

# Použitelnost

- funkční způsobilost za provozních podmínek
- pohodlí uživatelů (kmitání)
- vzhled konstrukce

Obvyklé mezní stavy použitelnosti betonových konstrukcí:

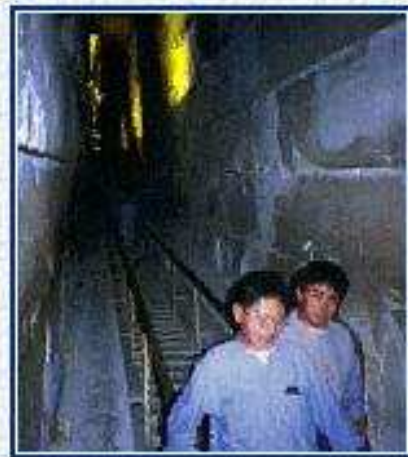
- mezní stav napětí z hlediska podmínek použitelnosti,
- mezní stav trhlin,
- mezní stav přetvoření.

**je potřebné definovat**

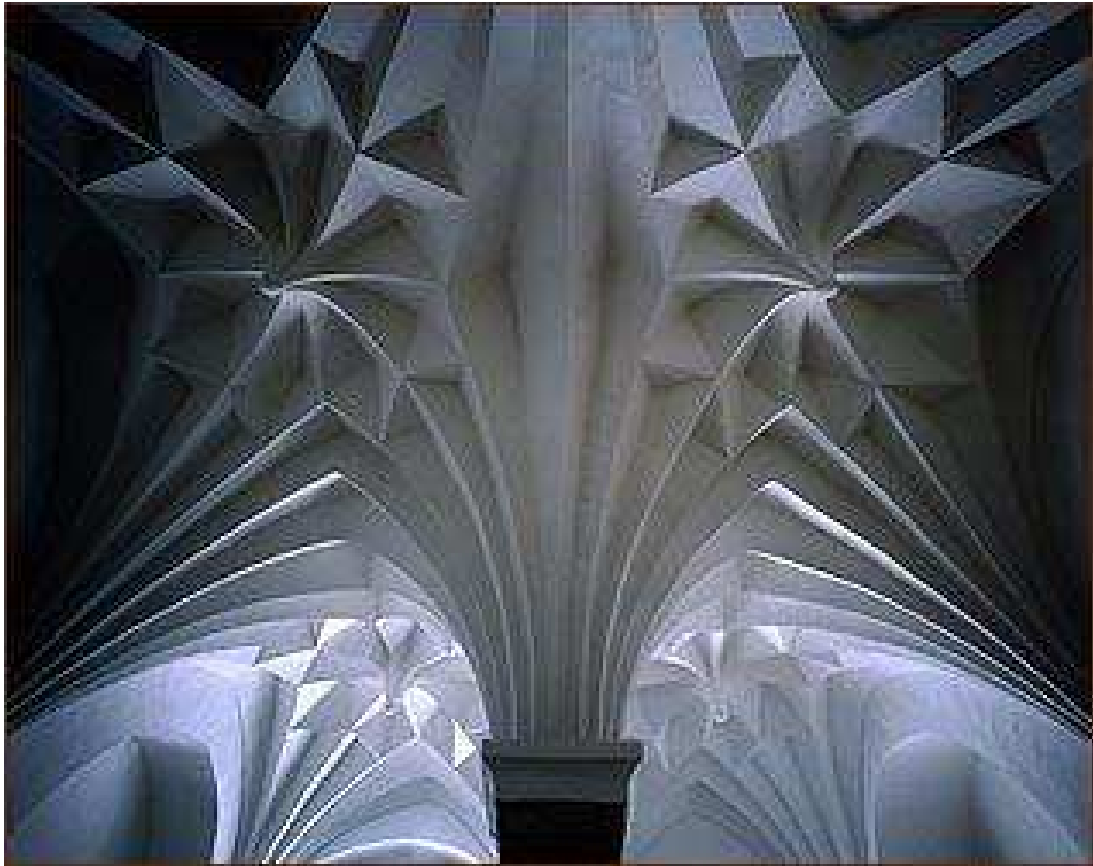
- omezující kritéria
- návrhové hodnoty zatížení, které se budou aplikovat
- návrhové vlastnosti materiálů
- model chování (výpočetní model)

