



EXPERIMENTÁLNÍ DIAGNOSTIKA STAVEBNÍCH KONSTRUKCÍ

doc. Ing. Jiří LITOŠ, Ph.D.

Obsah prezentace

1

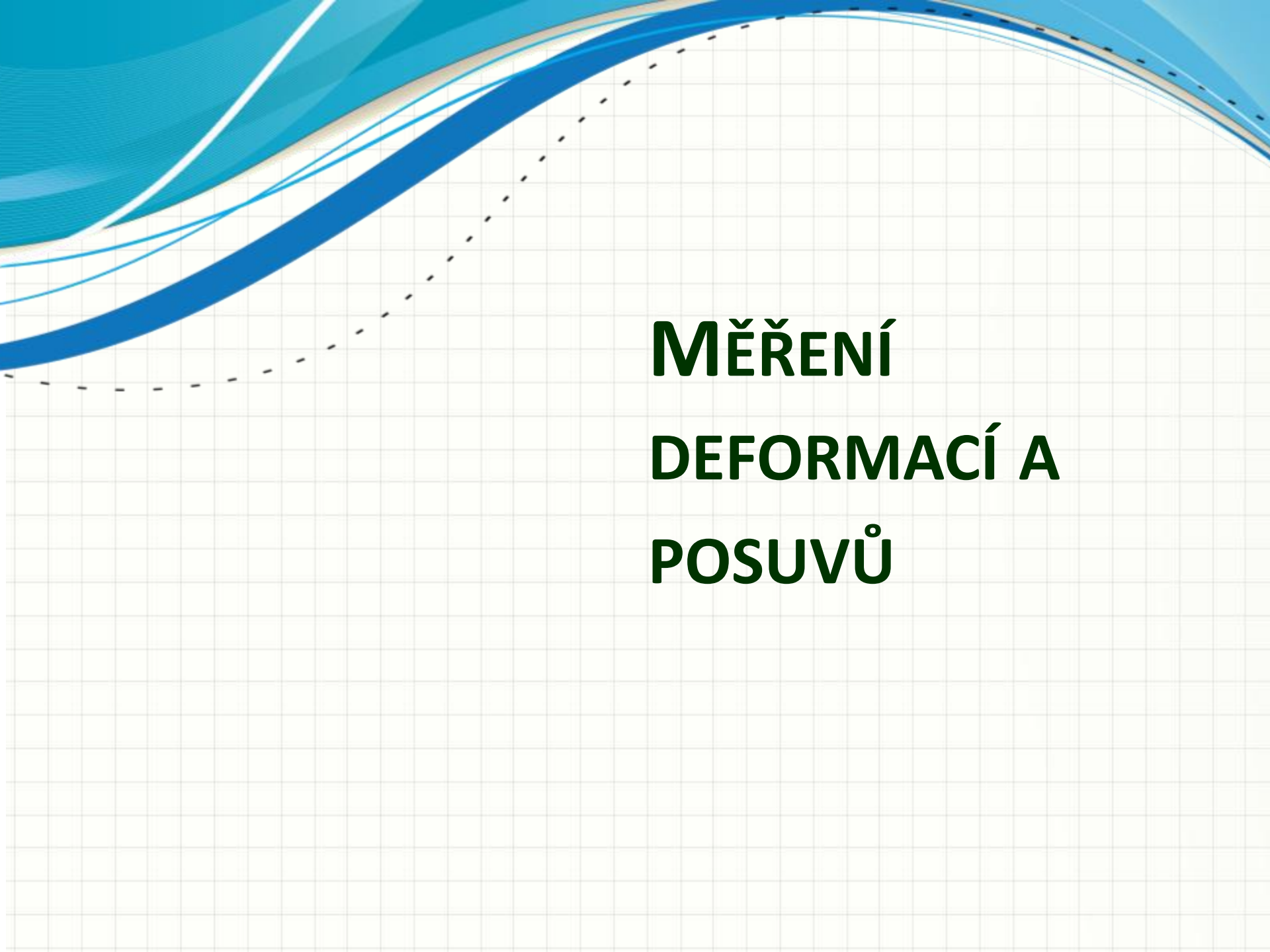
- Experimentální diagnostika stavebních konstrukcí

- Měření deformací a posunů
- Tenzometrie
- Měření teploty a vlhkosti

2

- Trhliny v betonových konstrukcích

- Příčiny vzniku trhlin
- Identifikace trhlin
- Měření objemových změn betonu



MĚŘENÍ DEFORMACÍ A POSUVŮ

Měření deformací a posuvů

■ Deformace

- Celkové přetvoření – vratné + nevratné

■ Proč?

- Modulu pružnosti
- Poissonova čísla
- Napětí (uvnitř, na povrchu)
- Průhyby a jiné vnější deformace

■ Výsledek

- Použití pro teoretické výpočty
- Propracování konstrukčních detailů
- Zhospodárnění celého stavebního díla

Měření deformací a posuvů

■ Induktivní snímače (LVDT)

- Princip dvou cívek a posuvného jádra
- Časté použití, různé přesnosti



Měření deformací a posuvů

■ Kapacitní snímače

- Princip – změna kapacity kondenzátorů
 - Změna tloušťky vzduchové mezery nebo plochy kondenzátorů

■ Elektrooptické snímače

- Princip – přeměna světla na el. signál

Měření deformací a posuvů

■ Potenciometrické snímače

- Princip – jezdec potenciometru klouže po vinutém drátovém odporu snímače



Měření deformací a posuvů

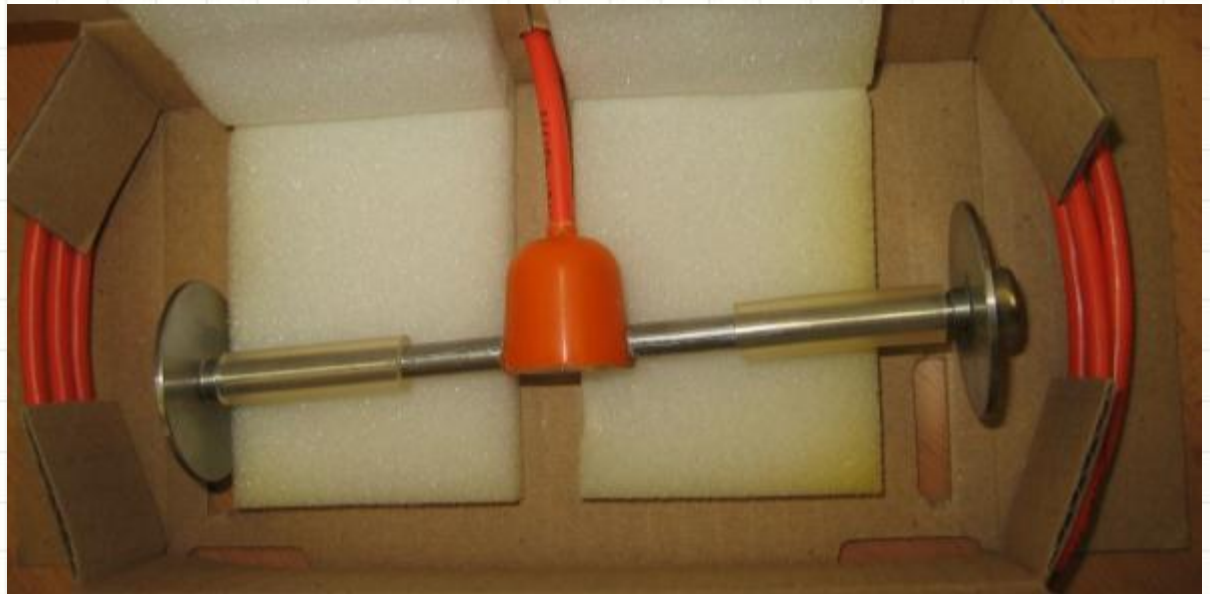
■ Tenzometrie

- Rozsáhlý soubor metod pro měření poměrných deformací ε
- ε se udává se v $\mu\text{m}/\text{m}$ (nebo mikrostrain)
 - Odporové
 - Induktivní
 - Strunové
 - Mechanické
 - Piezoelektrické
 - Fotoelasticimetrické

Měření deformací a posuvů

■ Strunové tenzometry

- Princip – změna vlastní frekvence struny
 - rozkmitávací a snímací cívka
- Jeden bod pevný, druhý pohyblivý



Měření deformací a posuvů

■ Induktivní tenzometry

- Princip – pohyb jádra mezi cívkami
- Jeden bod pevný, druhý pohyblivý

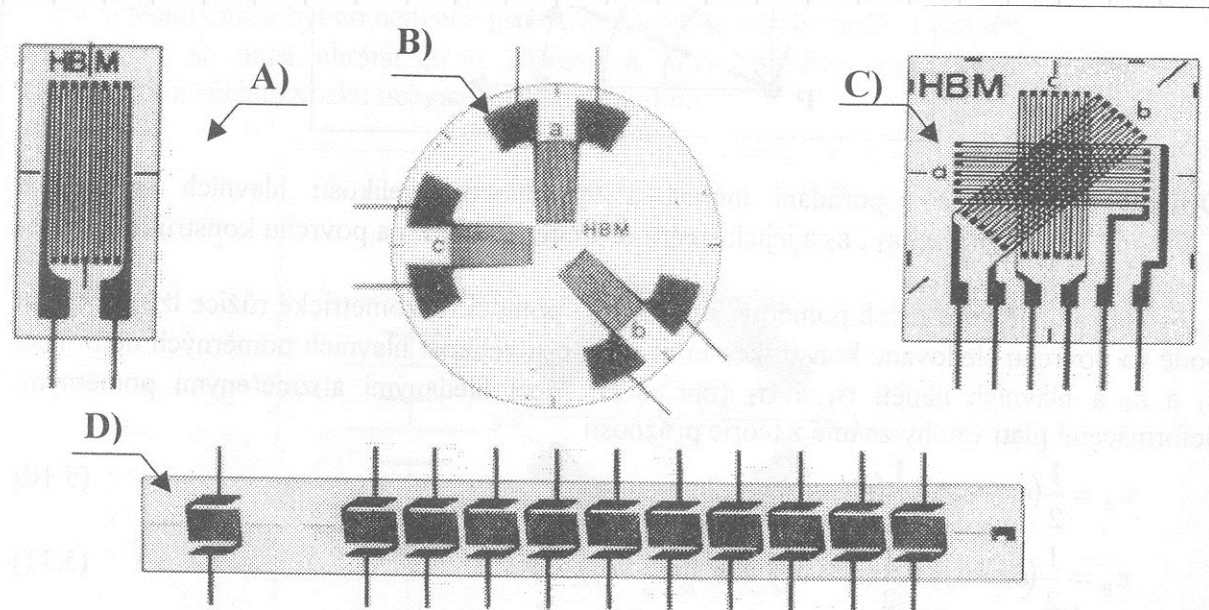


Měření deformací a posuvů

■ Odporové tenzometry

- Nejpoužívanější
- Princip – změna elektrického odporu
 - Krystaly germia či křemíku
 - Tenký drátek – Konstantan (slitina mědi a niklu)
 - Leptání geometrického tvaru tenzometru do konstantanové fólie o tl. 5-8 μm
- Závislost na vnějších vlivech – kompenzace
- Speciálně vyráběné pro různé materiály

Měření deformací a posuvů

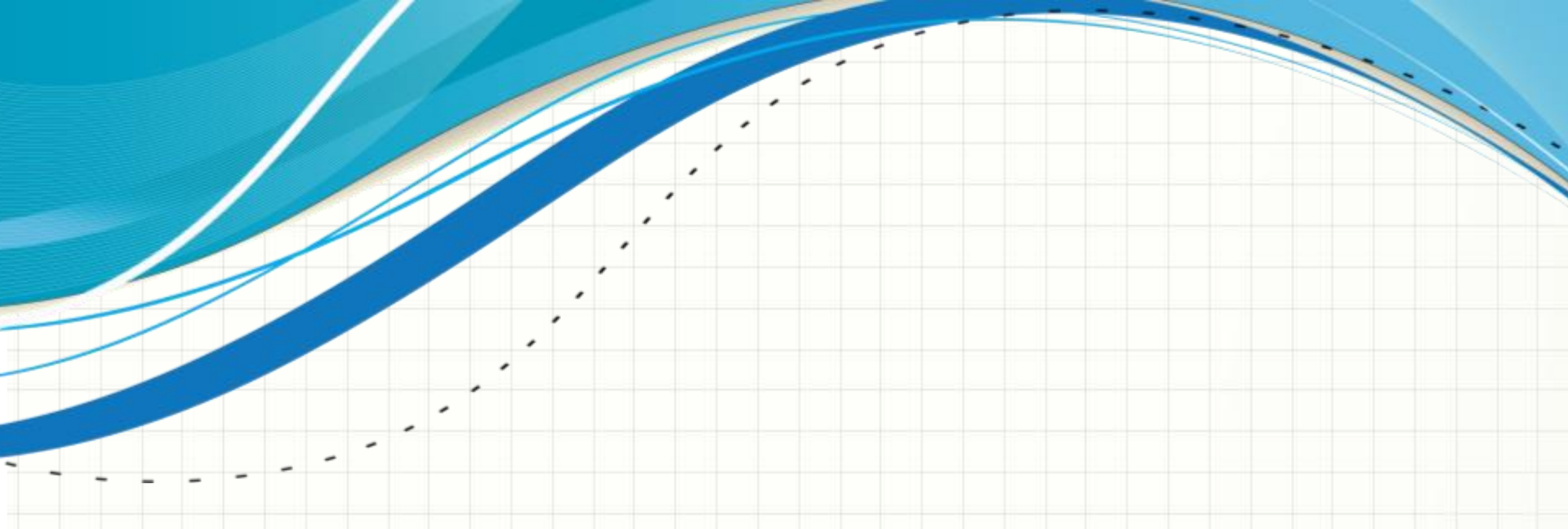


Legenda:

- A) Foliový tenzometr určený pro měření poměrné deformace na ocelové konstrukci v jediném směru
- B) Tenzometrická růžice $0^\circ/45^\circ/90^\circ$ určená k měření na ocelových konstrukcích
- C) Tenzometrická růžice $0^\circ/45^\circ/90^\circ$ určená k měření na ocelových konstrukcích, měřicí mřížky se překrývají
- D) Tenzometrický řetězec pro měření na ocelových konstrukcích, měřicí mřížky jsou orientovány pro měření poměrné deformace v jediném směru

