

133PSBZ

Požární spolehlivost betonových a zděných konstrukcí

Přednáška B8

ČVUT v Praze, Fakulta stavební
katedra betonových a zděných konstrukcí

MSP - mezní stavy použitelnosti

Obsah:

- Omezení napětí
- Kontrola trhlin
- Přetvoření

MSP - omezení napětí

Omezení napětí v betonu

- v době napínání nebo zavedení předpětí t_0

$$\sigma_c \leq 0,6 f_{ck}(t_0)$$

$f_{ck}(t_0)$... pevnost betonu v době t_0

- u předem napínaných prvků lze zvýšit tlakové napětí betonu v době předpínání na $0,7 f_{ck}(t_0)$

MSP - omezení napětí

Omezení napětí v betonu

- při charakteristické kombinaci zatížení u prvků vystavených stupňům vlivu prostředí XD a XF

$$\sigma_c \leq 0,6f_{ck}(t)$$

$f_{ck}(t)$... pevnost betonu v tlaku v provozním stádiu

- doporučuje se, aby tlakové napětí při kvazistálé kombinaci zatížení bylo omezeno na hodnotu

$$\sigma_{cqp} \leq 0,45f_{ck}(t)$$

$f_{ck}(t)$... pevnost betonu v tlaku v provozním stádiu

- pokud $\sigma_{cqp} > 0,45 f_{ck}(t)$ je třeba uvažovat nelineární dotvarování

MSP - omezení napětí


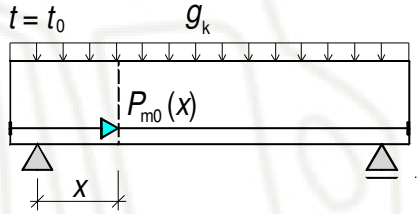
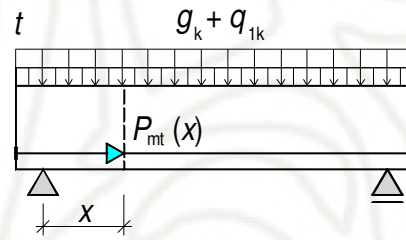
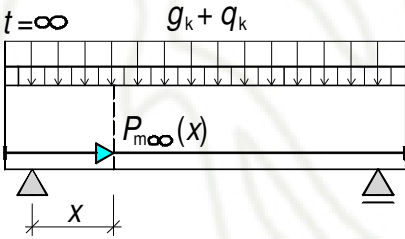
Omezení napětí v betonu