$$C \geq E_d$$

Žádné nesnáze s použitelností u  
historických staveb



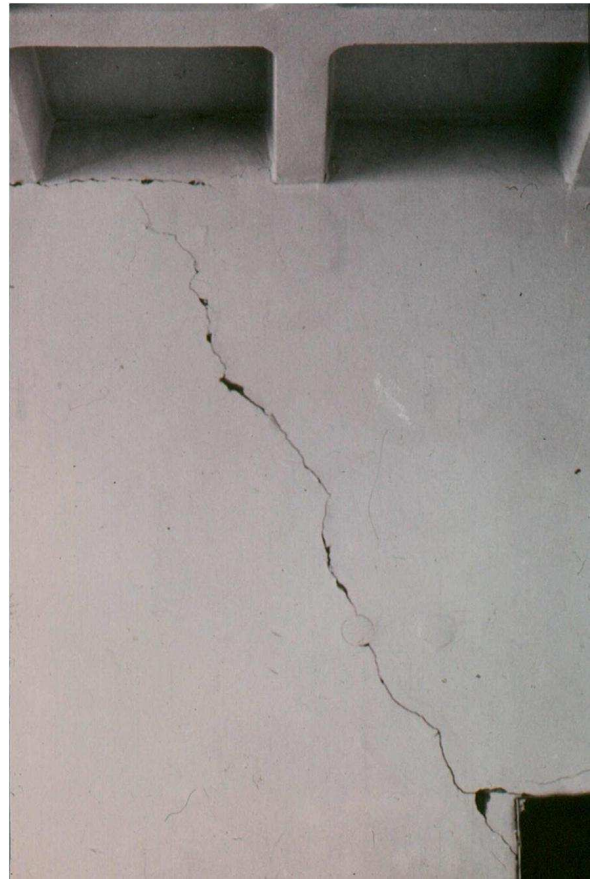
# Středověké klenby



# Bazilika sv. Markéty



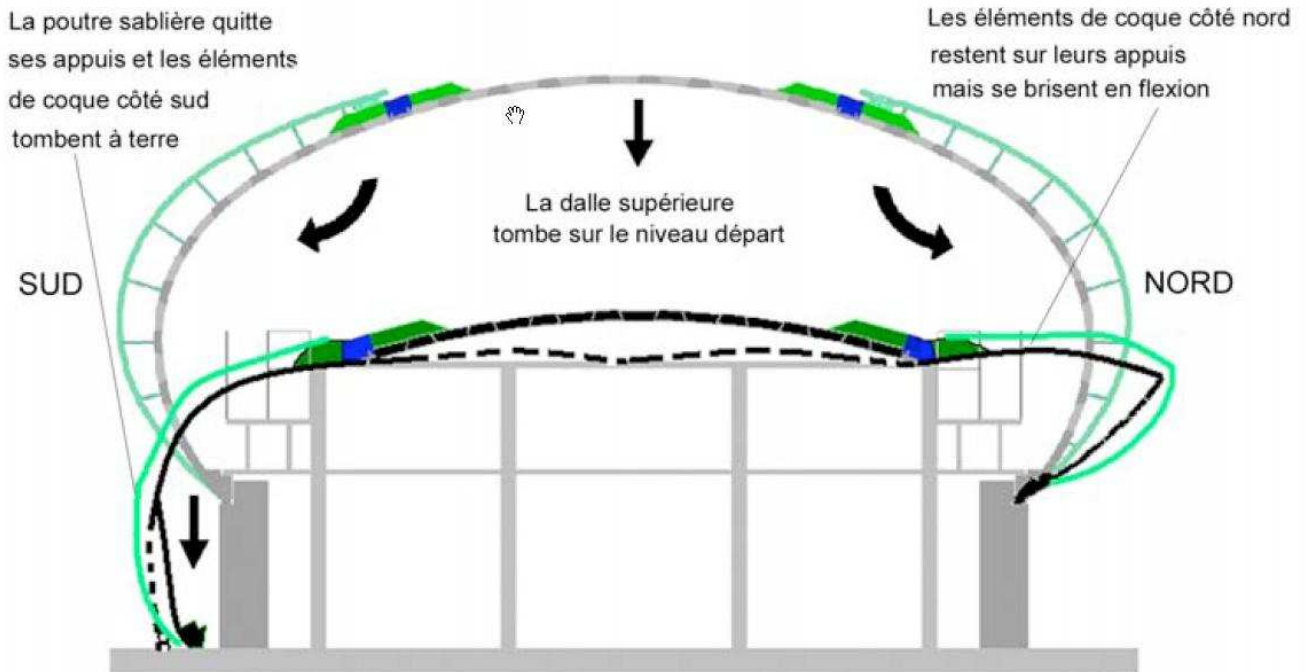