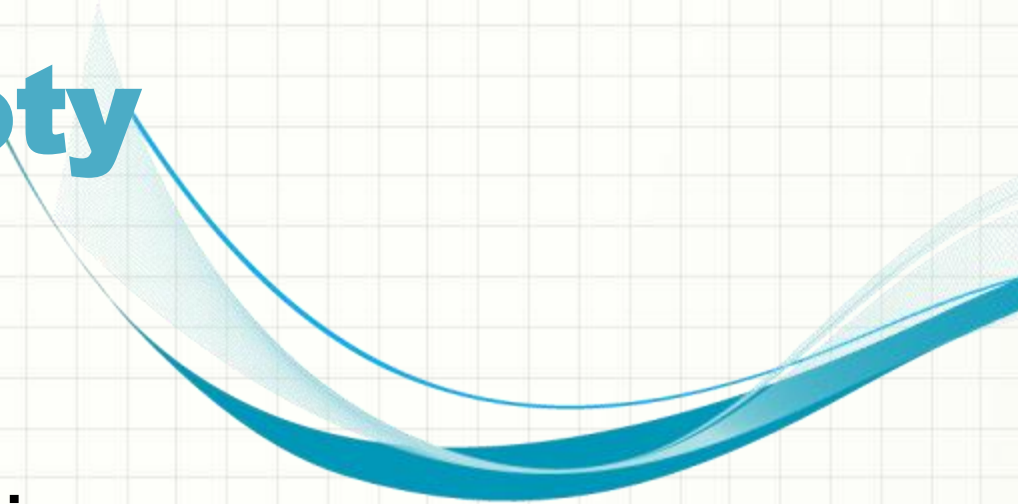
Měření deformací a posuvů





MĚŘENÍ TEPLoty

Měření teploty

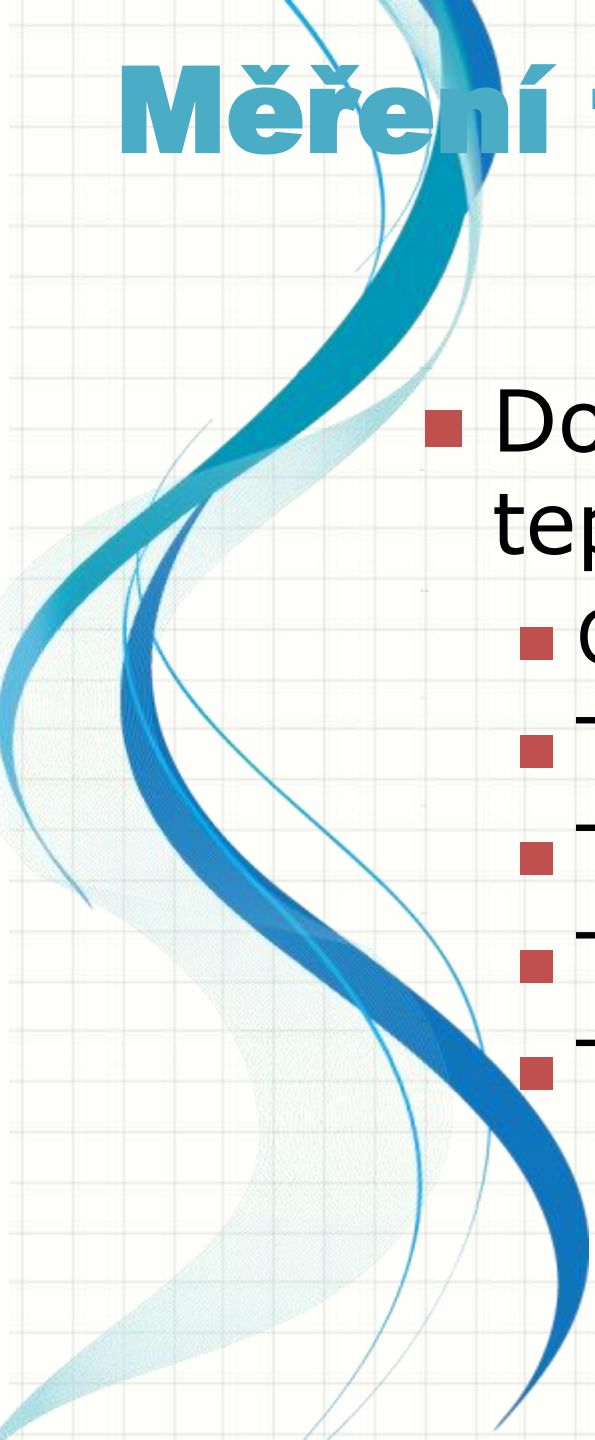


- Významná veličina (základní jednotka SI)
- Fyzikální vlastnosti materiálů jsou závislé na teplotě
- Základní dělení
 - Dotykové metody měření
 - Bezdotykové metody měření

Měření teploty

<i>skupina teploměru</i>	<i>typ teploměru</i>	<i>fyzikální princip</i>	<i>teplotní rozsah (°C)</i>	
dilatační teploměry	plynový	změna tlaku	-5	+500
	<u>tenzní</u>	změna tenze par	-40	+400
	kapalinový	změna objemu	-200	+750
	kovový	délková roztažnost	0	+900
elektrické teploměry	termoelektrické	termoelektrický jev	-200	+1700
	odporové kovové	změna elektrického odporu	-250	+1000
	odporové polovodičové, diodové	změna prahového napětí	-200	+400
speciální teploměry	keramické žároměrky	bod měknutí	+600	+2000
	teploměrná tělíska	bod tání	+100	+1300
	teploměrné barvy	změna barvy	+40	+1350
bezdotykové teploměry	širokopásmové pyrometry	zachycení veškerého teplotního záření	-40	+5000
	monokrystalické pyrometry	zachycení úzkého svazku teplotního záření	+100	+3000
	poměrové pyrometry	srovnání dvou svazků teplotního záření o různých vlnových délkách	+700	+2000
	<u>termovize</u>	snímání teplotního obrazu tělesa	-30	+1200

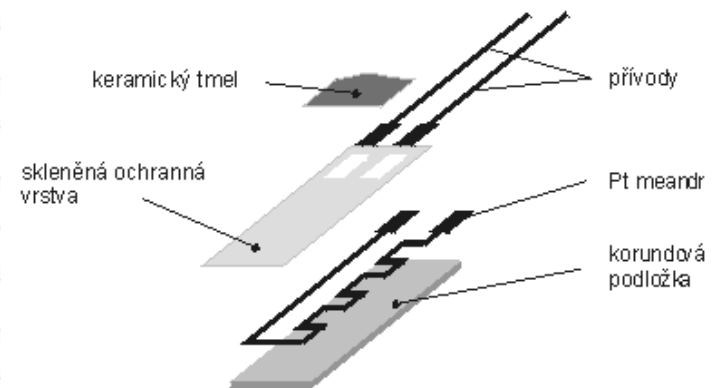
Měření teploty



- Dotykové metody měření teploty
 - Odporové teploměry
 - Termistory
 - Termodiody
 - Termotranzistory
 - Termočláanky

Měření teploty

<i>materiál</i>	$\alpha \cdot 10^{-3}$ [K ⁻¹]	<i>meze použití</i> [°C]
Pt	3,85 - 3,93	-200 až 850
Ni	6,17 - 6,70	-60 až 200
Cu	4,26 - 4,33	-50 až 150



Měření teploty

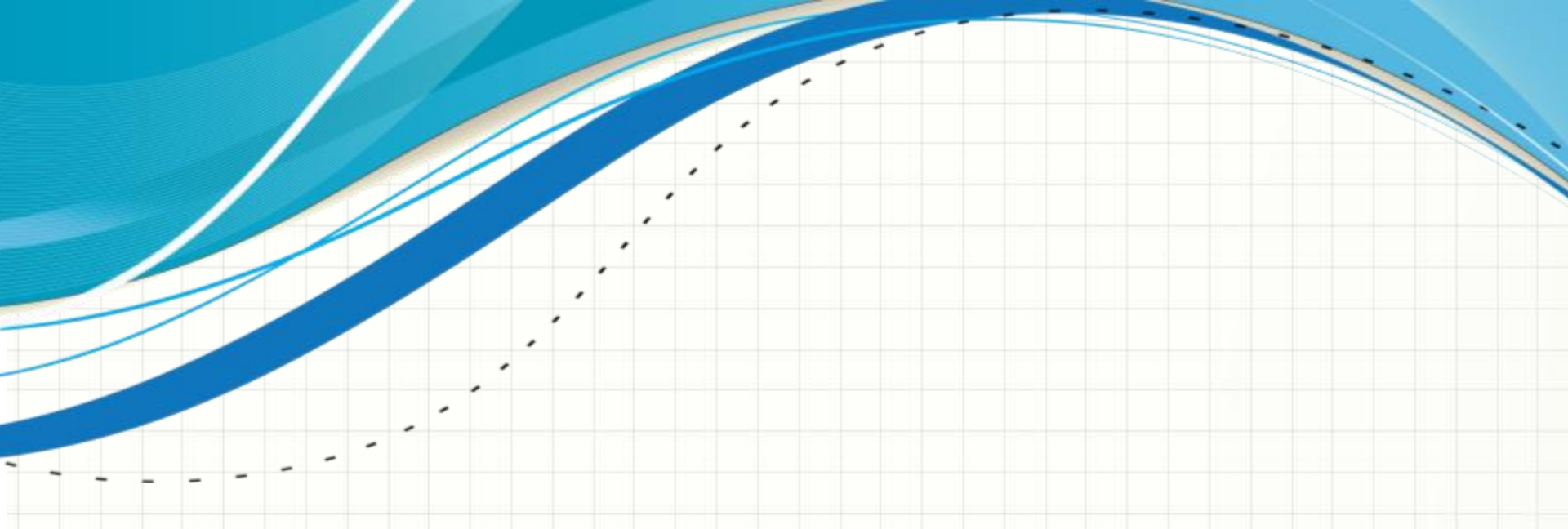
■ Bezdotykové metody měření teploty

- Založeno na tepelném záření v rozsahu
-40 °C až + 10000 °C
- Tepelné snímače
- Kvantové snímače

Měření teploty

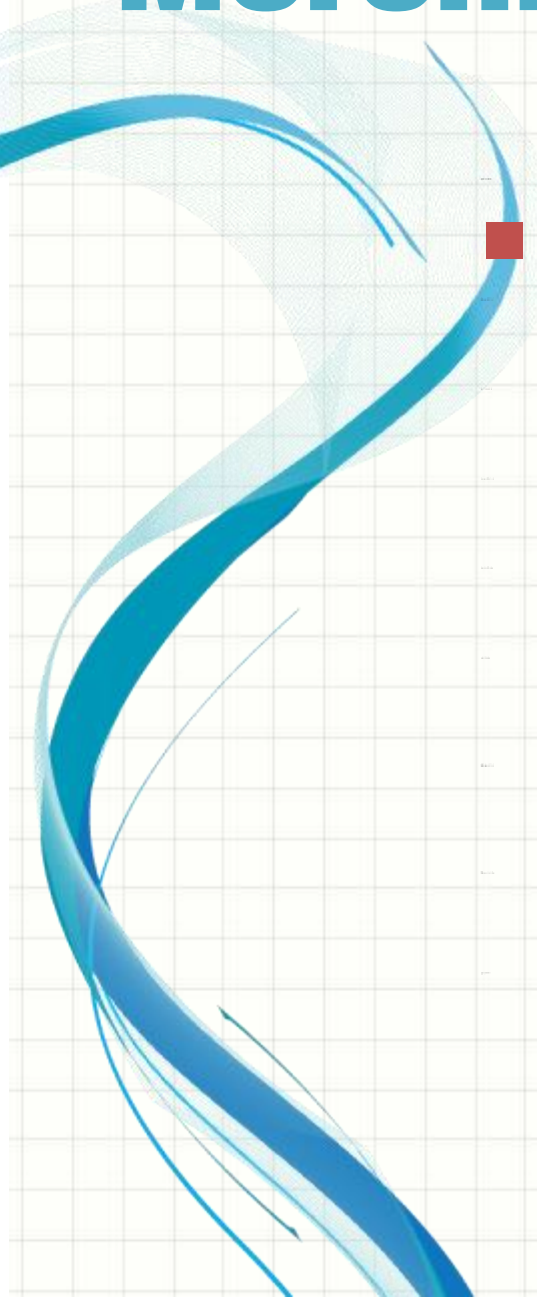
■ Inframěření teploty





MĚŘENÍ VLHKOSTI

Měření vlhkosti



- Metody měření vlhkosti
 - Požadavky – měření vlhkosti s přesností 0,1%, okamžité vyhodnocení, zjištění vlhkosti v kterémkoli místě konstrukce, nedestruktivní měření
 - Realita – nelze podmínky splnit
 - Přímé a nepřímé metody měření
 - Často se používají kombinace

Měření vlhkosti

- Skupiny principů měření vlhkosti
 - Oddělování vody od pevné fáze
 - Vodu lze oddělit odpařením, vytlačením, destilací
 - Stanovení obsahu vody na základě jejích specifických vlastností
 - Vyvolání některých chemických reakcí
 - Pohltivost elektromagnetického záření vysokých frekvencí
 - Měření jiných veličin v souvislosti s obsahem vody
 - Některé materiály mění s vlhkostí svůj objem
 - Všechny materiály mění svou měrnou tepelnou a součinitel tepelné vlhkosti
 - Odporová metoda měření vlhkosti

Měření vlhkosti

■ Gravimetrická metoda

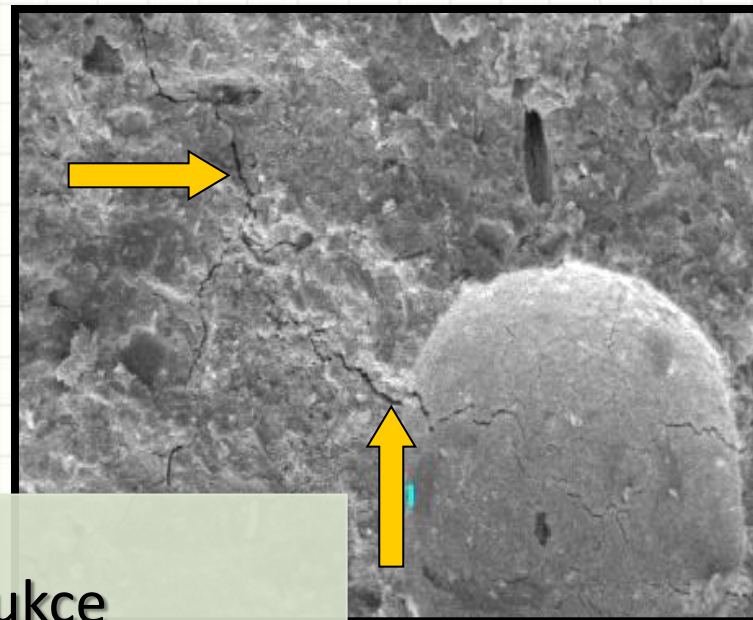
- Celosvětový standard
- Odebrán vzorek, zvážen, vysušen a opět zvážen
$$u = (m - m_s) / m_s \times 100\%$$
- Nevýhody
 - Destruktivní metoda
 - Nemožnost opakování
 - Časové zpoždění informace
- Velikost vzorku – alespoň 100x větší než největší nehomogenita (např. zrno kameniva)
- Vysušení vzorku – zbavení volné vody, případně fyzikálně vázané – energeticky a časově náročné – urychlující metody



TRHLINY V BETONOVÝCH KONSTRUKCÍCH

Vznik trhlin

Objemové změny betonu
a cementových kompozitů



1

- Snížení kvality konstrukce

2

- Snížení trvanlivosti

3

- Omezení funkčního využití

Rozdělení trhlin dle vzniku

1

• Trhliny konstrukční (statické)

- Stálé, nahodilé a dynamické zatížení (předvídatelné)
- Přetížení konstrukce (nevhodný návrh, provedení)
- Důvod pro zásah do konstrukce (zesílení, výměna prvku)

2

• Trhliny nekonstrukční (nestatické)

- Výsledek vnitřního napětí (nahodilý charakter)
- Konkrétní provedení a technologie

