

Použitelnost

Obvyklé mezní stavy použitelnosti betonových konstrukcí podle EC2:

- mezní stav omezení napětí,
- mezní stav trhlin,
- mezní stav přetvoření.

je potřebné definovat

$$C \geq E_d$$

- omezující kritéria
- návrhové hodnoty zatížení
- návrhové vlastnosti materiálů
- model chování (výpočetní model)

Kombinace zatížení

Při výpočtu mezních stavů použitelnosti se uplatňují následující kombinace, které závisí na povaze hlavního 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

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

- charakteristická 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

$$\sigma_s \leq k f_{yk}$$

pro napětí v oceli od účinků charakt. kombinace zatížení $k = 0,8$
pro napětí od účinků vynucených přetvoření $k = 1$

$$\sigma_c \leq k f_{ck}$$

pro omezení tlakových napětí v betonu $k = 0,6$
pro omezení napětí z hlediska nebezpečí dotvarování $k = 0,45$

Mezní stav trhlin

EC2 vychází z filosofie, 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.

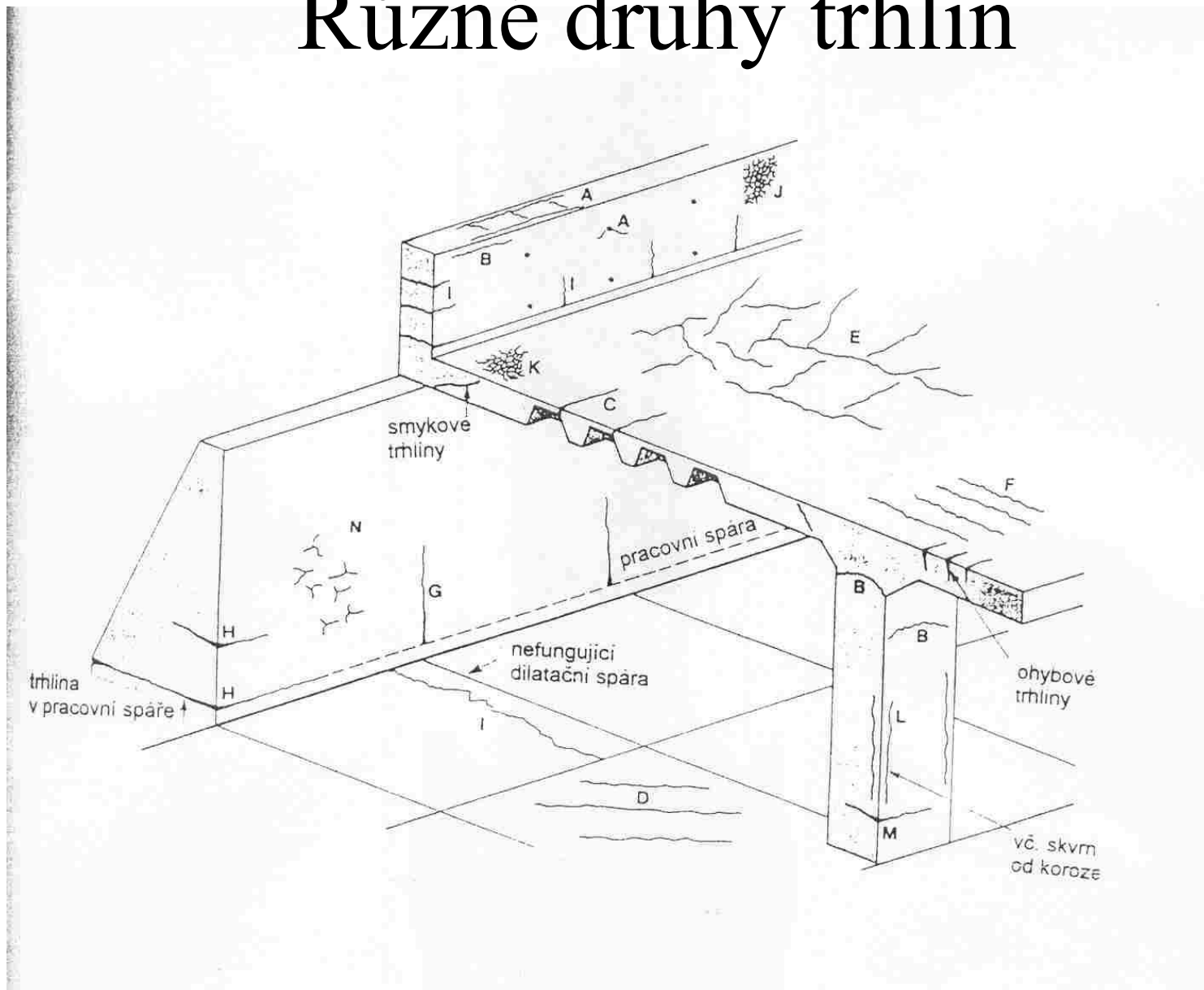
Mezní šířka trhliny

Třídy	Železobetonové prvky	Předpjaté prvky
	Kvazistálá komb.	Častá kombinace
X0, XC1	0,4 ¹	0,2
XC2, XC3, XC4	0,3	0,2 ²
XD1, XD2, XS1, XS2, XS3		Dekomprese