# Obchodní dům CENTRUM



## Použitelnost - Millennium bridge v Londýně



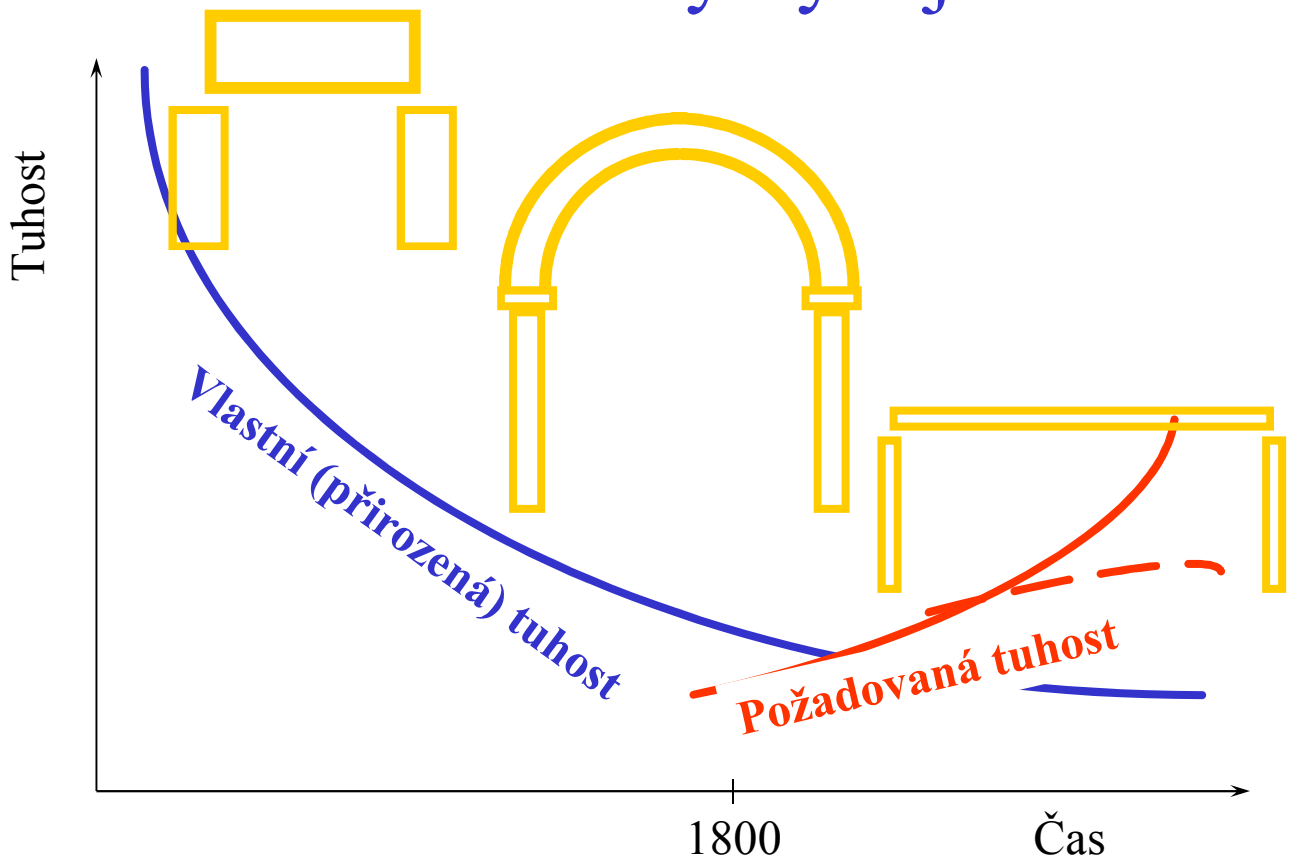
# Nedostatečná tuhost přispěla ke zřícení



