a Δ_H se již stanoví velikost poměrných přetvoření líce a rubu konstrukce:



$$\varepsilon_D = \frac{\Delta_D}{L_D}, \quad \varepsilon_H = \frac{\Delta_H}{L_H}$$

Za vstupní parametry se považují obloukové délky $\hat{L}_D, \hat{L}_H$ a posuny Δ_D a Δ_H .

Stanovení velikosti poloměru zakřivení r_{def} a vrcholového úhlu φ_{def} po deformaci vychází z řešení lineárních rovnic:

$$r_{D,def} \times \varphi_{def} = (\hat{L}_D - \Delta_D),$$

$$(r_{D,def} + t) \times \varphi_{def} = (\hat{L}_H - \Delta_H),$$

Ize tedy psát:

$$\varphi_{def} = \frac{(\hat{L}_H - \Delta_H) - (\hat{L}_D - \Delta_D)}{t},$$

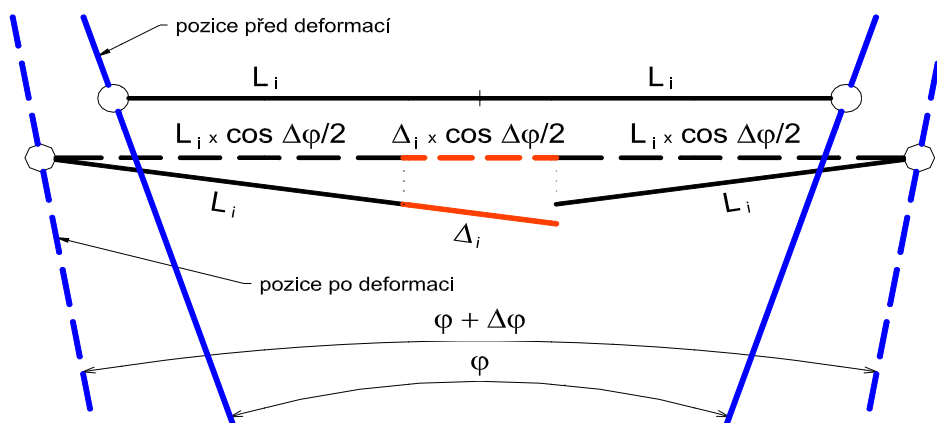
$$r_{D,def} = \frac{\hat{L}_D - \Delta_D}{\varphi_{def}}.$$

Obrázek 5 Změna sledovaných veličin před a po deformaci zakřiveného prvku

3.2. Zjednodušení uvažovaná při měření

3.2.1 Vliv pootočení vynášecích ramen

Vzdálenost mezi klouby je při měření zkreslena o rotaci vynášecích ramen. Tato vzdálenost se proto určuje jako součet průmětů jednotlivých ramenátů do osy procházející klouby.



Obrázek 6 Nepřesnost záznamu vlivem pootočení ramenátů

Hodnotu chyby měření vlivem pootočení průřezu lze vyjádřit jako:

$$c = (2 \times L_i + \Delta_i) \times \left(\cos \frac{\Delta \varphi}{2} - 1 \right),$$

kde $\Delta_i \geq 0$.

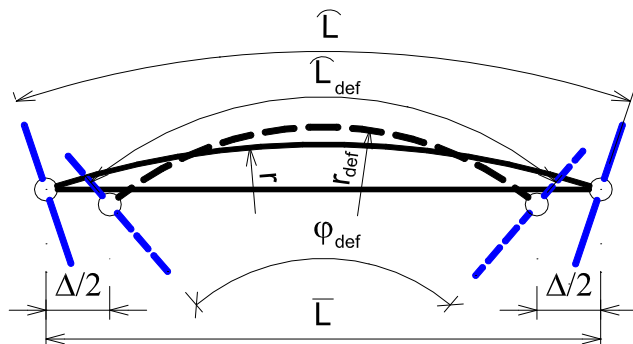
3.2.2 Teplota

Korekce záznamu o vliv teploty se při krátkodobém měření stanovuje pouze od délkových změn prvků ramenátového zesilovače. Ze záznamu teploty se určí změna posunu snímačů a přičte se s opačným znaménkem k záznamu.

$$\Delta_i^T = \Delta_{i,a}^T + \Delta_{i,b}^T = 2 \times \alpha \times \Delta T (h_i \times \frac{L_1 - L_2}{h_2 - h_1} + L_i).$$

3.2.3 Změna obloukové míry $\hat{L}_D, \hat{L}_H$ za přímkovou $\bar{L}_D, \bar{L}_H$

Přetvoření $\varepsilon_D, \varepsilon_H$ se určuje ze záznamu deformace Δ_D, Δ_H a délek $\bar{L}_D, \bar{L}_H$. Skutečné přetvoření bude menší, protože stejná deformace se odehrává na původní zakřivené délce klenby $\hat{L}_D, \hat{L}_H$.



Obrázek 7 Zjednodušená geometrie pro přímý výpočet

φ	$\bar{L} / \hat{L}$	odchylka
10°	0.9987	1,3 %
15°	0.9972	2,9 %
20°	0.9949	5,1 %

$$\varphi_{def} = \frac{\hat{L}_{def}}{r_{def}} \quad \hat{L}_{def} = \hat{L} - \Delta$$

Obrázek 8 Nepřesnosti ze záměny délek

4. ZÁVĚR

Použití ramenátového zesilovače je vhodnou metodou pro určení velikosti přetvoření (daného posunem, pootočením, nebo jejich kombinací) libovolného průřezu na konstrukci se zakřivenou střednicí. Konstrukce zesilovače podává představu o chování většího úseku zděných prvků a potlačuje tak zkreslená naměřená data získaná konvenčními metodami.

Pro realizaci měření jsou nezbytné dva požadavky. Funkční měřicí souprava a přibližná představa o chování zesilovaného prvku. První požadavek sestává z hardwarového vybavení (ramenátový zesilovač, snímače, sběrnice dat, PC), a ze software, který umožní sledování zájmových veličin v reálném čase. Druhým požadavkem je předběžná statická analýza pro určení geometrie zesilovače.

Na základě odvozené teorie je možné implementovat výpočet zájmových veličin do stávajícího programového vybavení.

Využití ramenátového zesilovače modifikovaného pro sledování posunů s nulovým pootočením našlo uplatnění u mostních klenb zatěžovaných příčným předepnutím. Sledování vzájemných posunů mezi dvěma libovolnými body ležícími ve směru působícího předpětí umožňuje korekci předpokládaného modulu přetvárnosti, zaznamenání síly, při které dojde k uzavření trhlin, které nemůžou být zainjektovány s ohledem na svou šířku a podle míry nelineárního chování zdiva možnost usuzovat stav napjatosti v konstrukci. Při dostatečně hustém rozmístění měřících základů lze získat představu o vlivu smykových sil, přenášených kontaktně přes ložné spáry.

Užití ramenátového zesilovače se proto doporučuje jako relevantní součást prací spojených se sledováním chování klenb při změně zatěžení.

5. FOTOGRAFIE MĚŘÍCÍHO ZAŘÍZENÍ