Rozdělení nekonstrukčních trhlin

1

- Plastické smršťovací trhliny

2

- Teplotní trhliny v počátečním stádiu tuhnutí a tvrdnutí

3

- Smršťovací trhliny vzniklé vlivem hydratace

4

- Smršťovací trhliny vzniklé vlivem vysychání

5

- Expanzní trhliny – alkalická reakce kameniva, koroze výztuže

1

• Plastické trhliny

Beton je v plastickém stavu 0,1 – 6 hod

- Vliv sedání směsi přes pruty výztuže

Trhliny **A** a **B**

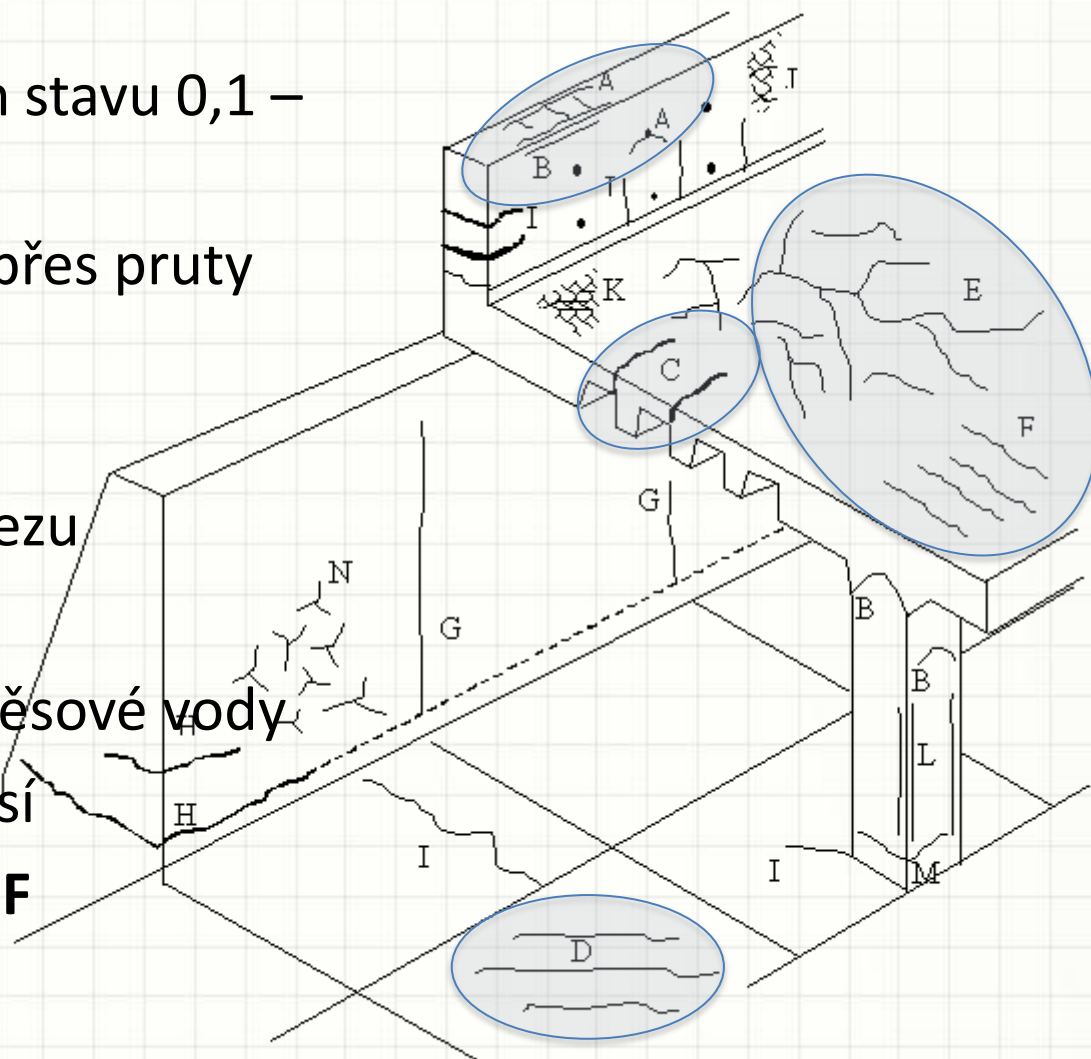
- Změna výšky průřezu

Trhlina **C**

Rychlé odpaření záměsové vody

- Vliv horkého počasí

Trhliny **D**, **E** a **F**



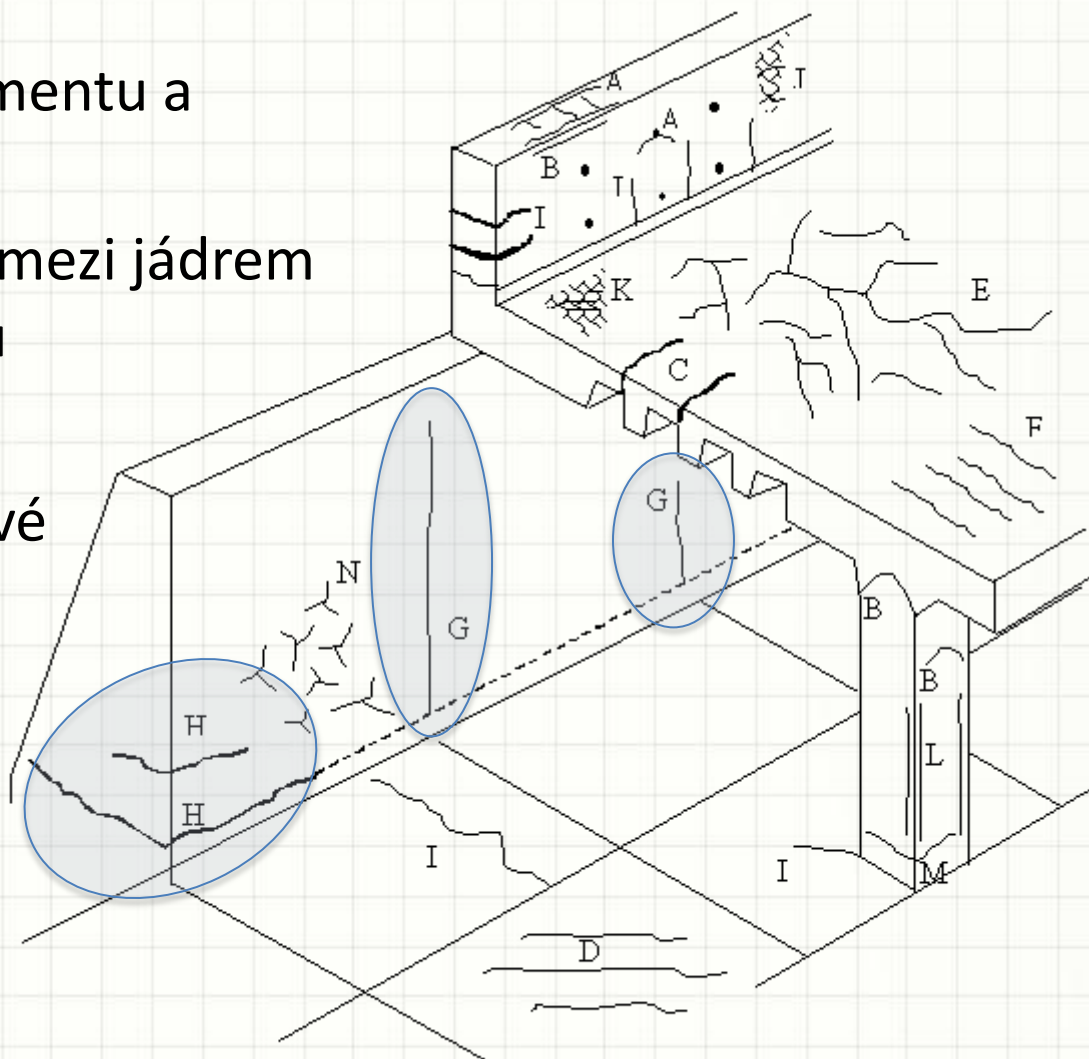
Chemická reakce cementu a vody

- Teplotní gradient mezi jádrem a povrchem prvku

Trhlina **G**

- Nabetonování nové konstrukce na starou

Trhlina **H**



3

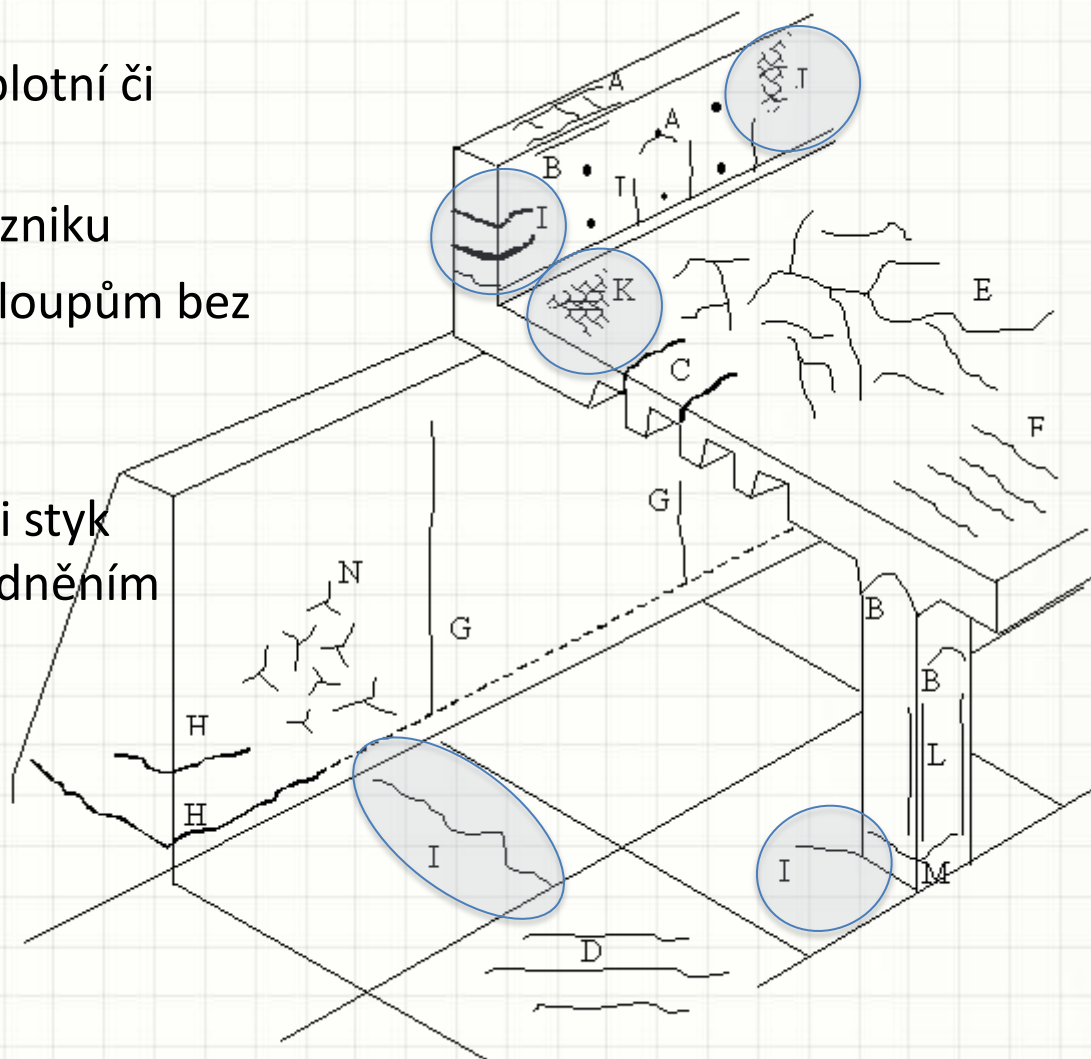
• Smršťovací trhliny od vysychání

Obdobné jako trhliny teplotní či plastické

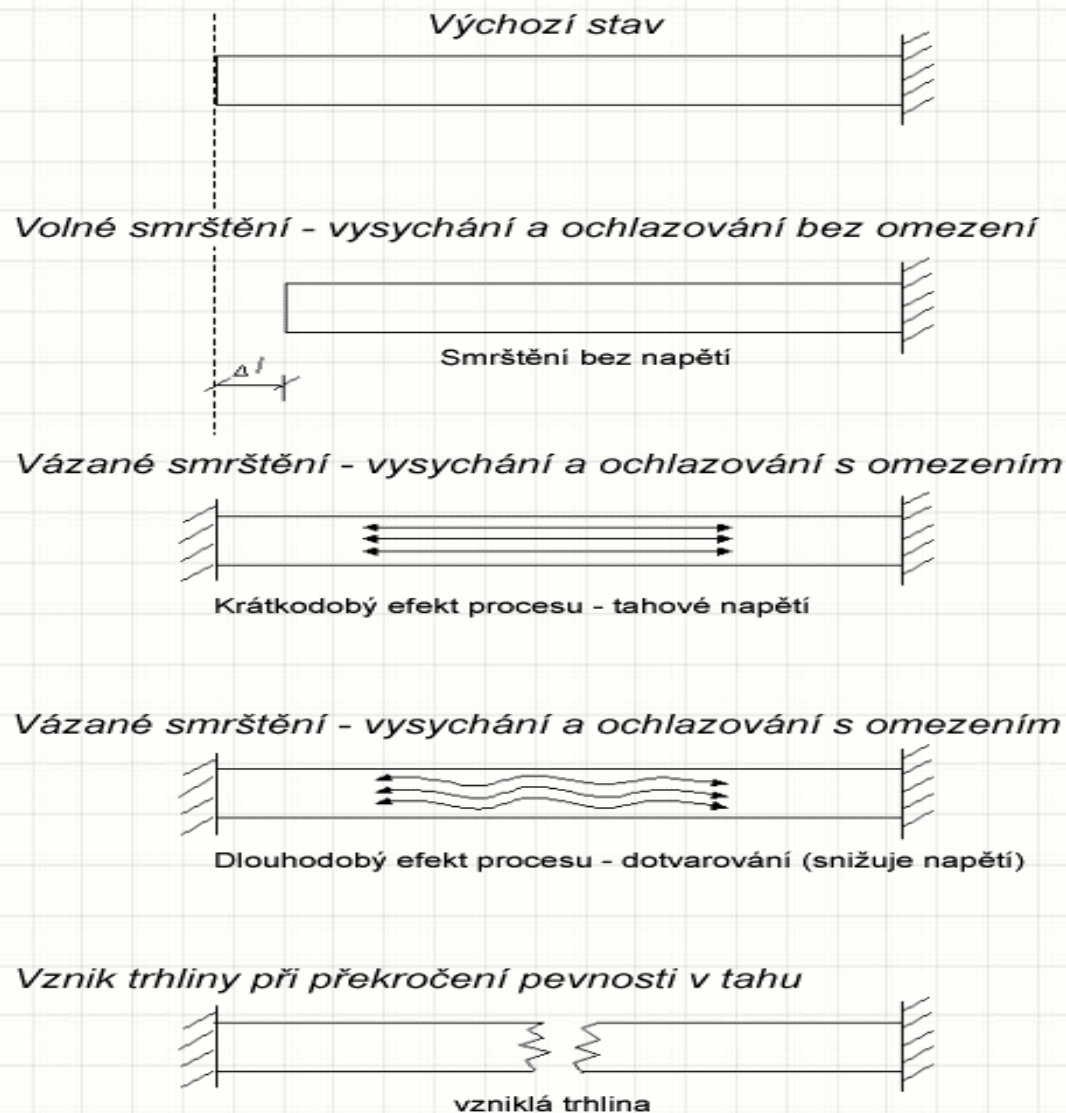
- Rozhodující je doba vzniku
- Betonáž podlahy ke sloupům bez dilatace

trhlina I

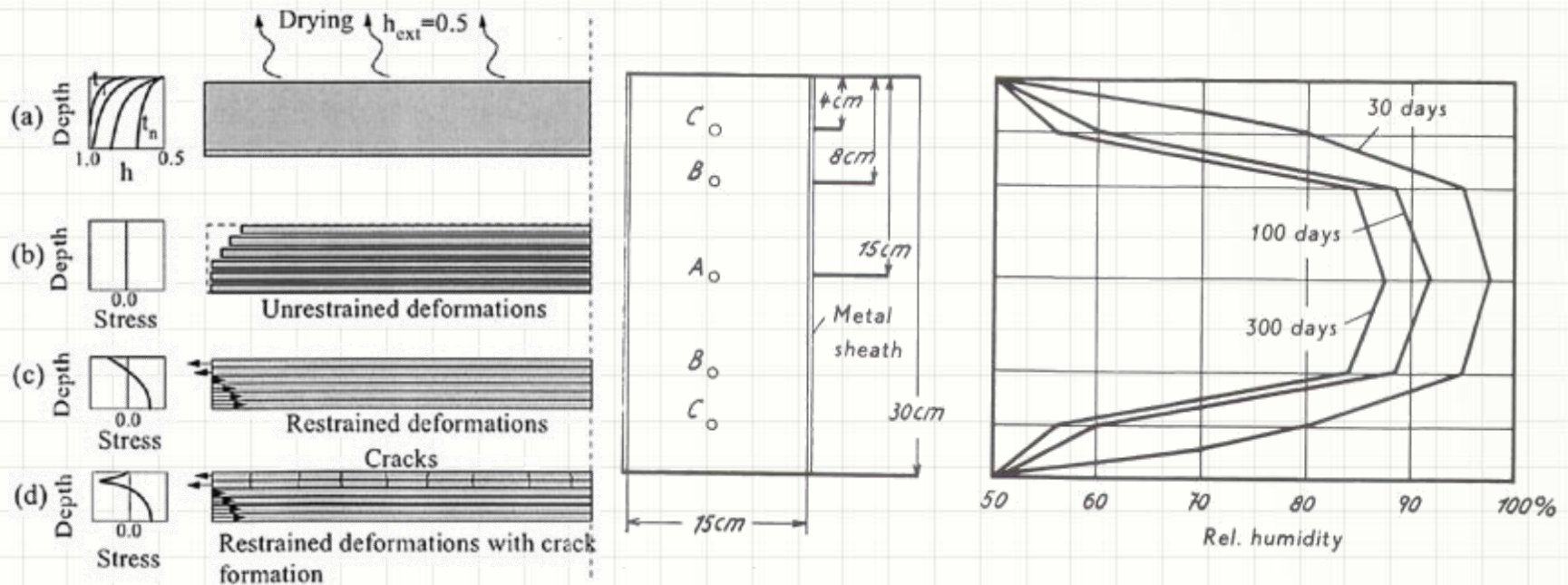
- Přehlazené povrchy či styk betonu s hladkým bedněním
- trhliny J a K