- lze předpokládat, že v prvku nevzniknou trhliny pokud

$$\sigma_{ct} \leq f_{ctm}(t)$$

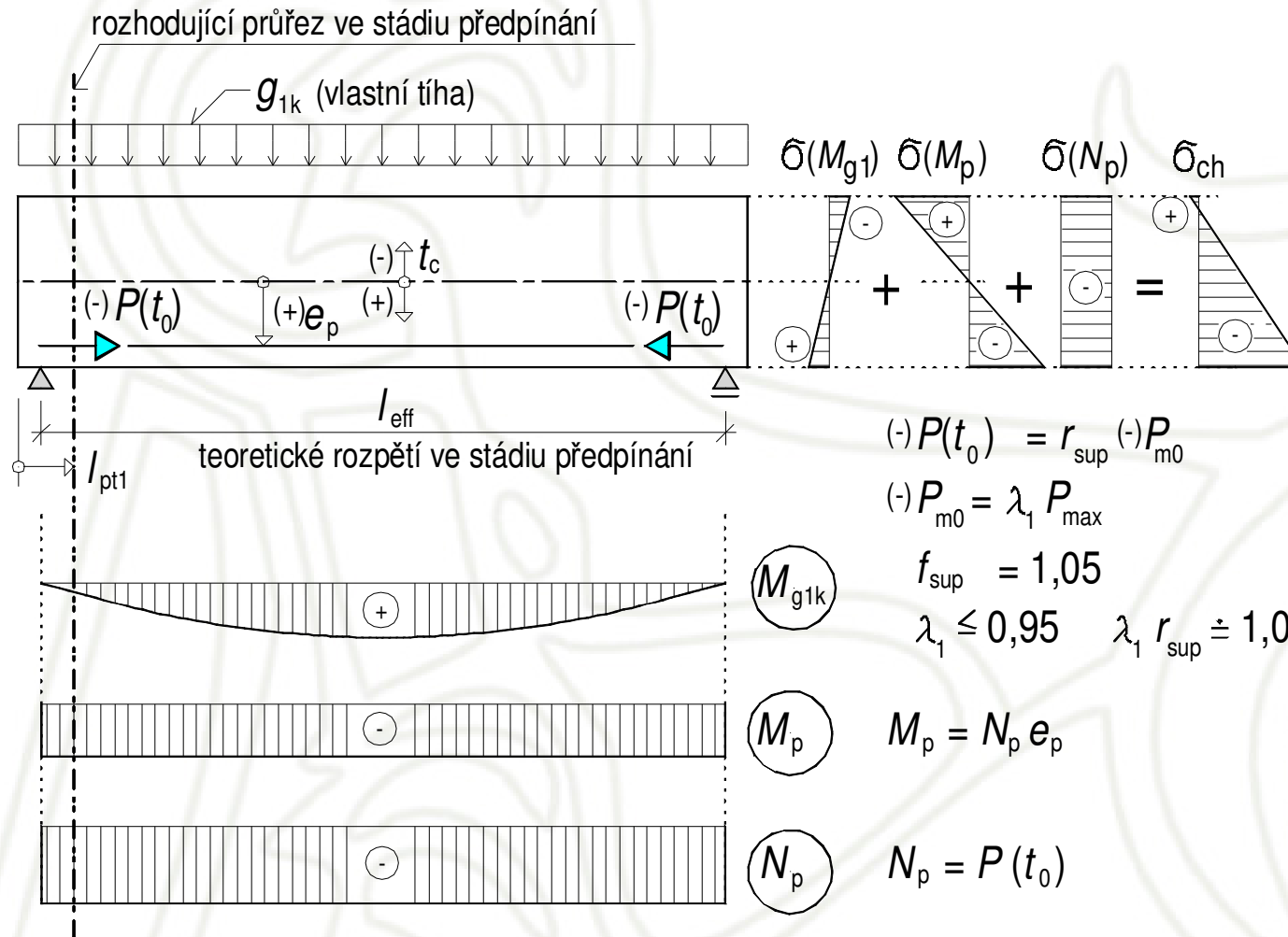
$f_{ctm}(t)$... pevnost betonu v tahu v době t (předpínání, provoz)

MSP - omezení napětí v předpínací výztuži v jedn. stádiích

uvažovaný čas	schéma	síla *)	napětí *)	omezení napětí
vnesení předpětí $t = 0$		P_{max}	$\sigma_{p,max}$	$\sigma_{p,max} \leq \min(0,8 f_{pk}; 0,9 f_{p0,1k})$
po vnesení předpětí $t = t_0$		$P_{m0}(x)$	$\sigma_{pm0}(x)$	$\sigma_{pm0}(x) \leq \min(0,75 f_{pk}; 0,85 f_{p0,1k})$ při přesném měř. předp. síly $\sigma_{pm0}(x) \leq 0,9 f_{p0,1k}$
v průběhu životnosti t		$P_{mt}(x)$	$\sigma_{pmt}(x)$	
na konci životnosti $t = \infty$		$P_{mt}(x)$	$\sigma_{pmt}(x)$	$\sigma_{pm\infty}(x) \leq 0,75 f_{pk}$

*) střední hodnoty síly resp. napětí působící v předpínací vložce ve vzdálenosti x v čase t
Pozn.: g_1 - vlastní tíha prvku, g_2 - statní stálé zatížení a q - proměnné zatížení