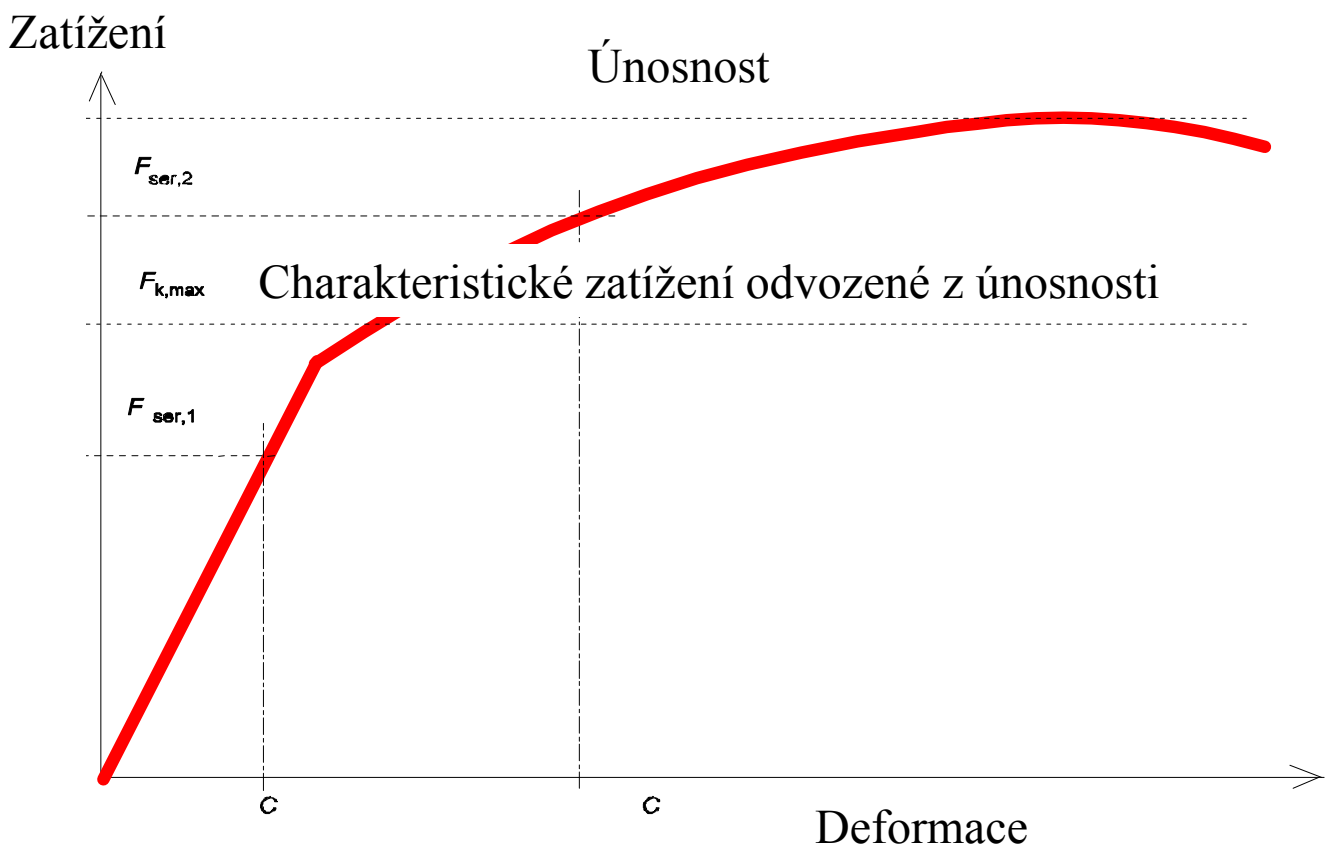
## Failure zone



# Historický vývoj



# Mezní stavy únosnosti a použitelnosti



# Použitelnost

Obvyklé mezní stavy použitelnosti betonových konstrukcí:

- mezní stav napětí z hlediska podmínek použitelnosti,
- mezní stav trhlin,
- mezní stav přetvoření.

$$C \geq E_d$$

**je potřebné definovat**

- omezující kritéria
- návrhové hodnoty zatížení, které se budou aplikovat
- návrhové vlastnosti materiálů
- model chování (výpočetní model)

## Kombinace zatížení

Při výpočtu mezních stavů použitelnosti se uplatňují následující kombinace, které závisí na povaze dominantního zatížení:

- kvazistálá kombinace

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P_k + \sum_{i \geq 1} \psi_{2,i} Q_{k,i} \quad (1)$$

- 

častá kombinace

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P_k + \psi_{1,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{2,i} Q_{k,i} \quad (2)$$

- výjimečná kombinace

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P_k + Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{0,i} Q_{k,i} \quad (3)$$

# Omezení napětí

EC2 předepisuje omezení napětí pro:

- **Tlaková napětí v betonu.**

Nadměrné hodnoty tlakových napětí v betonu mohou v provozním stavu na konstrukci vyvolat:

- vznik podélných trhlin,
- rozvoj mikrotrhlin v betonu,
- vyšší hodnoty dotvarování.

Tyto jevy mohou vést ke vzniku takových stavů, které znemožní používání konstrukce.

- **Tahová napětí ve výztuži.**

Cílem omezení napjatosti výztuže je zamezení vzniku nadměrného nepružného přetvoření výztuže (a tím i celého prvku) a zamezení vzniku širokých, trvale otevřených trhlin v betonu.

# Omezení napětí

V běžných případech není třeba posuzovat, pokud jsou splněny

- požadavky EC2 na mezní stav únosnosti
- požadavky EC2 na minimální vyztužení
- konstrukční zásady

$$\sigma_s \leq k f_{yk} \quad \begin{array}{l} \text{pro napětí od účinků charakteristické kombinace zatížení } k = 0,8 \\ \text{pro napětí od účinků vynucených přetvoření } k = 1 \end{array}$$

$$\sigma_c \leq k f_{ck} \quad \text{pro omezení tlakových napětí v betonu } k = 0,6$$

pro omezení napětí z hlediska nebezpečí dotvarování  $k = 0,45$

# Mezní stav trhlin

EC2 vychází ze skutečnosti, že:

- není možné přesně stanovit šířku trhliny (zejména s ohledem na rozptyl tahové pevnosti betonu a soudržnost betonu a výztuže) pomocí jednoduchých vztahů
- znalost přesné šířky trhliny není pro trvanlivost betonové konstrukce významná a proto EC2 považuje za účelnější stanovit zásady uspořádání výztuže pro zamezení vzniku širokých trhlin než komplikovaně stanovit šířku trhliny výpočtem.