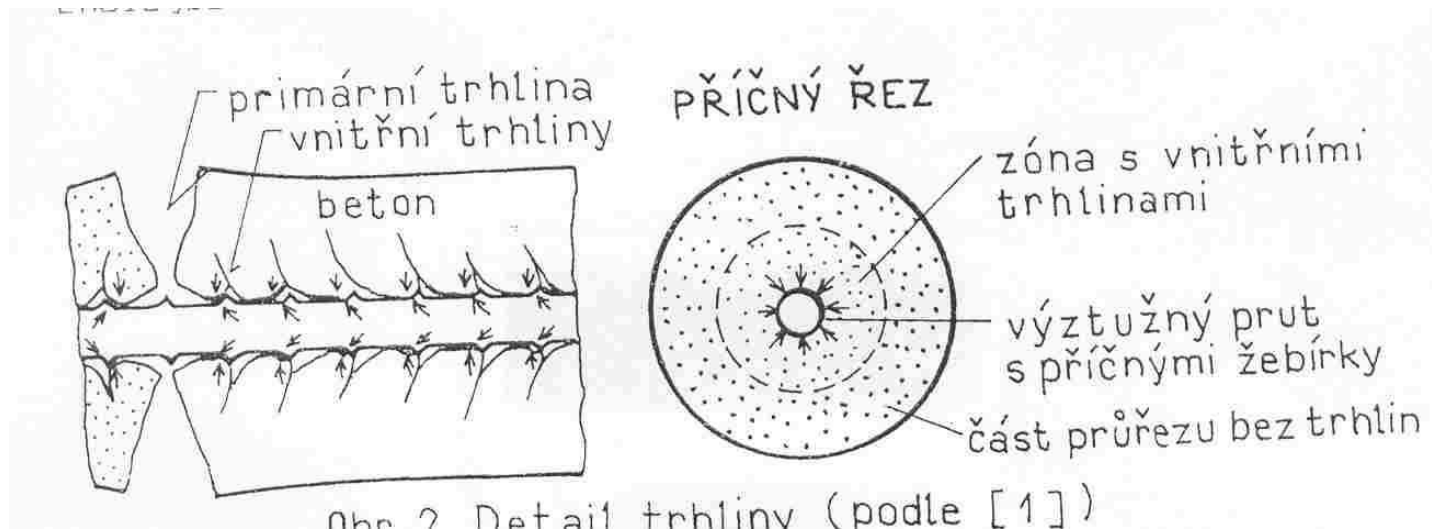
Ověření šířky trhliny:

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

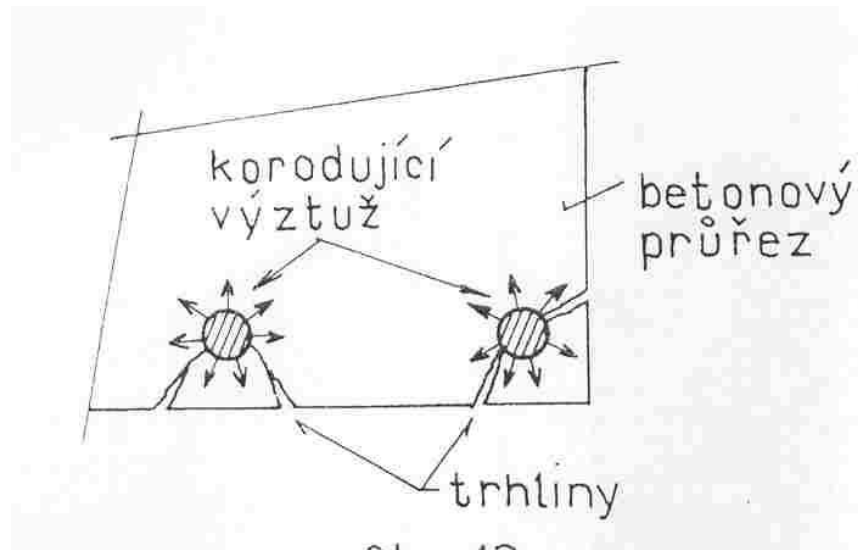
Různé druhy trhlin



Detail trhliny



Koroze výztuže



Kontrola trhlin bez přímého výpočtu

Požaduje se minimální procento vyztužení

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

Maximální průměr výztuže

Napětí ve výztuži [MPa]	Maximální průměr výztuže [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 ve zdivu - klenba