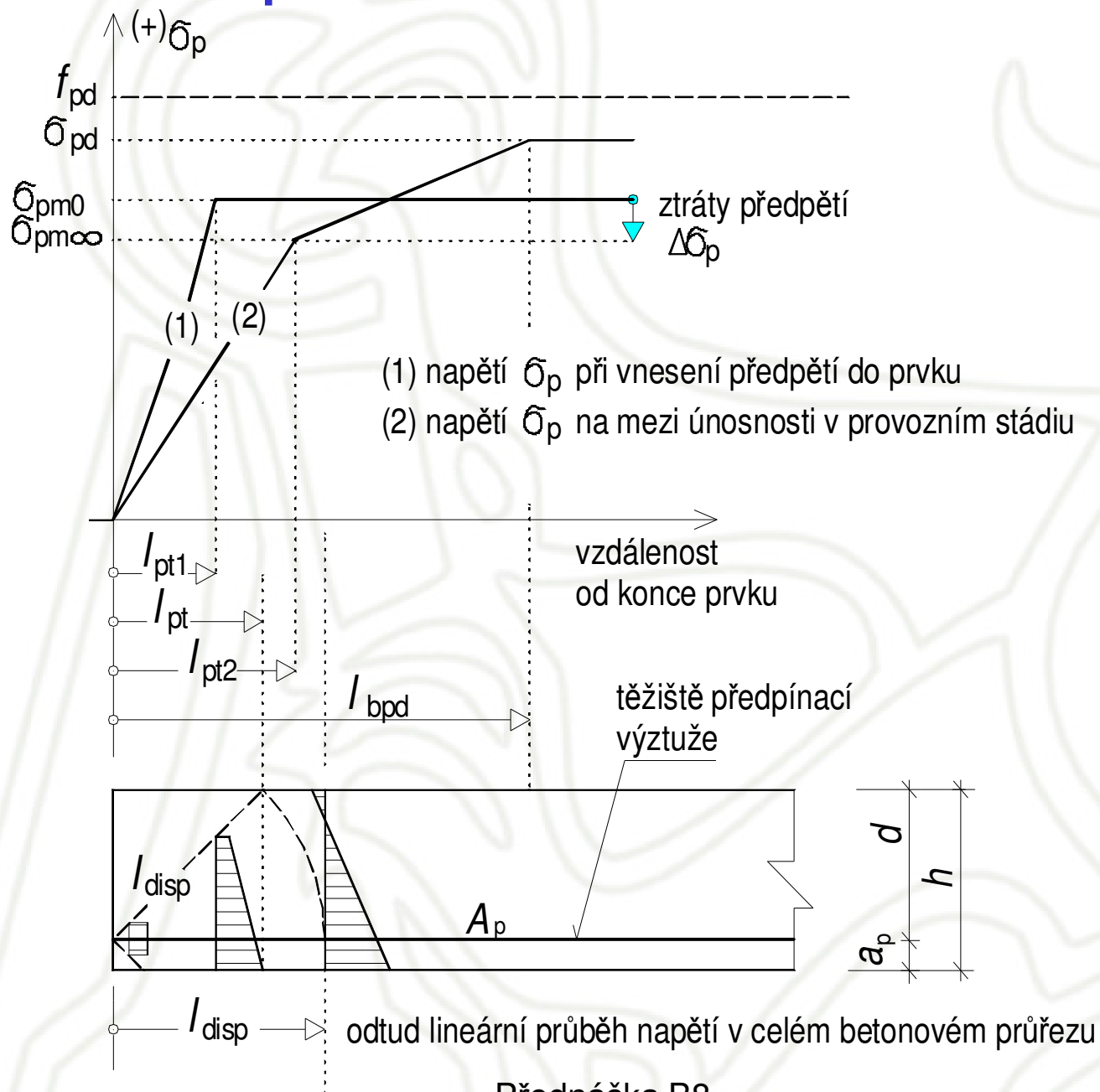
MSP - omezení napětí - stádium předpínání



$$\frac{\lambda_1 r_{sup} (-)P_{max}}{A_c} + \frac{\lambda_1 r_{sup} (-)P_{max} (+)e_p}{(-)W_{ct}} + \frac{M_{g1k,min}}{(-)W_{ct}} \leq (+)f_{ctm}(t_0)$$