## Mezní šířka trhliny

Třídy	Železobet prvky	Předpjaté prvky
	Kvazistálá komb.	Častá komb.
X0, XC1	0,4 <sup>1</sup>	0,2
XC2, XC3, XC4	0,3	0,2 <sup>2</sup>
XD1, XD2, XS1, XS2, XS3		Dekomprese

$$w_{cal} < w_{lim}$$



# Kontrola trhlin bez přímého výpočtu

Požaduje se minimální procento vyztužení

Pro uvažované napětí ve výztuži se dodrží maximální průměr výztuže nebo maximální vzdálenost výztuže

Steel stress* [MPa]	Maximum bar size [mm]		
	$w_k=0,4$ mm	$w_k=0,3$ mm	$w_k=0,2$ mm
160	40	32	25
200	32	25	16
240	20	16	12
280	16	12	8
320	12	10	6
360	10	8	5
400	8	6	4
450	6	5	-

## Trhliny a průhyb konstrukcí ovlivňuje

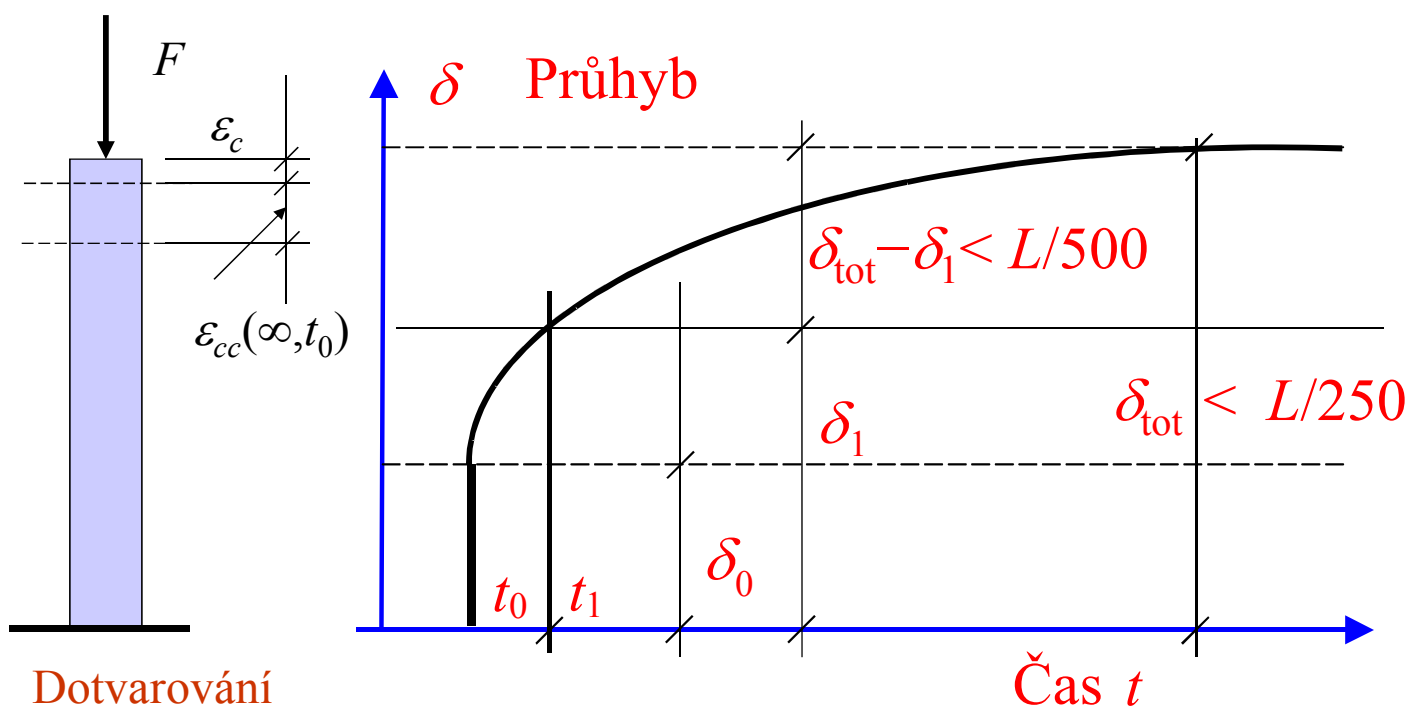
- funkční způsobilost za provozních podmínek
- pohodlí uživatelů
- vzhled konstrukce



# Základní kritéria pro průhyby

- - kritérium obecné použitelnosti:  
průhyb při kvazistálém zatížení nemá překročit  $1/250$  rozpětí. Pro omezení průhybu může být použito nadvýšení; velikost nadvýšení bednění by neměla překročit  $1/250$  rozpětí.
- - kritérium průhybu po zabudování prvku:  
průhyb po zabudování (provedení) prvku by neměl přestoupit hodnotu  $1/500$  rozpětí při kvazistálé kombinaci zatížení. Ostatní omezení by měla být uvažována v závislosti na náchylnosti k porušení připojených prvků.