Maximální vzdálenost výztuže

Pro uvažované napětí ve výztuži se dodrží maximální průměr výztuže

Napětí ve výztuži [MPa]	Maximální vzdálenost výztuže [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	-

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.

Výpočet průhybu

Efektivní modul pružnosti betonu:

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

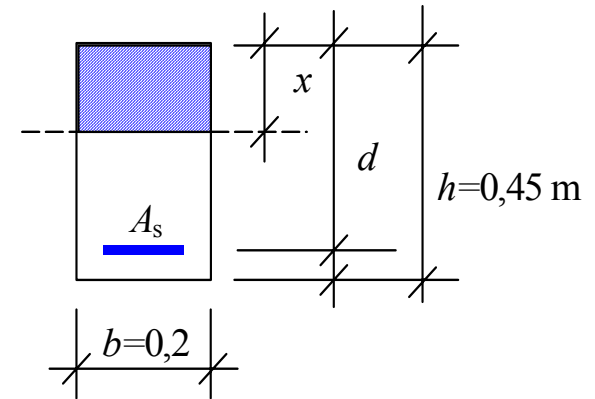
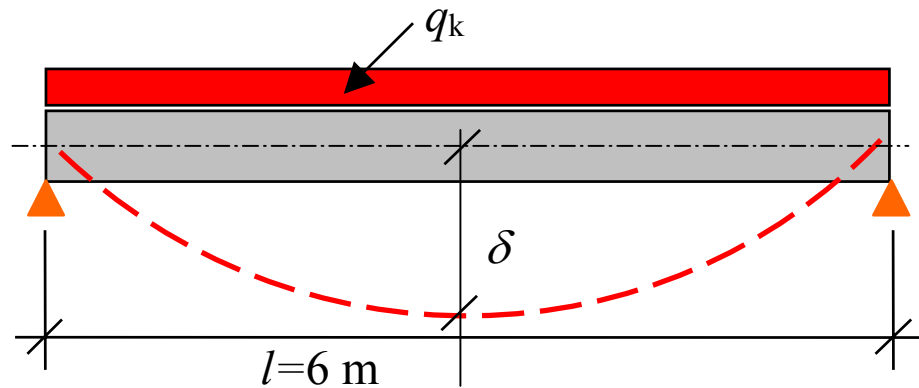
Křivost od smršťování

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

ε_{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
Křvost 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.

Vymezující štíhlost

Betonové desky a nosníky:

$$\frac{l}{d} = K \left[11 + 1,5 \sqrt{f_{ck}} \frac{\rho_0}{\rho} + 3,2 \sqrt{f_{ck}} \left(\frac{\rho_0}{\rho} - 1 \right)^{1,5} \right] \quad \text{pro } \rho \leq \rho_0$$
$$\frac{l}{d} = K \left[11 + 1,5 \sqrt{f_{ck}} \frac{\rho_0}{\rho - \rho_1} + \frac{1}{12} \sqrt{f_{ck}} \sqrt{\frac{\rho_1}{\rho}} \right] \quad \text{pro } \rho > \rho_0$$
$$\frac{310}{\sigma_s} \doteq \frac{500}{f_{yk}} \frac{A_{s,prov}}{A_{s,req}}$$

l/d	mezní poměr rozpětí k účinné výšce
K	součinitel pro různé konstrukční systémy
ρ_0	referenční stupeň vyztužení,
ρ	požadovaný stupeň vyztužení z hlediska momentů od vnějšího zatížení
ρ_1	požadovaný stupeň tlakového vyztužení
f_{ck}	charakteristická pevnost betonu v tlaku [MPa]

závisí

- na tvaru průřezu, pro T průřezy s poměrem šířky příruby k šířce žebra > 3 se násobí 0,8
- na rozpětí, pro $l > 7,0$ se násobí $7/l$ [m]

Vymezující štíhlost

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

Otázky ke zkoušce

Mezní stavy použitelnosti

Kombinace zatížení pro mezní stav použitelnosti

Omezení šířky trhlin

Omezení průhybů

Vymezující štíhlosti

Výpočet průhybů