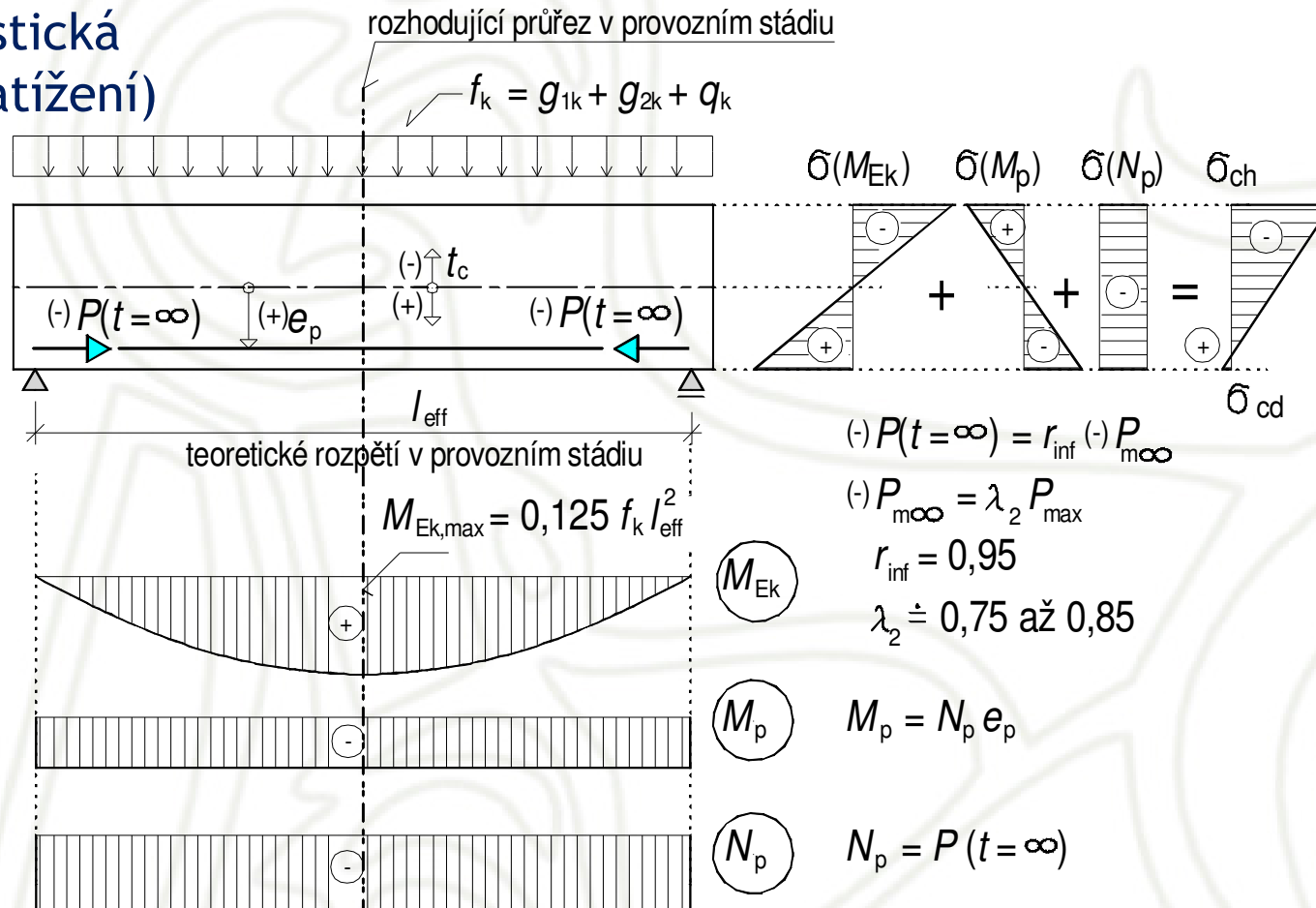
$$\frac{\lambda_1 r_{sup} (-)P_{max}}{A_c} + \frac{\lambda_1 r_{sup} (-)P_{max} (+)e_p}{(+)W_{cb}} + \frac{M_{g1k,min}}{(+)W_{cb}} \geq 0,6(-)f_{ck}(t_0)$$

MSP - omezení napětí



MSP - omezení napětí - provozní stádium

(charakteristická kombinace zatížení)