Tvorba trhlin ve vysychajícím betonu



Tvorba trhlin ve vysychajícím betonu



4

• Trhliny vzniklé expanzí

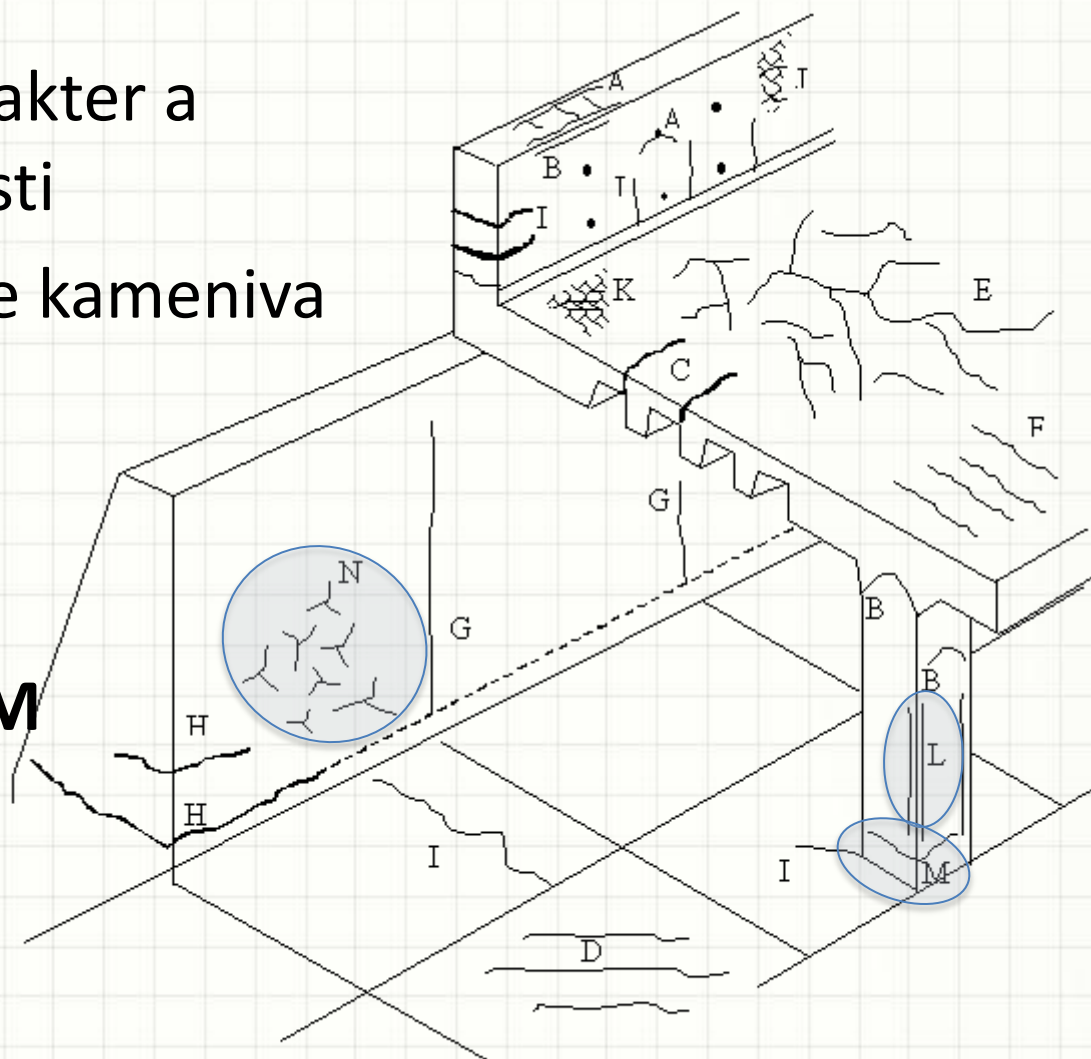
Dlouhodobý charakter a
přítomnost vlhkosti