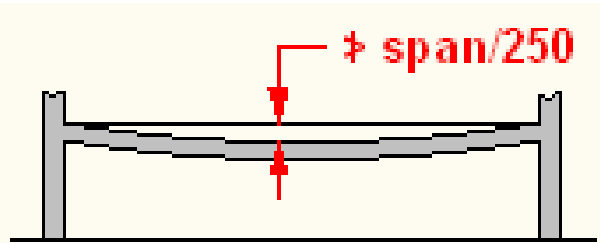
## Základní kritéria pro průhyby



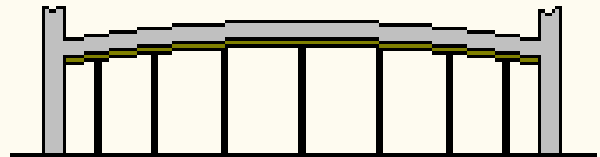
Dotvarování způsobuje pozvolný nárůst trvalých deformací (průhybů) při dlouhodobě působícím zatížení

# Maximální průhyby

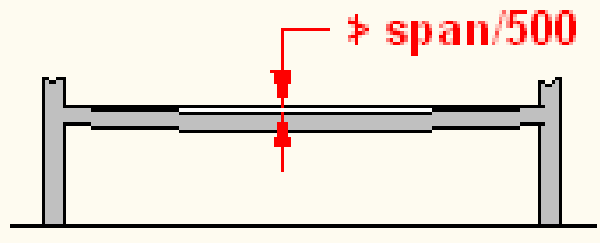
Maximální celkový průhyb  $L/250$



Průhyb lze snížit nadvýšením,  
avšak menším než  $L/250$



Maximální průhyb po zabudování  
nenosných prvků (příček, dveří)  
 $L/500$



## Otázky ke zkoušce

Mezní stavy použitelnosti

Kombinace zatížení pro mezní stav použitelnosti

Omezení šířky trhlin

Omezení průhybů

Omezující poměr  $l/d$

Výpočet průhybů

# Výpočet průhybu

Efektivního modulu pružností betonu:

$$E_{c,eff} = \frac{E_{cm}}{1 + \varphi(\infty, t_o)}$$

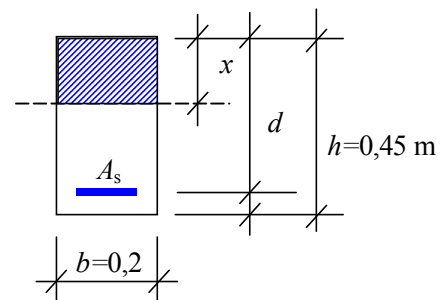
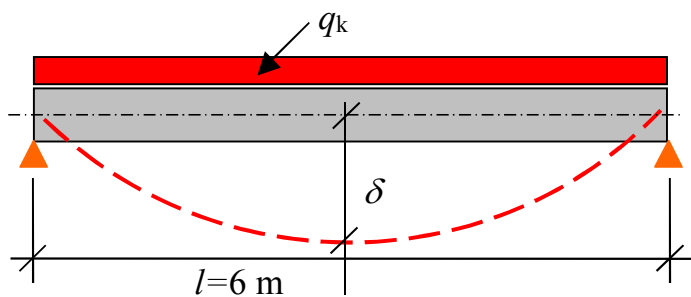
Křivost od smršťování

$$\frac{1}{r_{cs}} = \varepsilon_{cs} \alpha_e \frac{S}{I} \quad \alpha_e = E_s / E_{c,eff}$$

$\varepsilon_{cs}$  je poměrné přetvoření betonu od smršťování,

$S$  je statický moment průřezové plochy výztuže k těžišti průřezu

## Příklad výpočtu průhybu



Efektivní modul	$E_{c,eff} = \frac{E_{cm}}{1 + \varphi(\infty, t_o)}$	$\alpha_e = E_s / E_{c,eff}$	$E_{c,eff} =$	7500	$\alpha_e =$	26,66667
Dlouhodobý průhyb		$\delta_c =$	0,017778	$\delta_{mezni} =$	0,024	
Křivost od smršťování	$\frac{1}{r_{cs}} = \varepsilon_{cs} \alpha_e \frac{S}{I}$	$1/r_{cs} =$	0,001134			
Průhyb od smršťování		$\delta_s =$	0,005103			
Celkový průhyb		$\delta_{tot} =$	0,022881	$\delta_{tot} < \delta_{tot}?$	PRAVDA	

# Ověření průhybů

Ověření mezního stavu přetvoření může být provedeno:

- bez výpočtu přetvoření, používají se jednodušší metody založené např. na ověření štíhlosti prvku,
- výpočtem přetvoření a srovnáním vypočtených hodnot s přípustnými limitními hodnotami.