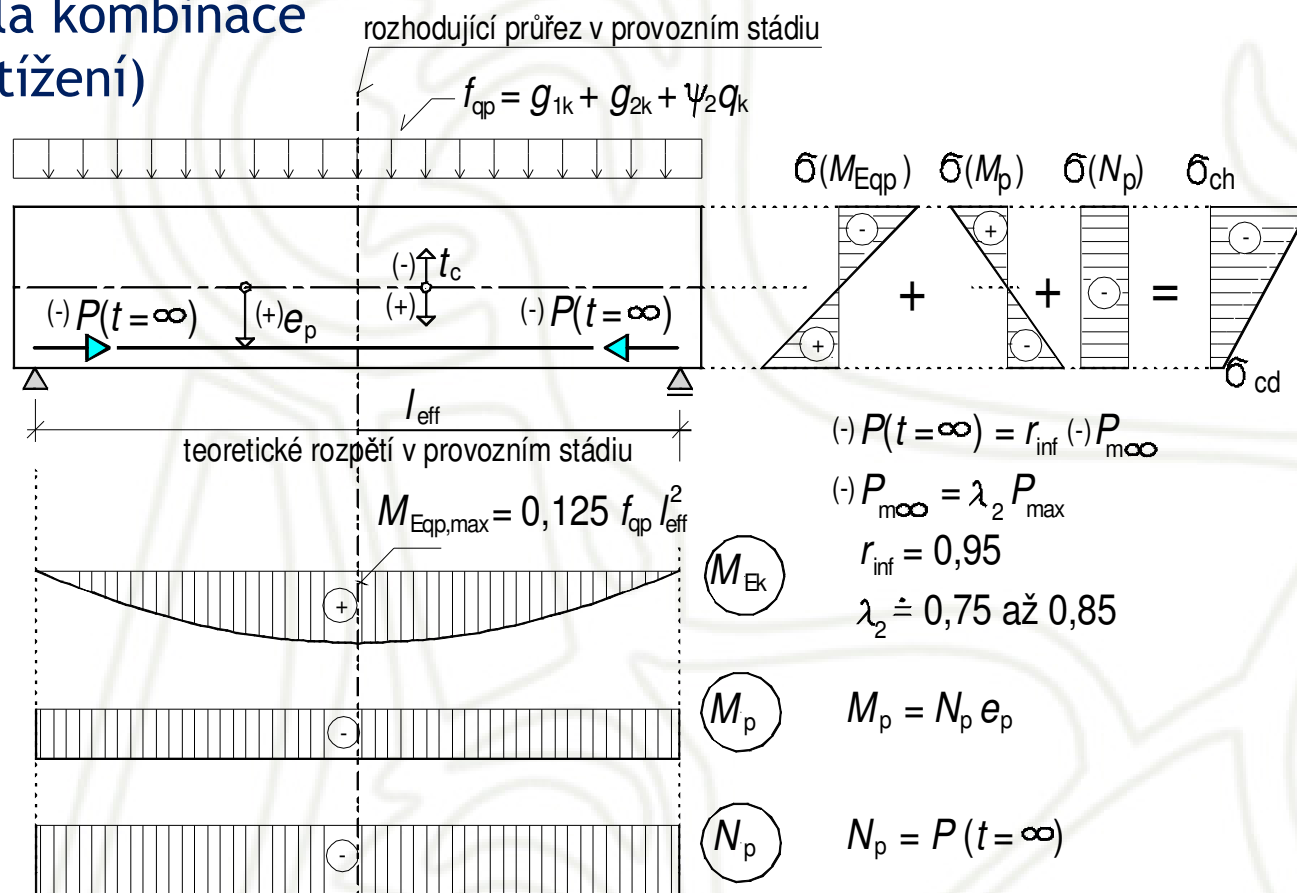


$$\frac{\lambda_2 r_{inf} (-)P_{max}}{A_c} + \frac{\lambda_2 r_{inf} (-)P_{max} (+)e_p}{(-)W_{ct}} + \frac{M_{Ek,max}}{(-)W_{ct}} \geq 0,6 (-)f_{ck}$$

$$\frac{\lambda_2 r_{inf} (-)P_{max}}{A_c} + \frac{\lambda_2 r_{inf} (-)P_{max} (+)e_p}{(+)W_{cb}} + \frac{M_{Ek,max}}{(+)W_{cb}} \leq (+)f_{ctm}$$

MSP - omezení napětí - provozní stádium

(kvazistálá kombinace zatížení)



$$\frac{\lambda_2 r_{inf} (-)P_{max}}{A_c} + \frac{\lambda_2 r_{inf} (-)P_{max} (+)e_p}{(-)W_{ct}} + \frac{M_{Eqp,max}}{(-)W_{ct}} \geq 0,6 (-)f_{ck}$$

$$\frac{\lambda_2 r_{inf} (-)P_{max}}{A_c} + \frac{\lambda_2 r_{inf} (-)P_{max} (+)e_p}{(+)W_{cb}} + \frac{M_{Eqp,max}}{(+)W_{cb}} \leq (+)f_{ctm}$$