- Alkalická reakce kameniva
a cementu

trhliny **N**

- Koroze výztuže

trhliny **L** a **M**

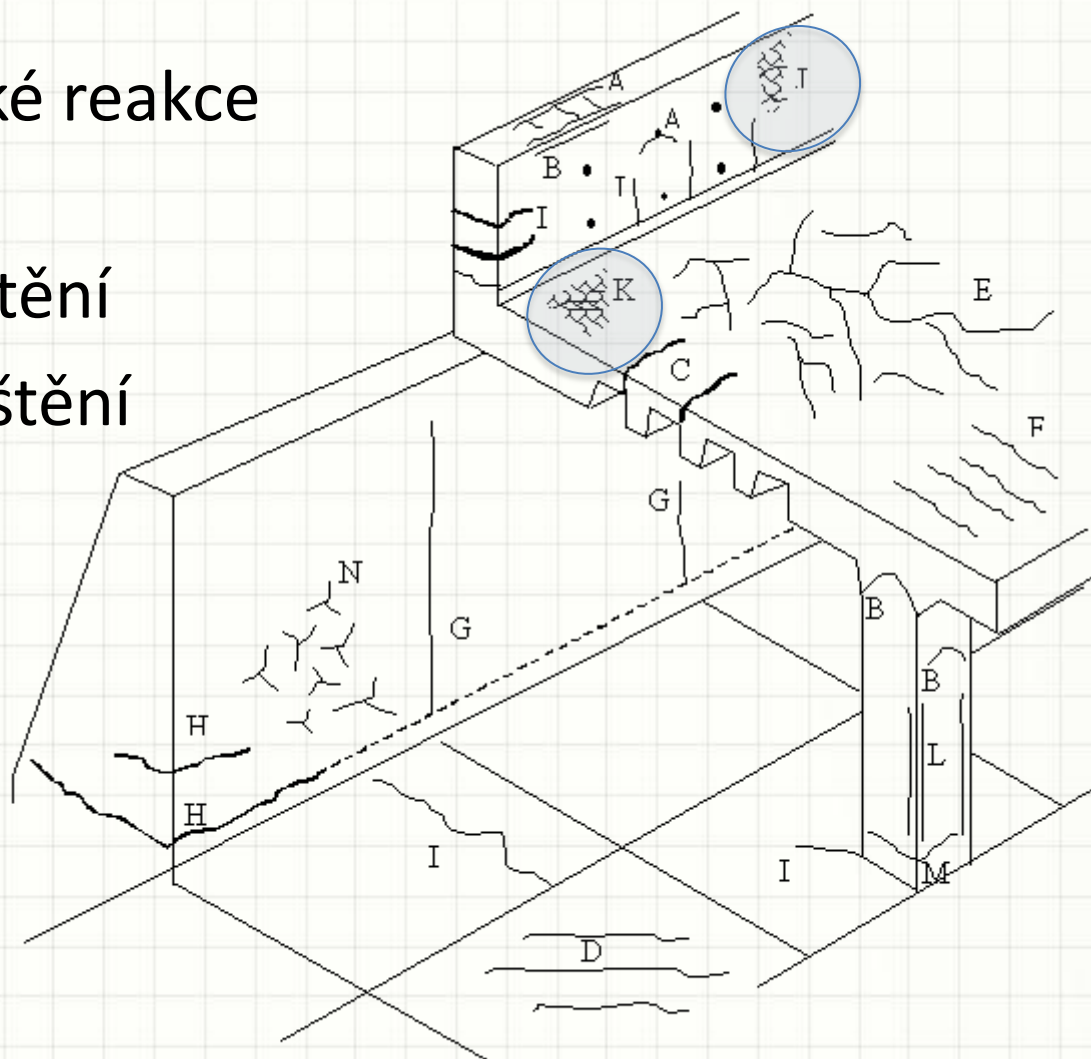


5

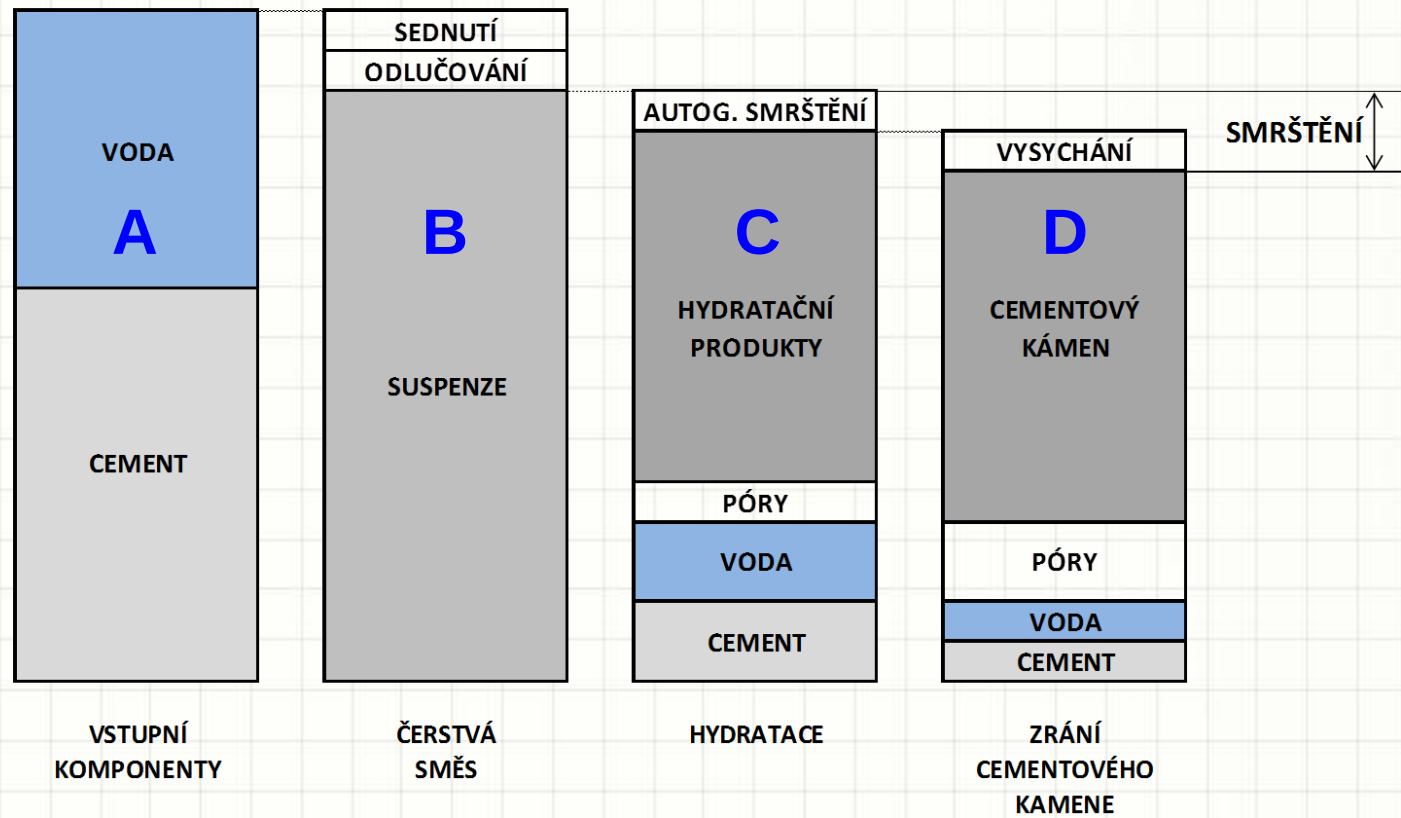
• Smršťovací trhliny během hydratace

Vychází z chemické reakce cementu a vody

- Chemické smrštění
- Autogenní smrštění

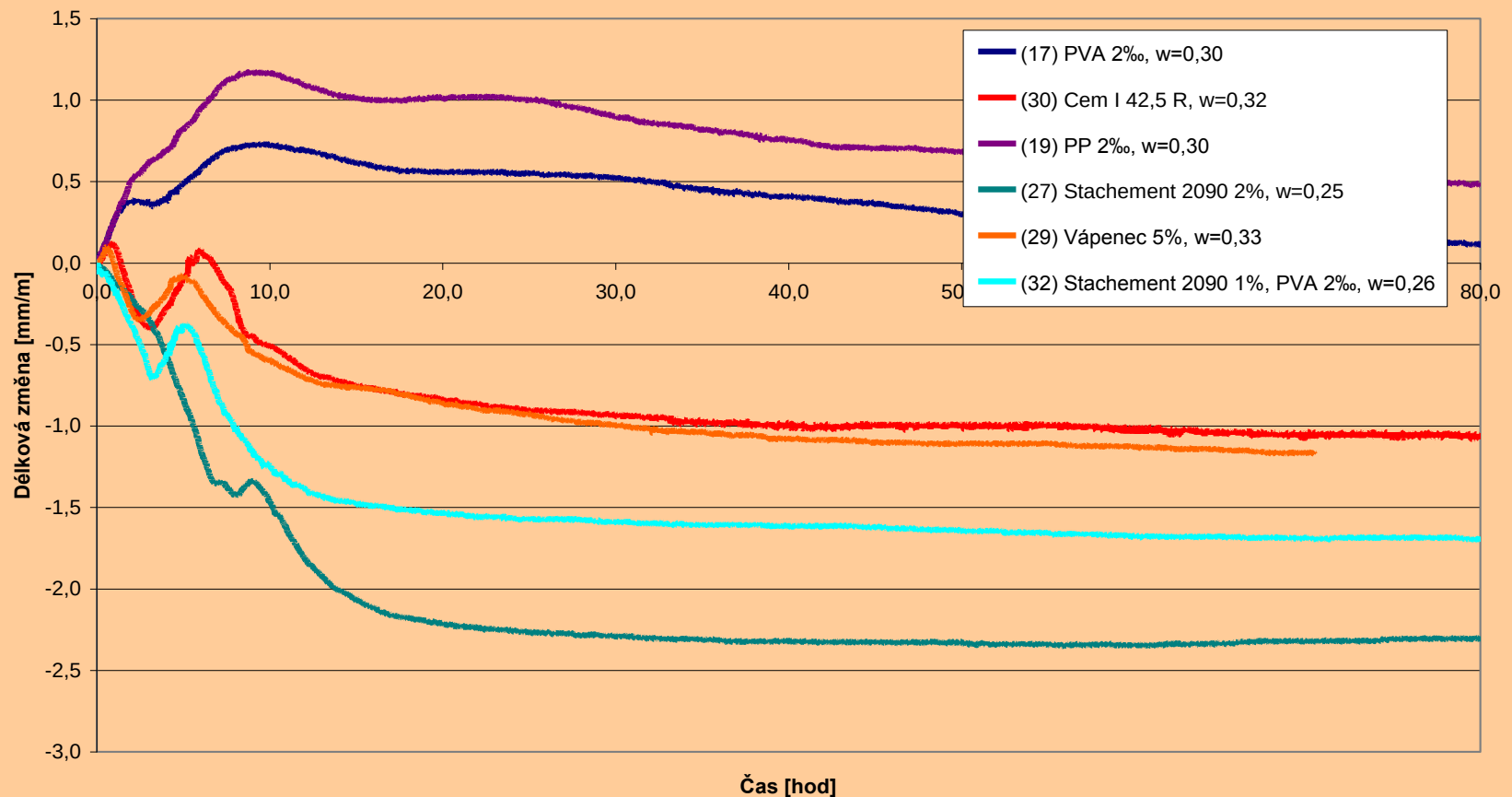


Objemové změny cementových kompozitů během tuhnutí a tvrdnutí



Objemové změny cementových kompozitů během tuhnutí a tvrdnutí

Délkové změny - smrštění: celkové porovnání



Aplikace experimentálního vyšetřování konstrukcí v praxi



Obsah prezentace

1

- Stadion Slavia Praha

2

- Radarová věž - Ruzyně

3

- Monitoring - Florentinum

4

- Zatěžovací zkoušky mostů

5

- Požární experiment

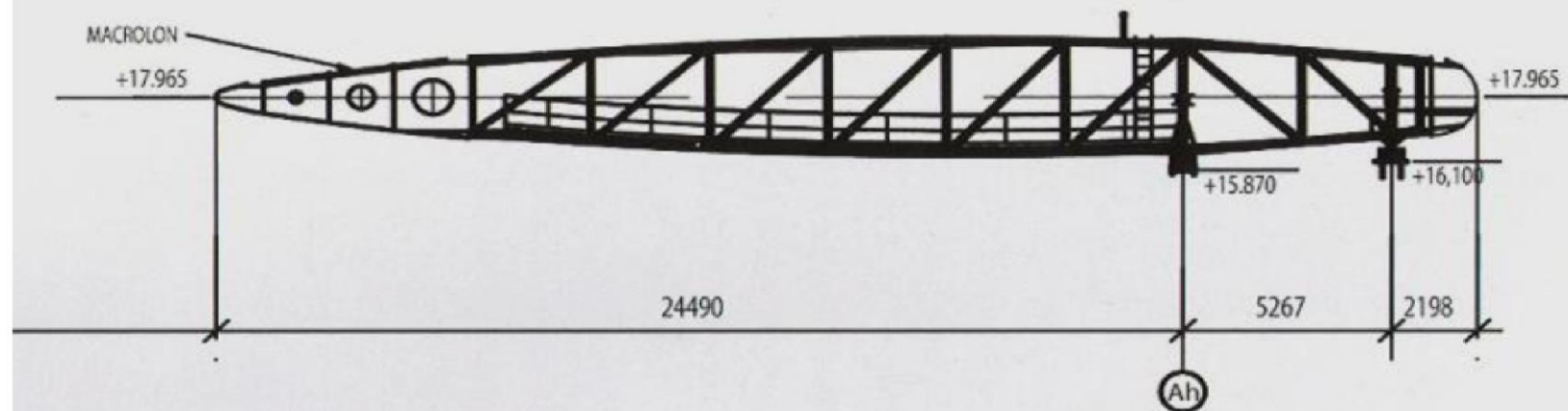
Stadion Slavie Praha



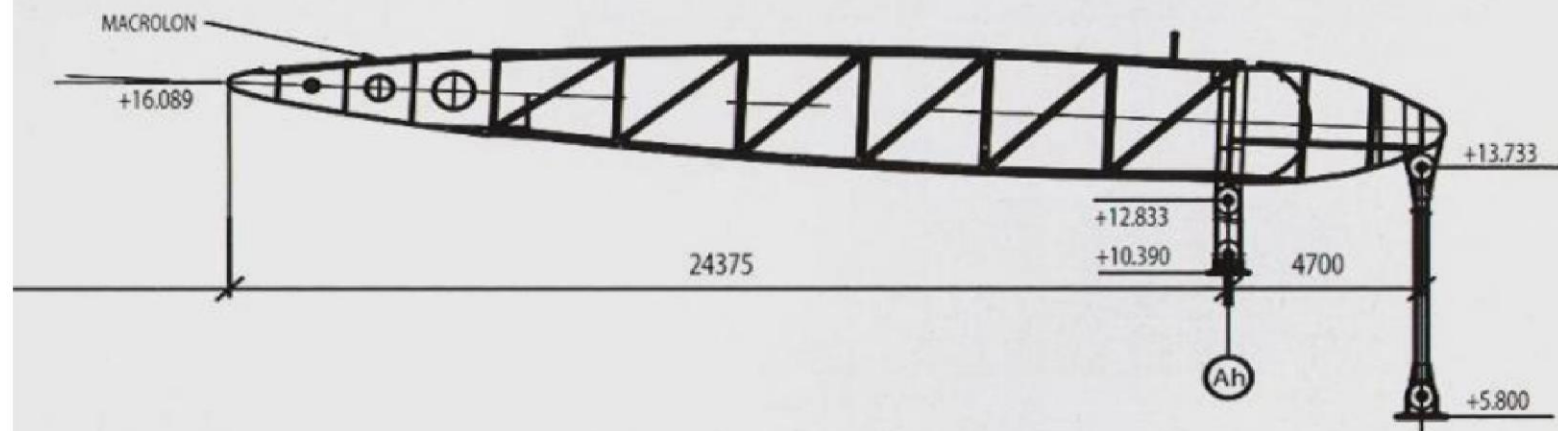
•Popis konstrukce střechy

- 3 varianty řešení
- Zvolena varianta prostorově spolupůsobící konstrukce
 - tuhá v rovině střechy
 - tuhá na kroucení
 - nosná konstrukce střechy tvoří jeden velký celek bez dilatací

SEVERNÍ TRIBUNA



VÝCHODNÍ TRIBUNA





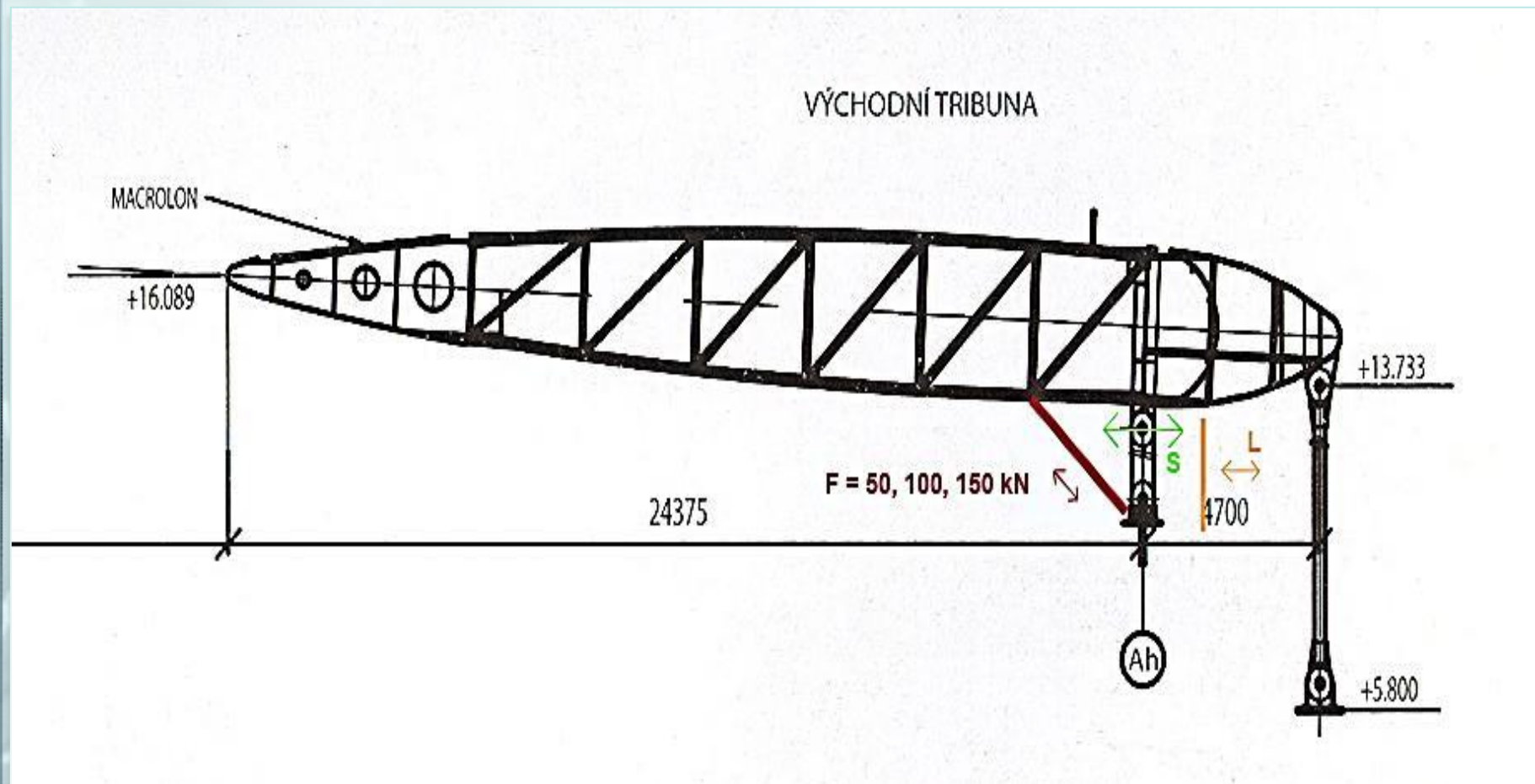
• Změna projektové dokumentace

- nutnost ověřit skutečnou tuhost konstrukce ve vodorovném směru
- Důvodem zkoušky bylo zjištění deformací střešní konstrukce vyvozené proudícím vzduchem
- Rozhodující pro stabilitu celé konstrukce je vodorovná tuhost prstence.

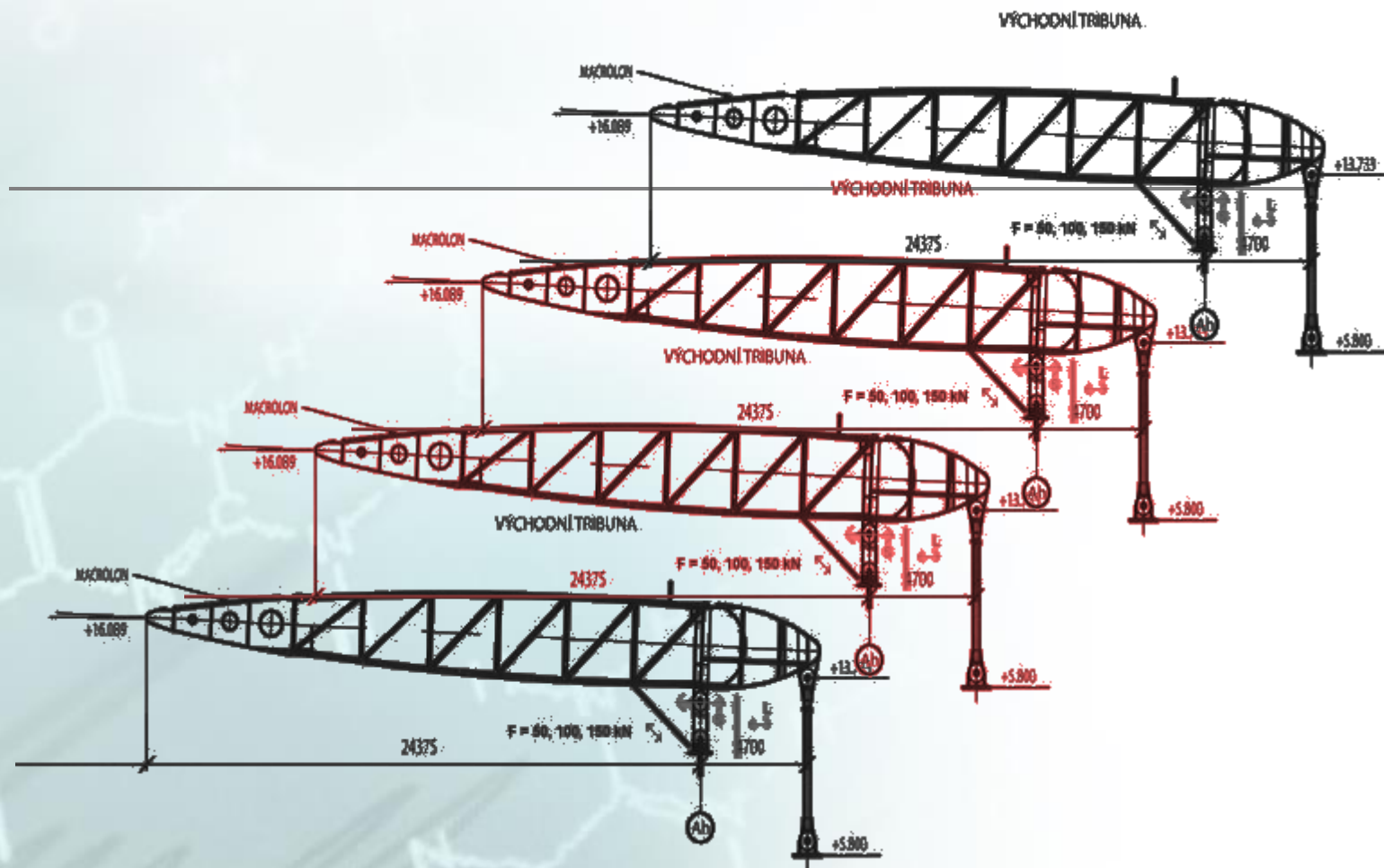
• Měřené parametry

- relativní posun horních čepů stojek vůči spodním čepům (**S**)
- absolutní posun dolních čepů stojek (**L**)
- vodorovné zatížení v oblasti dvou středních vazníků 2×100 kN (**F**)