## Omezující poměr rozpětí a účinné výšky $l/d$

Průhyb není nutno počítat pokud  $(l/d) < \text{omezující } (l/d)$

Omezující  $l/d$

$$\frac{l}{d} = K \left[ 11 + 1,5\sqrt{f_{ck}} \frac{\rho_0}{\rho} + 3,2\sqrt{f_{ck}} \left( \frac{\rho_0}{\rho} - 1 \right)^{3/2} \right] \quad \text{pokud } \rho \leq \rho_0 \quad (7.16.a)$$

$$\text{pro } \rho = \rho_0 \quad \frac{l}{d} = K(11 + 1,5\sqrt{f_{ck}})$$

$$\frac{l}{d} = K \left[ 11 + 1,5\sqrt{f_{ck}} \frac{\rho_0}{\rho - \rho'} + \frac{1}{12}\sqrt{f_{ck}} \sqrt{\frac{\rho'}{\rho_0}} \right] \quad \text{pokud } \rho > \rho_0 \quad (7.16.b)$$

kde  $l/d$  je mezní poměr rozpětí k účinné výšce;

$K$  součinitel, kterým se zohledňují různé nosné systémy;

$\rho_0$  referenční stupeň vyztužení  $\rho_0 = \sqrt{f_{ck}} \cdot 10^{-3}$ ; ( $\sim 0,022 = 2,2\%$ )

$\rho$  požadovaný stupeň vyztužení tahovou výztuží ve středu rozpětí (u konzoly ve vetknutí) na ohybový moment vyvozený návrhovým zatížením;

$\rho'$  požadovaný stupeň vyztužení tlakovou výztuží ve středu rozpětí (u konzoly ve vetknutí) na ohybový moment vyvozený návrhovým zatížením;

$f_{ck}$  v jednotkách MPa.

# Omezující poměr rozpětí k účinné výšce $l/d$

Nosná soustava	$K$	Silně namáhaný beton $\rho \approx 1,5\%$	Slabě namáhaný beton $\rho = 0,5\%$
prostě podepřený nosník, prostě podepřená deska nosná v jednom nebo ve dvou směrech	1,0	14	20
krajní pole spojitého nosníku nebo spojitě desky nosné v jednom směru nebo desky nosné ve dvou směrech spojitě v delší straně	1,3	18	26
vnitřní pole nosníku nebo desky nosné v jednom směru nebo desky nosné ve dvou směrech	1,5	20	30
deska lokálně podepřená (rozhoduje delší rozpětí)	1,2	17	24
konzola	0,4	6	8