MSP - omezení napětí

Minimální průřezová plocha výztuže

- Soudržná předpínací výztuž v tažené oblasti se podílí na omezení trhlin, pokud leží ve vzdálenosti menší nebo rovné 150mm od těžiště předpínací výztuže. Pak lze výraz (viz přednášky MSP) upravit na:

$$A_{s,min} = \frac{(k_c k f_{ct,eff} A_{ct} + \xi_1 A'_p \Delta\sigma_p)}{\sigma_s}$$

A'_p ... plocha soudržné předpínací výztuže ležící v ploše $A_{c,eff}$

$\Delta\sigma_p$... změna napětí v předpínací výztuži ze stavu nulového poměrného přetvoření betonu ve stejné úrovni

$A_{c,eff}$... účinná plocha taženého betonu obklopujícího betonářskou nebo předpínací výztuž o výšce $h_{c,eff}$

MSP - omezení napětí

$$\xi_1 = \sqrt{\xi \frac{\phi_S}{\phi_P}}$$

ϕ_S ... největší průměr prutu betonářské výztuže

ϕ_P ... průměr nebo ekvivalentní průměr prutu předpínací výztuže

kabel: $\phi_P = 1,6 \sqrt{A_p}$

sedmidrátová lana, jednotlivé dráty: $\phi_P = 1,75 \phi_{wire}$

třídrátová lana: Sem zadejte rovnici. $\phi_P = 1,20 \phi_{wire}$

ϕ_{wire} ... průměr drátu

ξ ... poměr pevnosti v soudržnosti mezi předpínací a betonářskou výztuží - viz následující tabulka

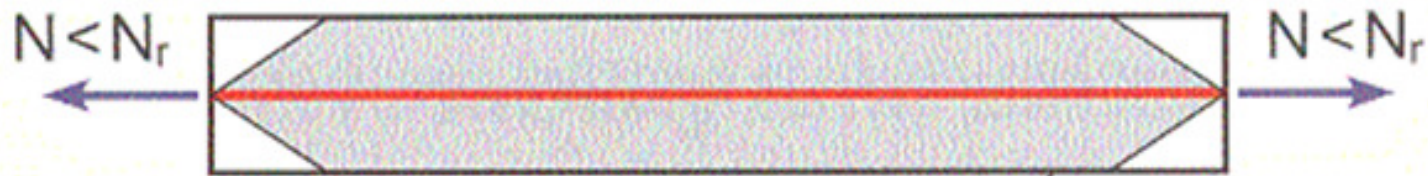
k_c, k, σ_s ... viz přednášky MSP

MSP - omezení napětí

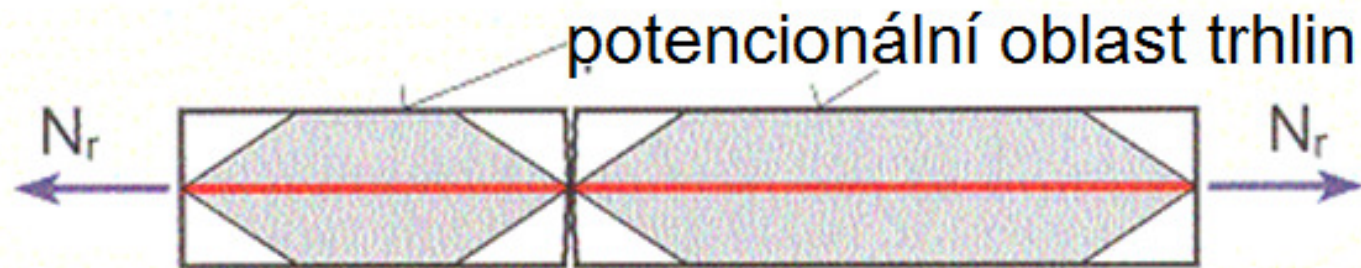
předpínací ocel	předem napjatá	ξ	
		soudržná, dodatečně napjatá	
		$\leq C50/60$	$\geq C70/85$
hladké tyče a dráty	nepoužívá se	0,3	0,15
lana	0,6	0,5	0,25
dráty s vtisky	0,7	0,6	0,3
žebírkové tyče	0,8	0,7	0,35