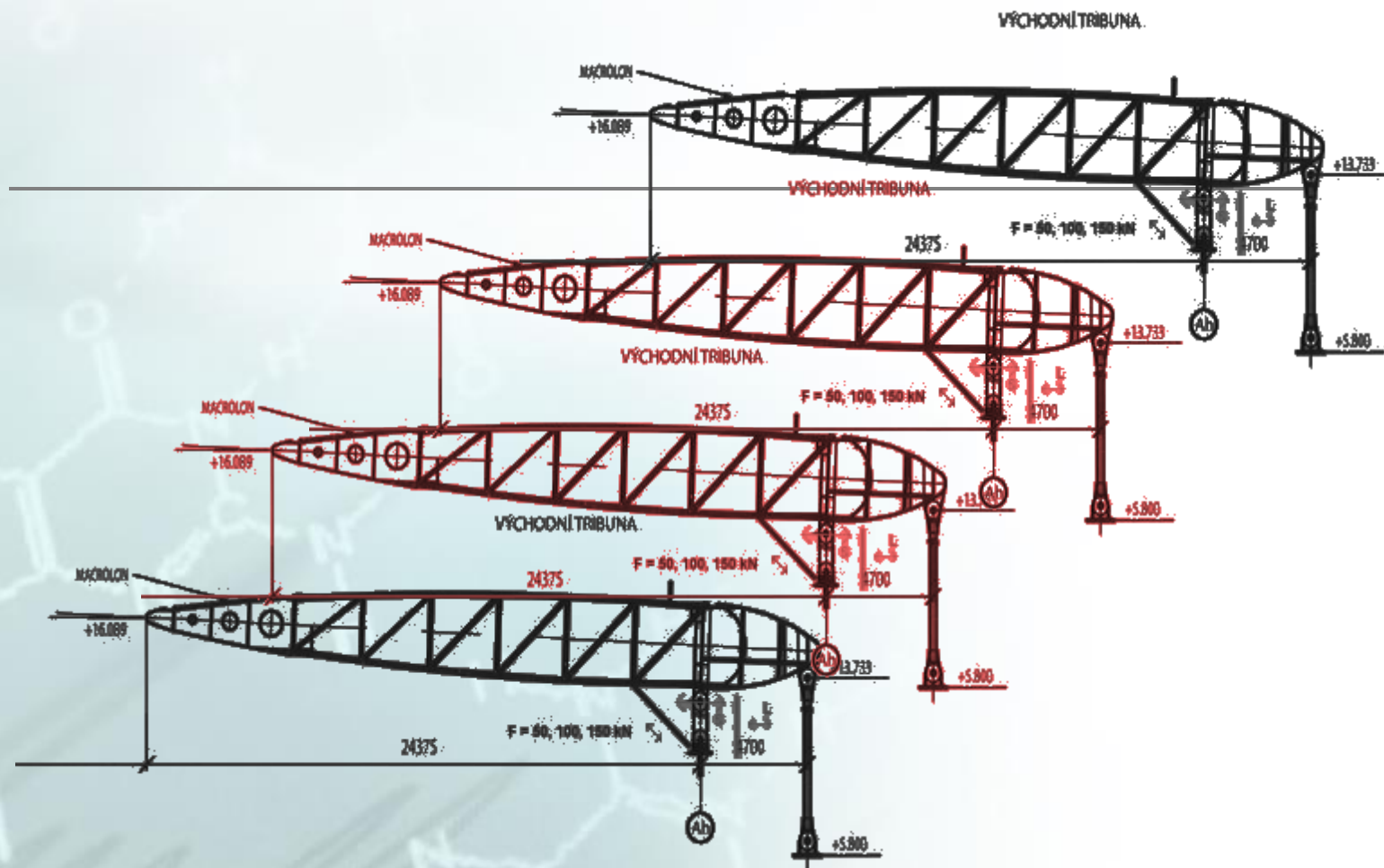




ZADÁNÍ ZKOUŠKY



ZADÁNÍ ZKOUŠKY



ZADÁNÍ ZKOUŠKY



• Induktivní snímače dráhy

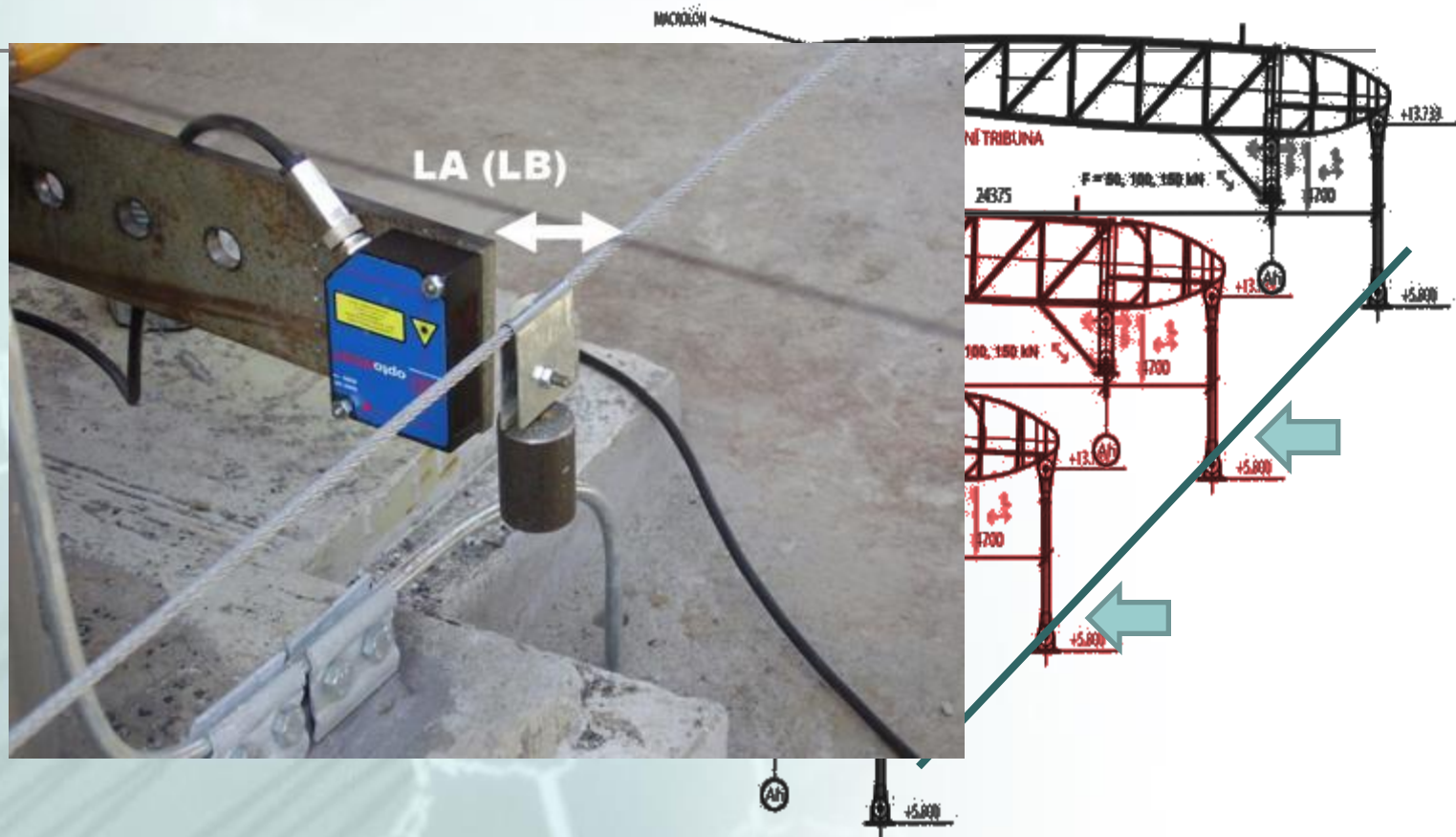
• **HBM WA/20**

• Soustava struna – snímač –
předpínací pružina



SESTAVENÍ MĚŘENÍ

- Bezkontaktní metoda – laserové snímače dráhy
- optoNCDT ILD1400-5



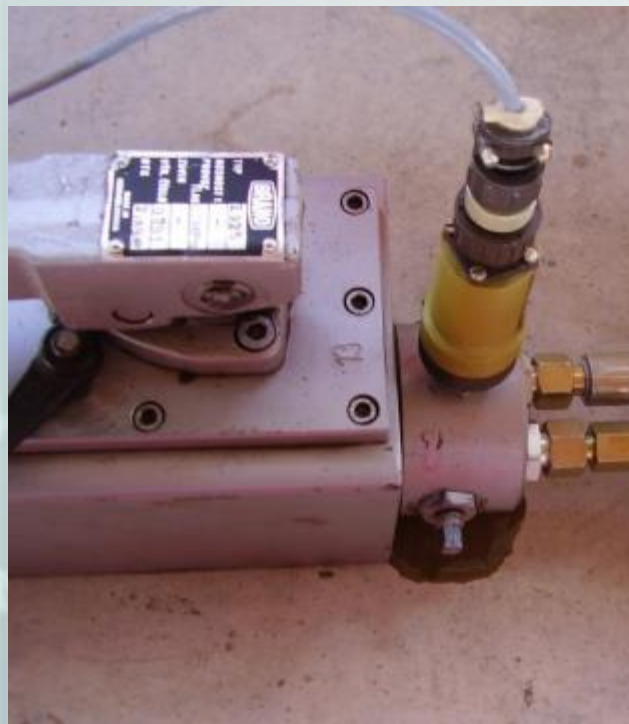
SESTAVENÍ MĚŘENÍ

•Zatěžovací síla



SESTAVENÍ MĚŘENÍ

Řízení zatěžovací síly

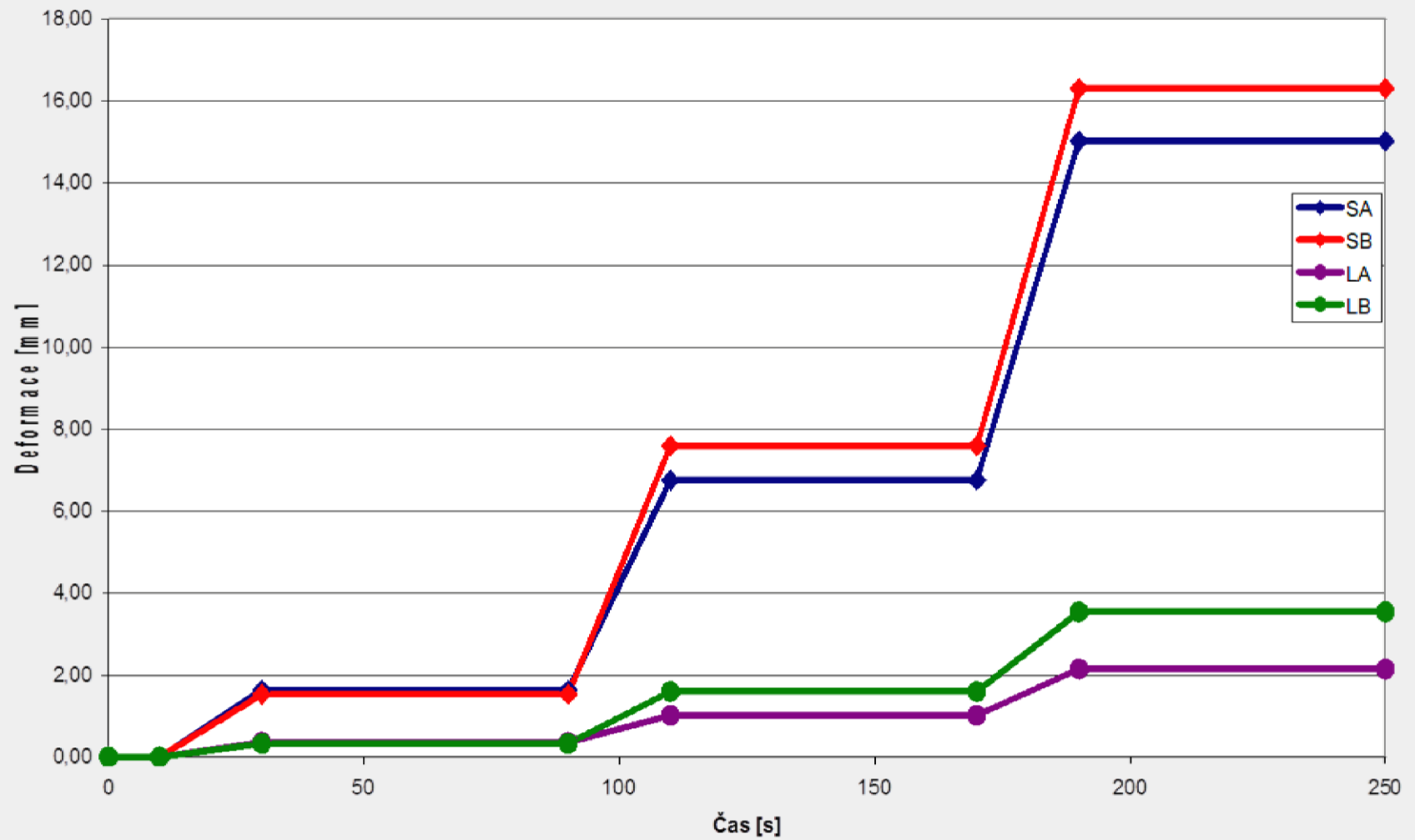


SESTAVENÍ MĚŘENÍ

- **Tři zatěžovací kroky**
 - **50, 100 a 150 kN**
- **Tři zatěžovací cykly**
- **Doba zatěžování – 60 s**
- **Zaznamenávané hodnoty**
 - **maximální výchylky**
 - **trvalé deformace po odtížení**

PRŮBĚH ZKOUŠKY

Měření č.1



Radarová věž – Praha Ruzyně



RADAROVÁ VĚŽ - RUŽYNĚ

•Popis konstrukce

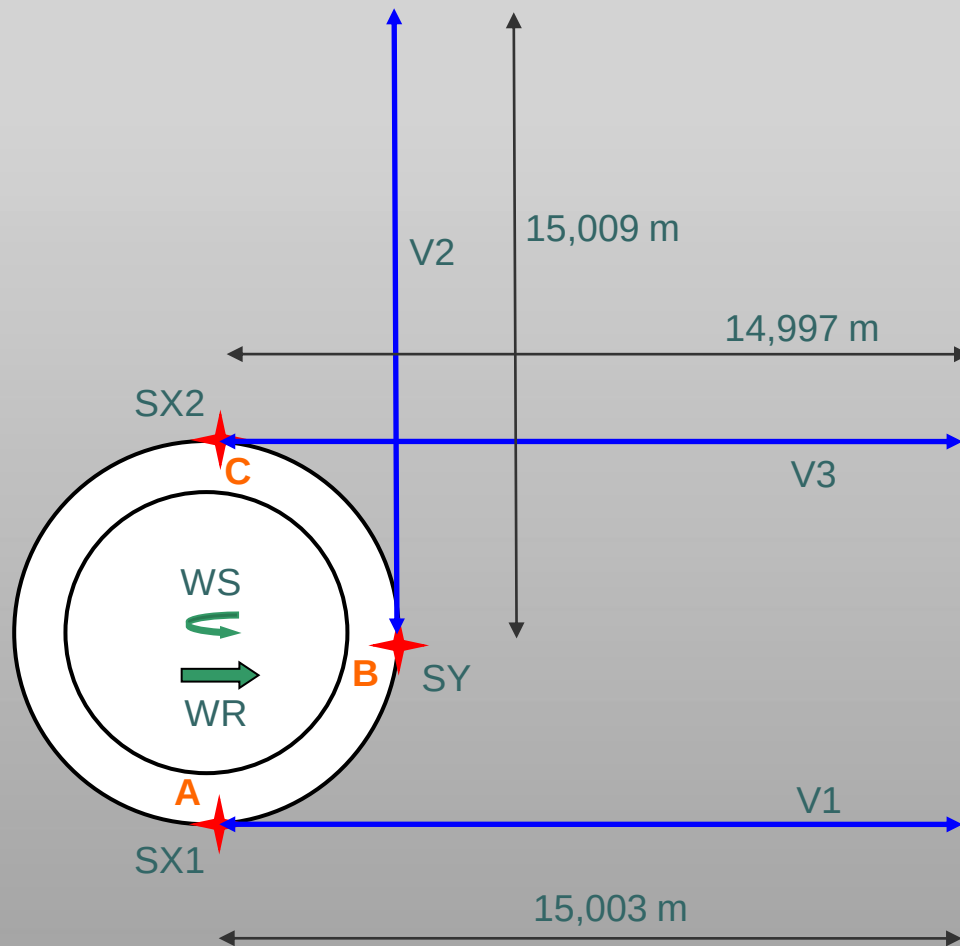
- Lehká příhradová konstrukce vetknutá do základu
- Centrální dřík trojúhelníkového průřezu
- Kruhová plošina s obslužnou místností a s ochozem
- Konstrukce radomu

• Vliv klimatického zatížení
větrem na:

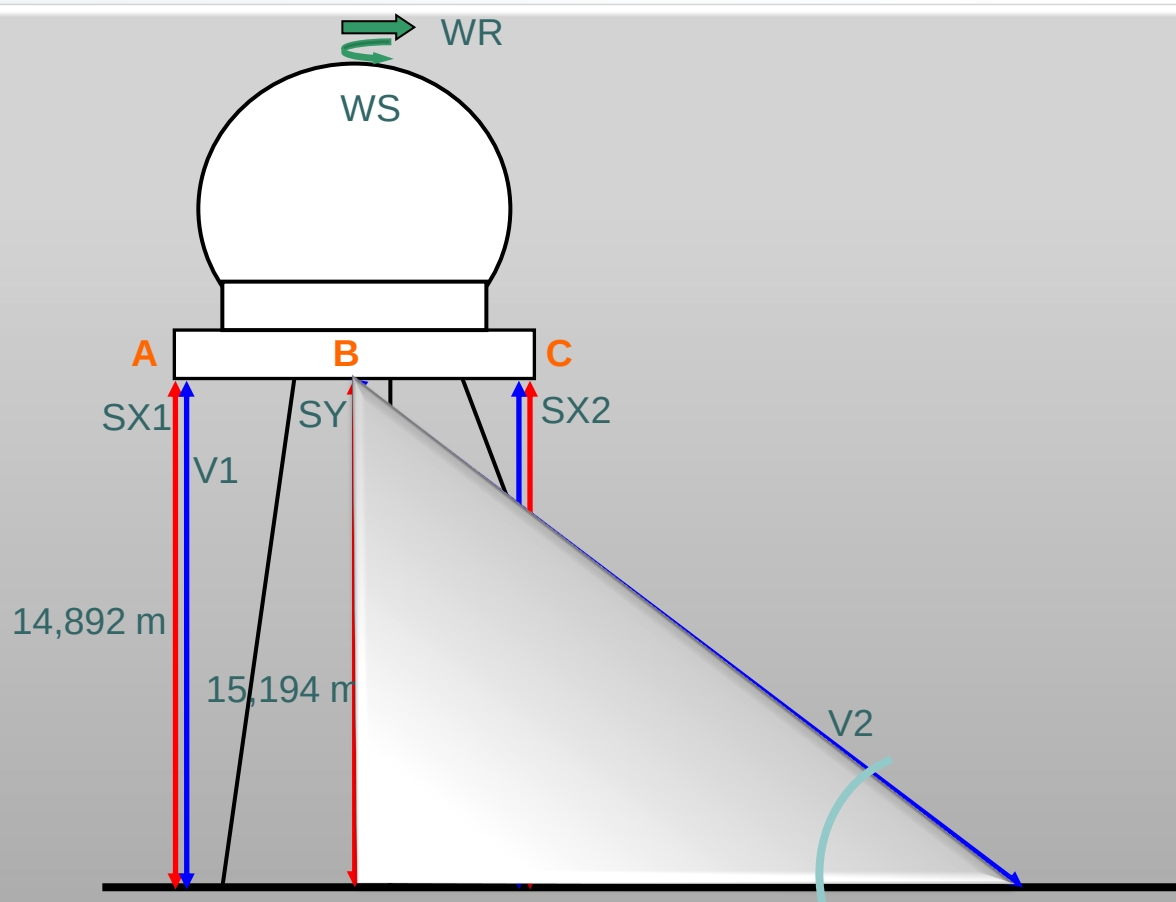
- pootočení plošiny
- náklon plošiny
- deformaci konstrukce před a po
usazení skořepiny
- Zjištění deformací až do rychlosti
větru 140 km/h



ZADÁNÍ ZKOUŠKY



SESTAVENÍ MĚŘENÍ



SESTAVENÍ MĚŘENÍ

- **Speciální přípravek**
 - Induktivní snímače dráhy - HBM WA/20
 - Soustava struna – snímač - předpínací pružina
-