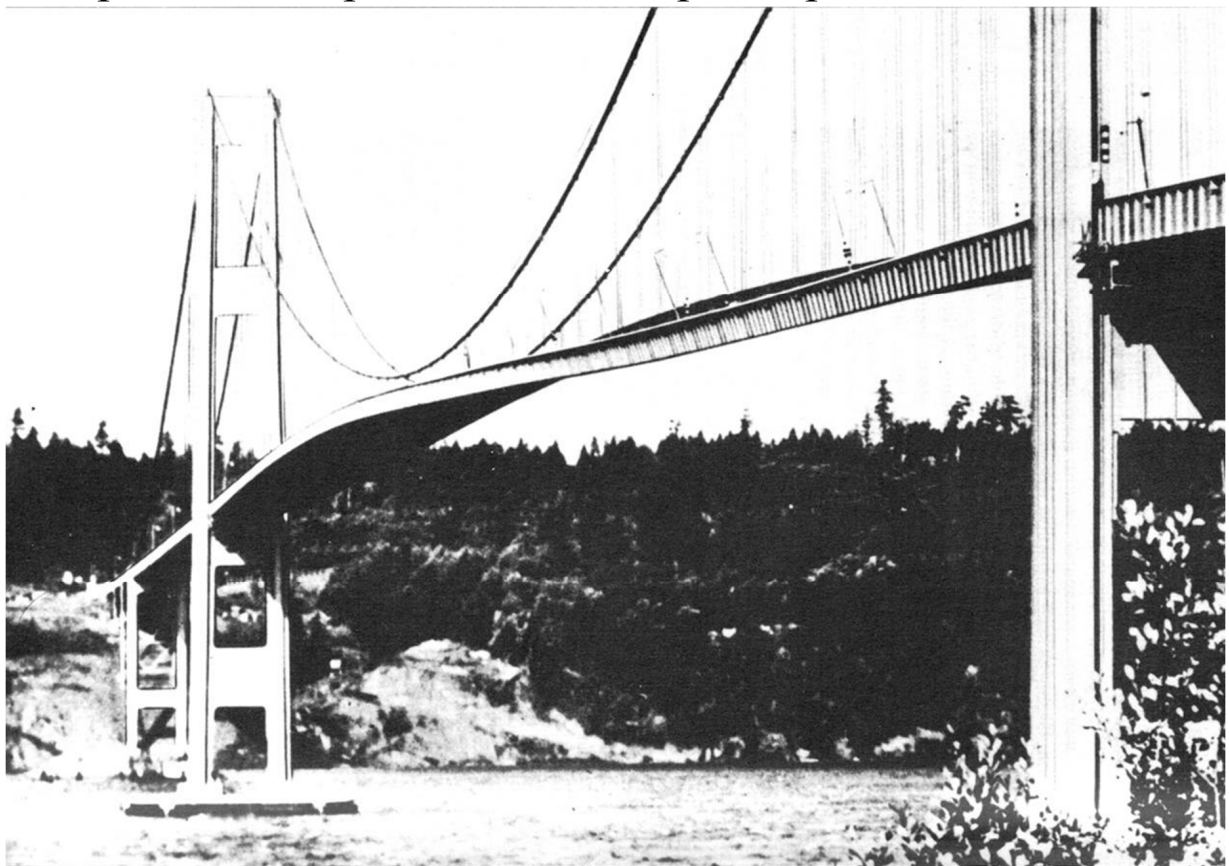
POZNÁMKA Uvedené hodnoty lze považovat obecně za konzervativní; výpočtem lze často prokázat, že jsou možné štíhlejší prvky.

POZNÁMKA U desek nosných ve dvou směrech se má posouzení provést pro kratší rozpětí. U desek lokálně podepřených se při posouzení má uvažovat delší rozpětí.

POZNÁMKA Uvedené mezní hodnoty pro lokálně podepřené desky odpovídají mírnějšímu omezení než je průhyb uprostřed pole  $1/250$  rozpětí vztážený ke sloupům. Zkušenosti ukazují, že toto omezení je vyhovující.

## Tacoma Narrows Bridge 1940

span 853 m, span/width = 72, span/depth = 350



# Maximální průměr výztuže

Pro uvažované napětí ve výztuži se dodrží maximální průměr výztuže

Steel stress * [MPa]	Maximum bar spacing [mm]		
	$w_k=0,4$ mm	$w_k=0,3$ mm	$w_k=0,2$ mm
160	300	300	200
200	300	250	150
240	250	200	100
280	200	150	50
320	150	100	-
360	100	50	-

## Omezující poměr $l/d$

Betonové desky a nosníky:

$$\frac{l}{d} \leq \lambda_d \quad \lambda_d = \kappa_{c1} \cdot \kappa_{c2} \cdot \kappa_{c3} \cdot \lambda_{dtab} ,$$

$\kappa_{c1}$  je součinitel závislý na tvaru průřezu ( $\kappa_{c1} = 0,8$  pro T průřezy s poměrem šířky příruby k šířce žebra větší než 3;  $\kappa_{c1} = 1,0$  v ostatních případech),

$\kappa_{c2}$  je součinitel závislý na rozpětí ( $\kappa_{c2} = 7/l$  pro  $l > 7,0$  m;  $\kappa_{c2} = 1,0$  pro  $l \leq 7,0$  m),

$$\kappa_{c3} = \frac{310}{\rho_s} \doteq \frac{500}{f_{yk}} \frac{A_{s,prov}}{A_{s,req}}$$

je součinitel napětí tahové výztuže  $\sigma_s$  v extrémně namáhaném průřezu při časté kombinaci provozního zatížení,

# Omezující poměr $l/d$

Nosná konstrukce	$K$	$\rho = 1,5 \%$	$\rho = 0,5 \%$
Prostě podepřený nosník, prostě podepřená deska (nosná v jednom a ve dvou směrech)	1,0	14	20
Krajní pole spojitého nosníku nebo desky nosné v jednom směru, krajní pole desky nosné ve dvou směrech, spojitě ve směru kratšího rozpětí	1,3	18	26
Vnitřní pole spojitého nosníku nebo desky nosné v jednom nebo ve dvou směrech	1,5	20	30
Deska lokálně podepřená	1,2	17	24
Konzola	0,4	6	8

# Omezující poměr $l/d$