Poznámka: Pro mezilehlé hodnoty C50/60 a C70/85 lze interpolovat

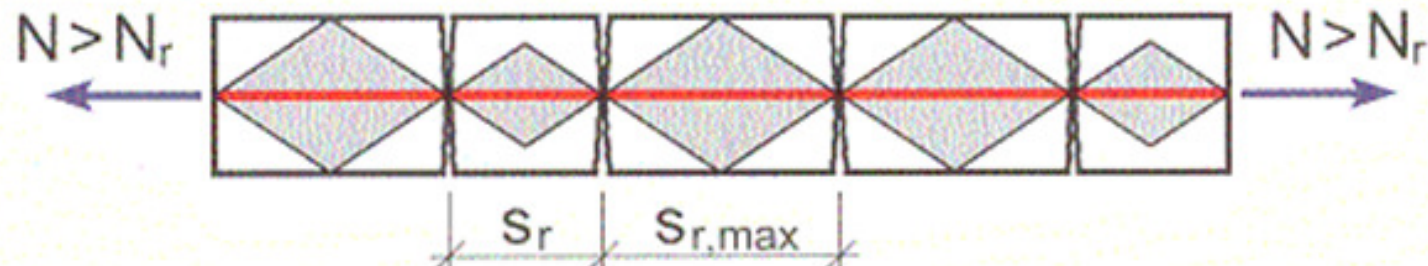
MSP - šířka trhlin



(a) před vytvořením prvních trhlin



(b) po vytvoření první trhliny

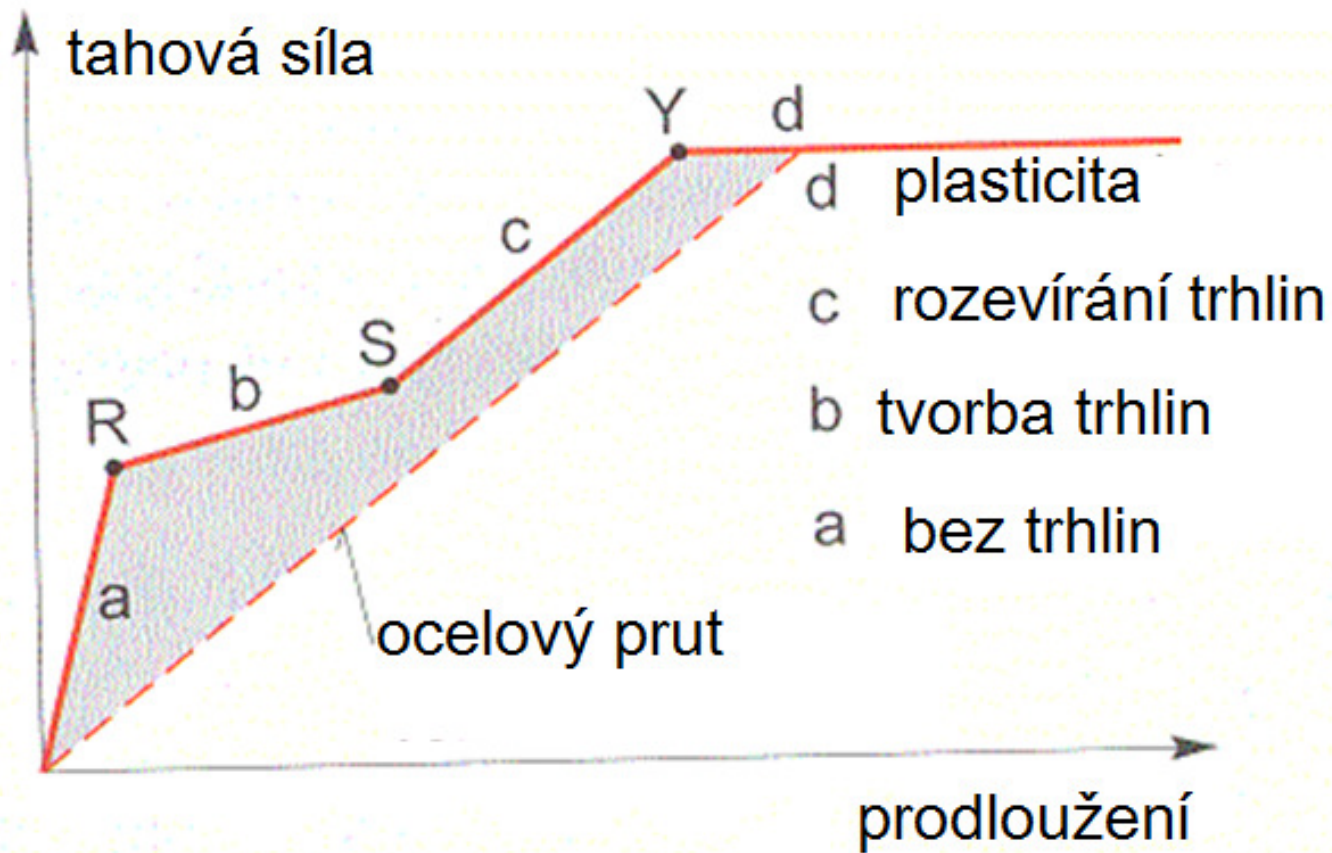


(c) po vytvoření všech trhlin - stabilizace trhlin

MSP - šířka trhlin

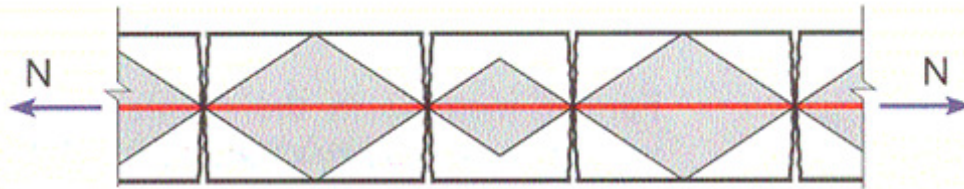
Vytváření trhlin