SESTAVENÍ MĚŘENÍ

- Rychlost a směr větru
 - Anemometr typ ANA 954
 - Teploměry Pt 100 typ A
-



SESTAVENÍ MĚŘENÍ

•Měřicí ústředna DEWE 5000

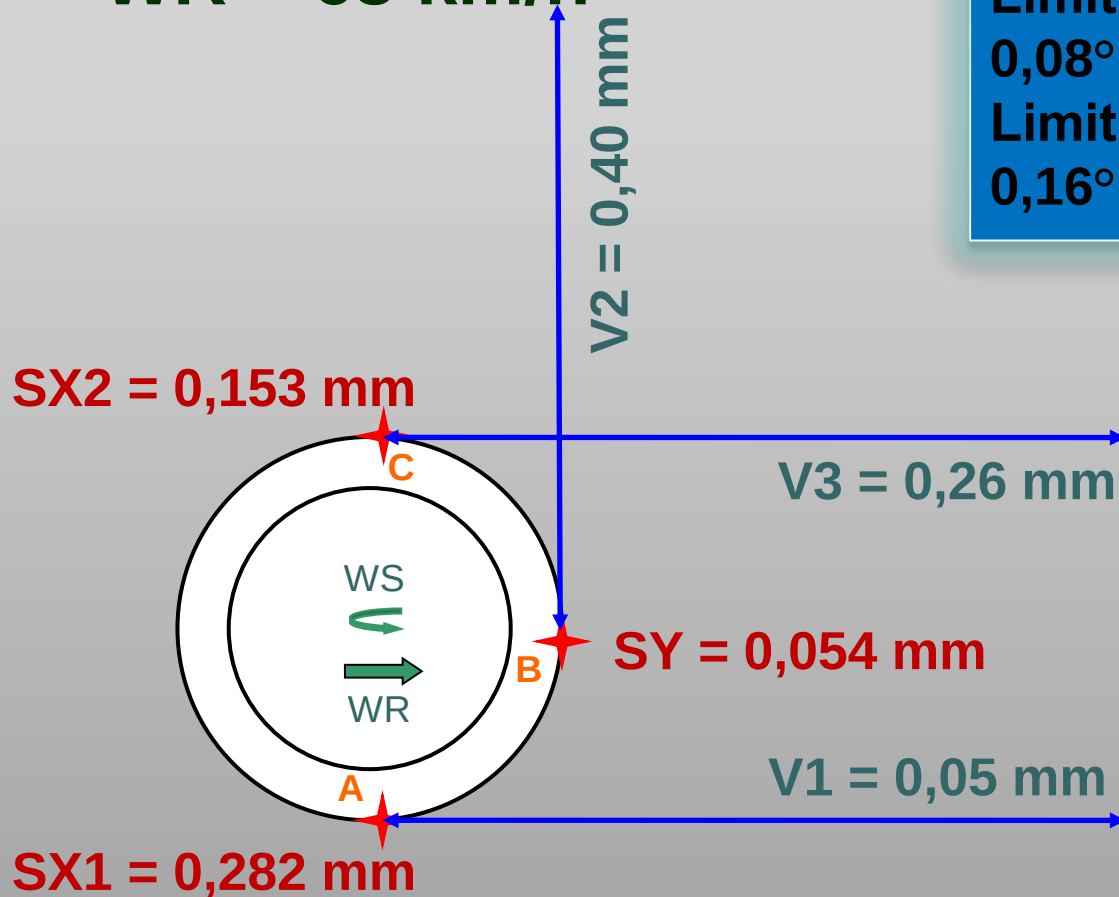


SESTAVENÍ MĚŘENÍ

-
- **Pořízeno 500 záznamů**
 - **2x 2 týdny**
 - **Délka záznamu 300 s**
 - **Snímací frekvence 100Hz**
 - **Rychlost větru 0 – 63 km/h**

WR = 63 km/h

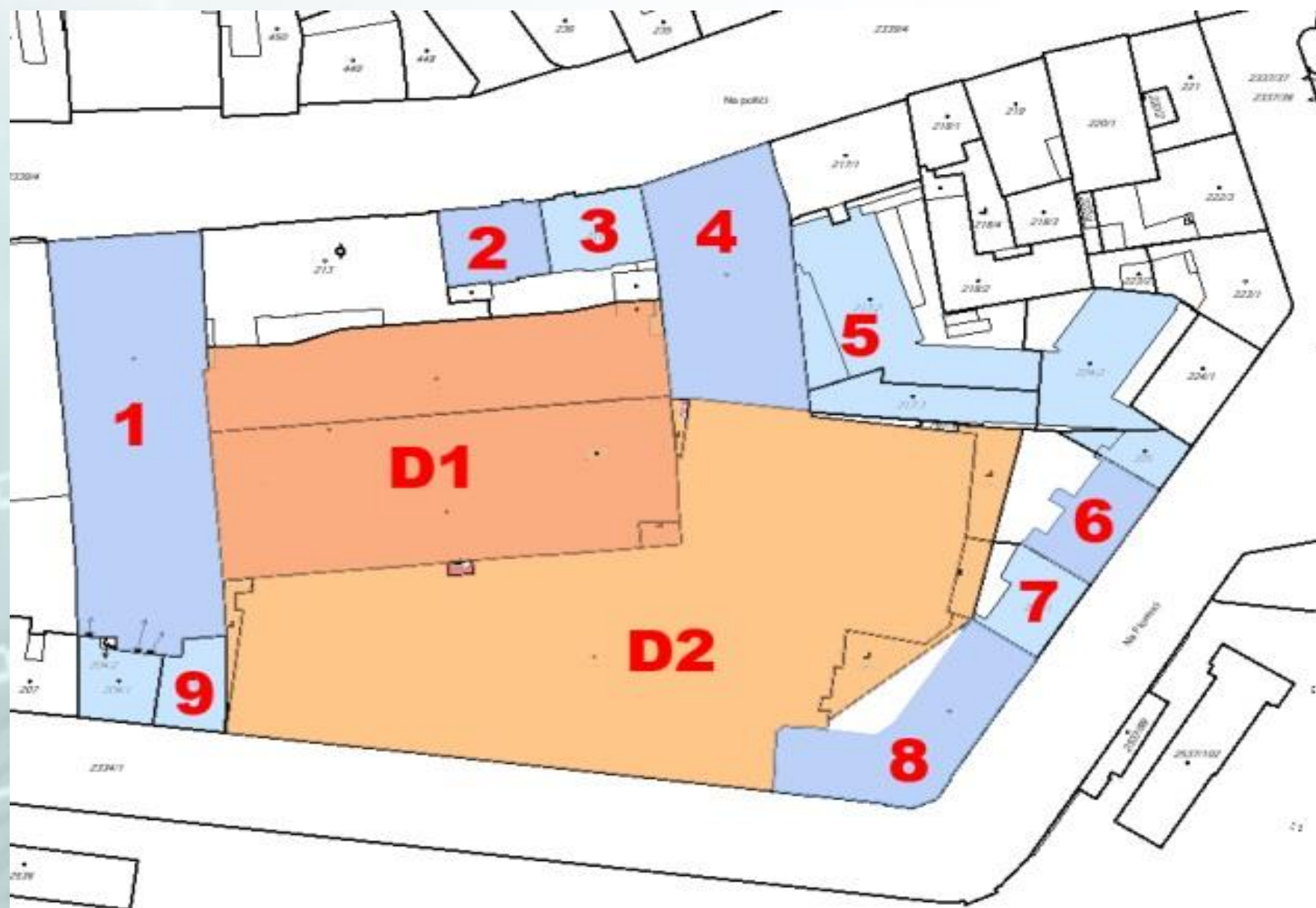
Limit potočení
 $0,08^\circ = 6,4 \text{ mm}$
Limit naklonění
 $0,16^\circ = 12,8 \text{ mm}$



VÝSLEDKY ZKOUŠKY

Monitoring - Florentinum





- **Geodetické měření**

- **svislé posuny**
- **vodorovné posuny**

- **Sledování šířky trhlin**

- **Inklinometrická měření**

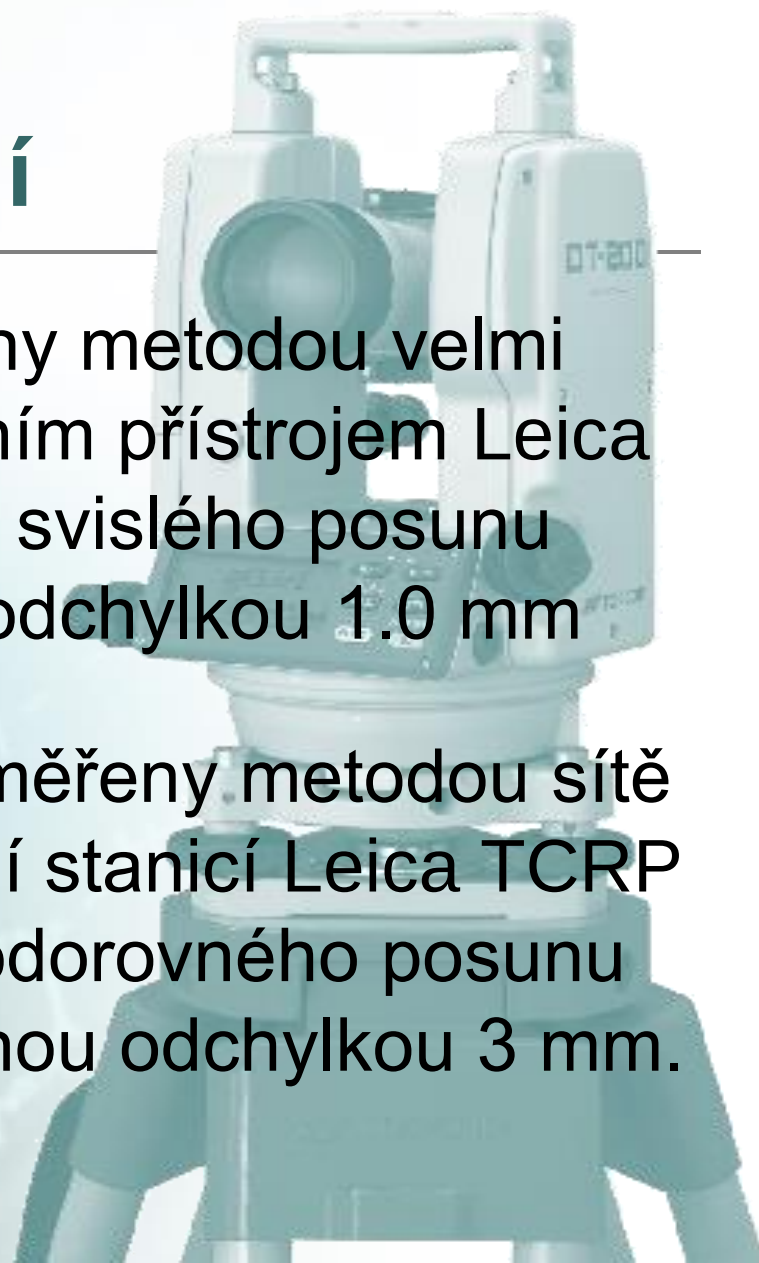
- **Měření rozevírání kleneb**

- **Měření účinků tech. seismicity**

Geodetické měření

Svislé posuny byly měřeny metodou velmi přesné nivelace, nivelačním přístrojem Leica DNA 03. Přesnost určení svislého posunu bylo dáno směrodatnou odchylkou 1.0 mm

Vodorovné posuny byly měřeny metodou sítě geodetických bodů totální stanicí Leica TCRP 1202. Přesnost určení vodorovného posunu pak bylo dáno směrodatnou odchylkou 3 mm.



Sledování šířky trhlin

Osazení sádrových terčů resp. pásků kolmo na trhlinu na svislých i vodorovných konstrukcích.

Sledování šířky a případný rozvoj trhlin pomocí deformetrů. Do konstrukce v místě trhliny byly ukotveny tři měřené body.

Spojnice prvního a druhého bodu byla kolmá na trhlinu a spojnice prvního se třetím bodem křížila trhlinu v úhlu 45° .



Inklinometrická měření

Pomocí inklinometrických snímačů byl sledován odklon nosných konstrukcí od svislice. Na každém objektu, v závislosti na jeho velikosti, bylo vybráno dvě až šest míst, kde byl ten tento odklon sledován. Body bylo nutné zvolit tak, aby byla minimalizována možnost jejich poškození. Ve zvolených bodech byla na svislé nosné stěny instalována ocelová destička, ke které byl přikládán inklinometrický snímač.



Měření rozevírání kleneb

K monitorování rozevírání šířky nosných stěn v patě klenby byly navrženy indukční snímače dráhy firmy Hottinger Baldwin Messtechnik WA/20. Byl navržen měřicí systém struna – snímač – předpínací pružina.



Měření technické seismicity

Měření chvění stavební konstrukce z hlediska možného poškození nosné stavební konstrukce vlivem nadměrných vibrací. Byly použity jednoosé snímače zrychlení TECHLAB TLA 05N.

V paláci Desfours byly body instalovány v místech, kde se nacházejí vzácné fresky. Bylo experimentálně provedeno shazování závaží o hmotnosti cca 2t z výšky 8 a 15 m na upravený i neupravený (nezhutněný) povrch zeminy. Byl získán vztah mezi tíhou shazovaného břemene a dynamické odezvy ve sledovaném objektu.

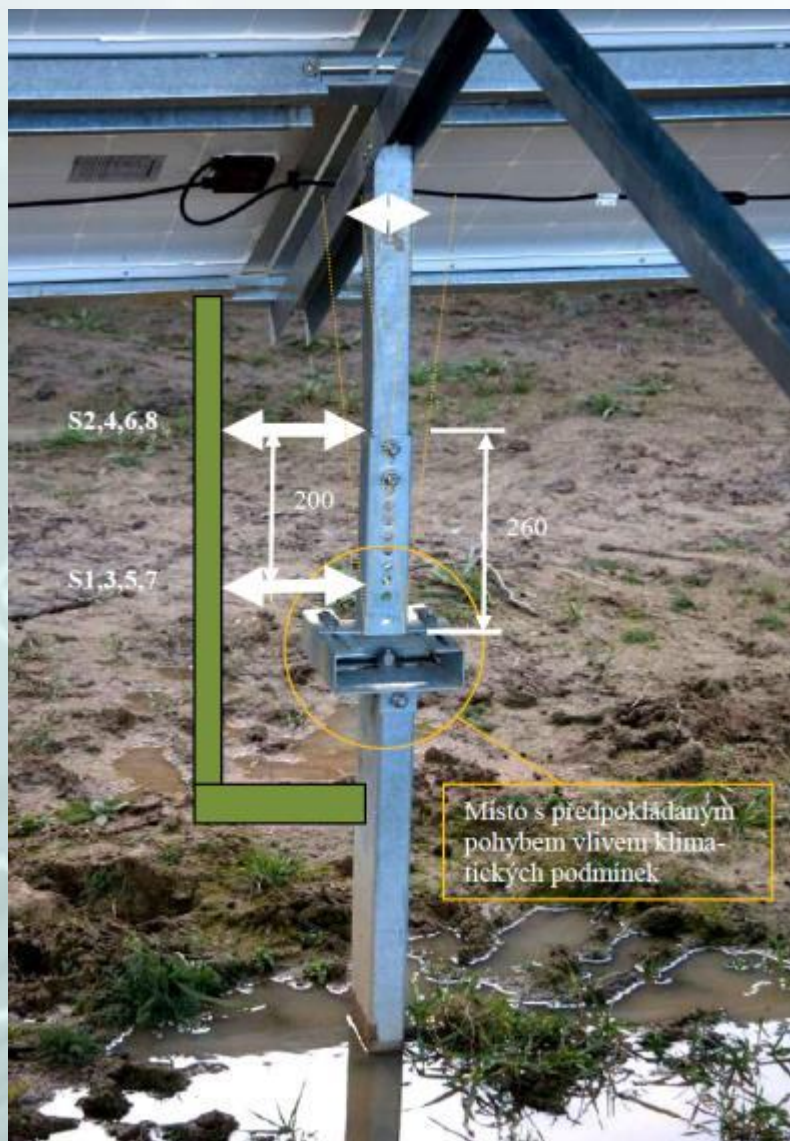
V paláci Archa byl ve 4.NP ve schodišťové šachtě připevněný měřící bod k nosné železobetonové konstrukci objektu z důvodu téměř bezeztrátového šíření kmitání v těchto konstrukcích. Bylo provedeno měření ambientní seismicity a seismicity při použití bouracího kladiva po dobu měření.



Solární elektrárna - Ševětín

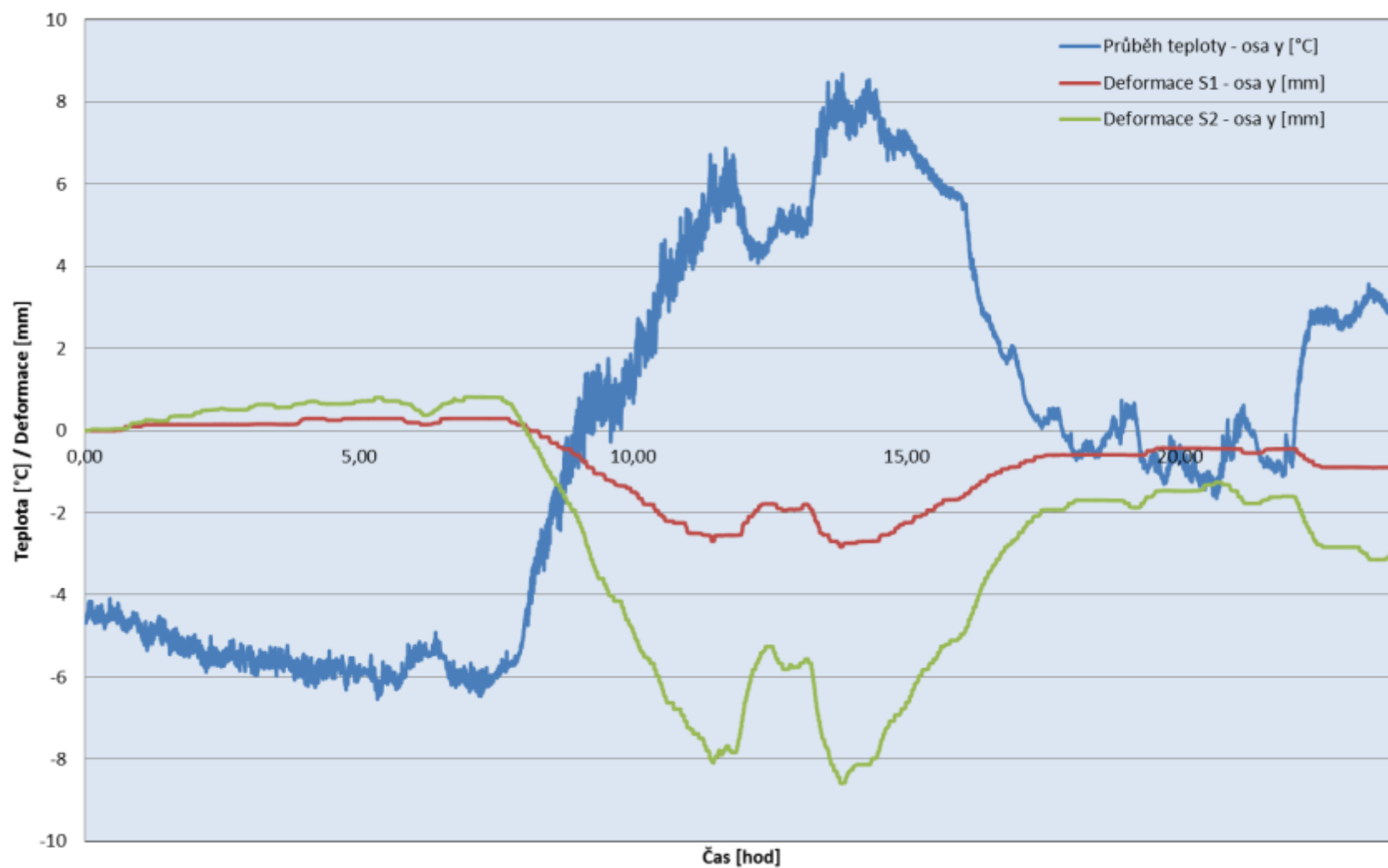








Průběh teploty a deformace S1,2 v čase - sloupek 1



Vysokopevnostní betonové trámy



Vysokopevnostní betonové trámy



Dřevěné stěnové panely



Dřevěné stěnové panely



Dřevěné stěnové panely



Základová deska - Těšnov

















Zatěžovací zkoušky mostů



Silniční most - Chomutov



Silniční most - Chomutov



Silniční most - Chomutov

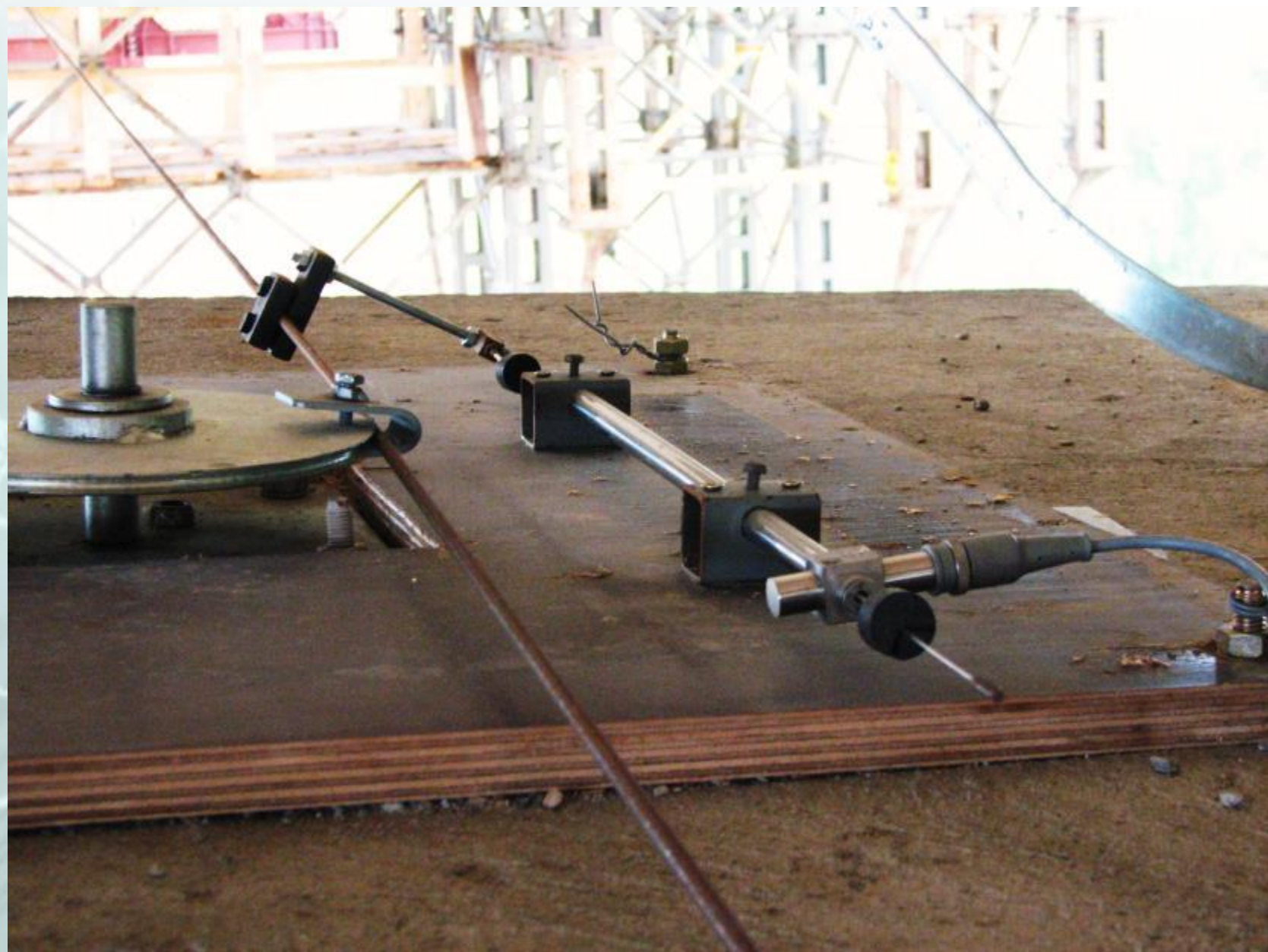


•Silniční most

•Rzavá u Tábora (dálnice D3)











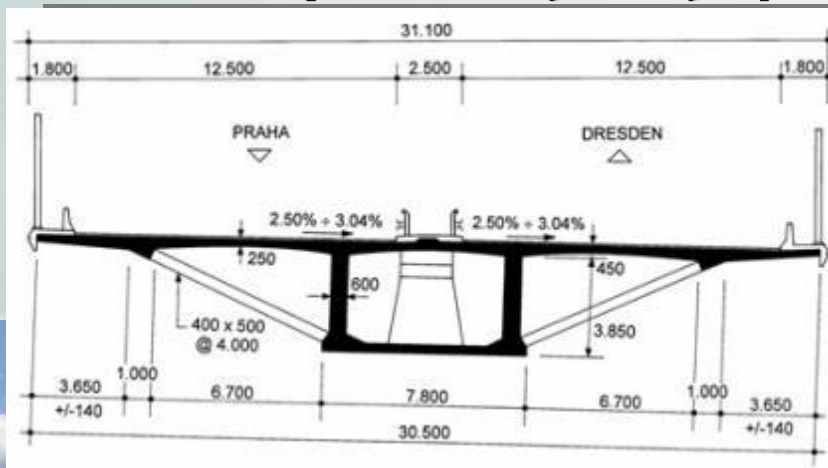






•Silniční most

•Most přes Rybný potok (dálnice D8)



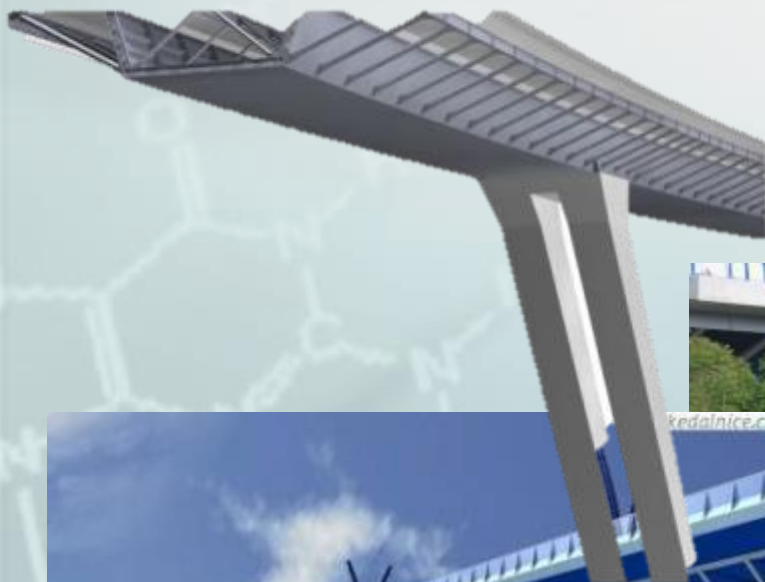
- **Základním cílem statické zatěžovací zkoušky nově postaveného silničního mostu přes Rybný potok bylo ověření skutečného statického chování a spolehlivosti této mostní konstrukce před jejím uvedením do provozu.**





•Silniční most

•Praha Lochkov



•Dynamické zkoušky mostů



•Dynamické zkoušky mostů

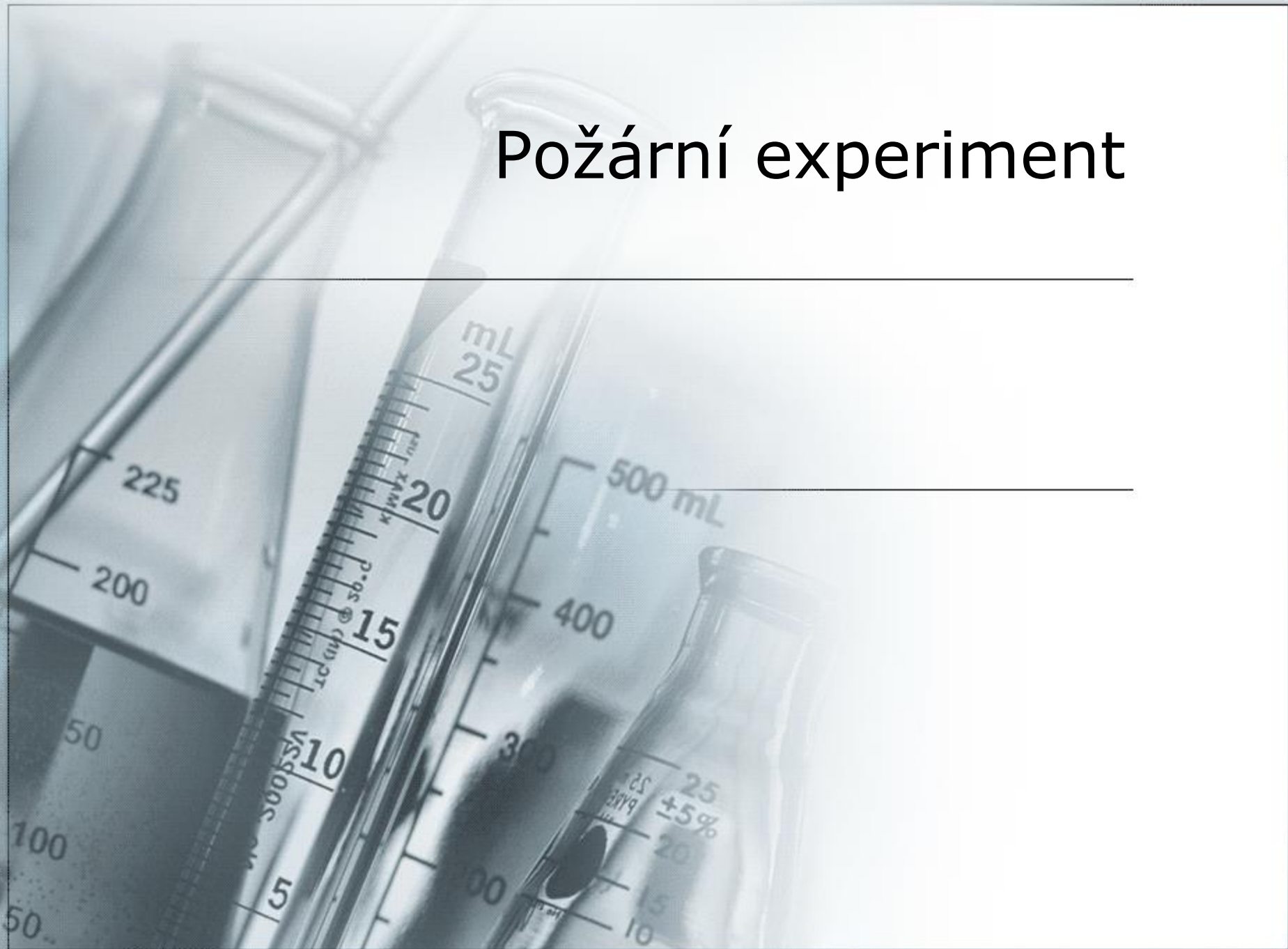


.Silniční most

.Nový pražský okruh



Požární experiment











Experimental Centre, Faculty of Civil Engineering CTU Prague

Actual date

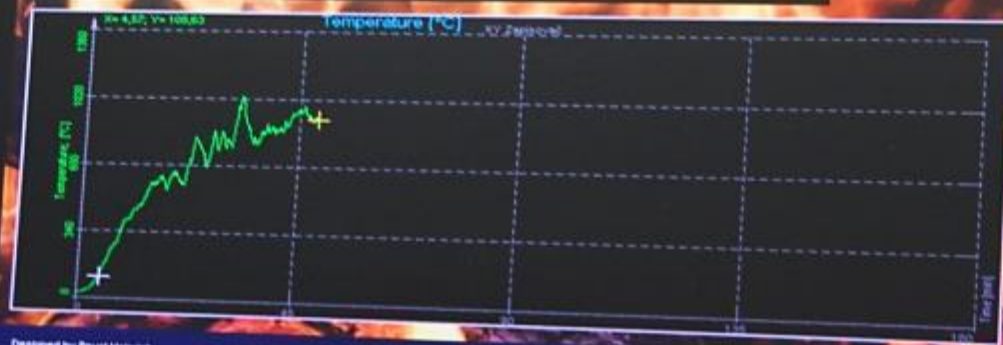
18.9.2008

Actual time

13:52:47.8

00:48:54.0

917.2 °C



Designed by Pavel Holický

Elapsed time [min]

acer