Idealizovaná odezva dostředně taženého symetricky vyztuženého betonového prvku a ocelového prutu

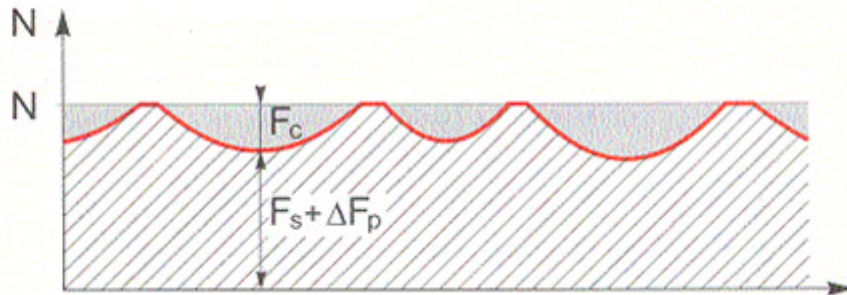


MSP - šířka trhlin

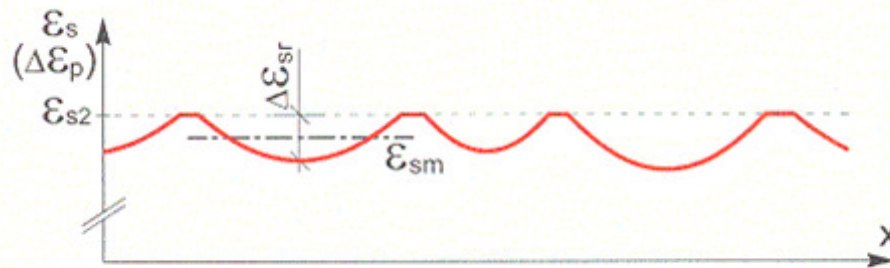
Rozdělení přetvoření v betonu a ve výztuži



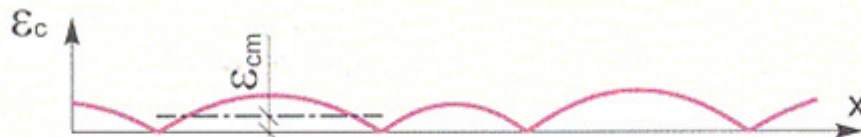
(a) předpjatý dostředně tažený prvek



(b) přenos zatížení



(c) | rozdělení přetvoření ve výztuži

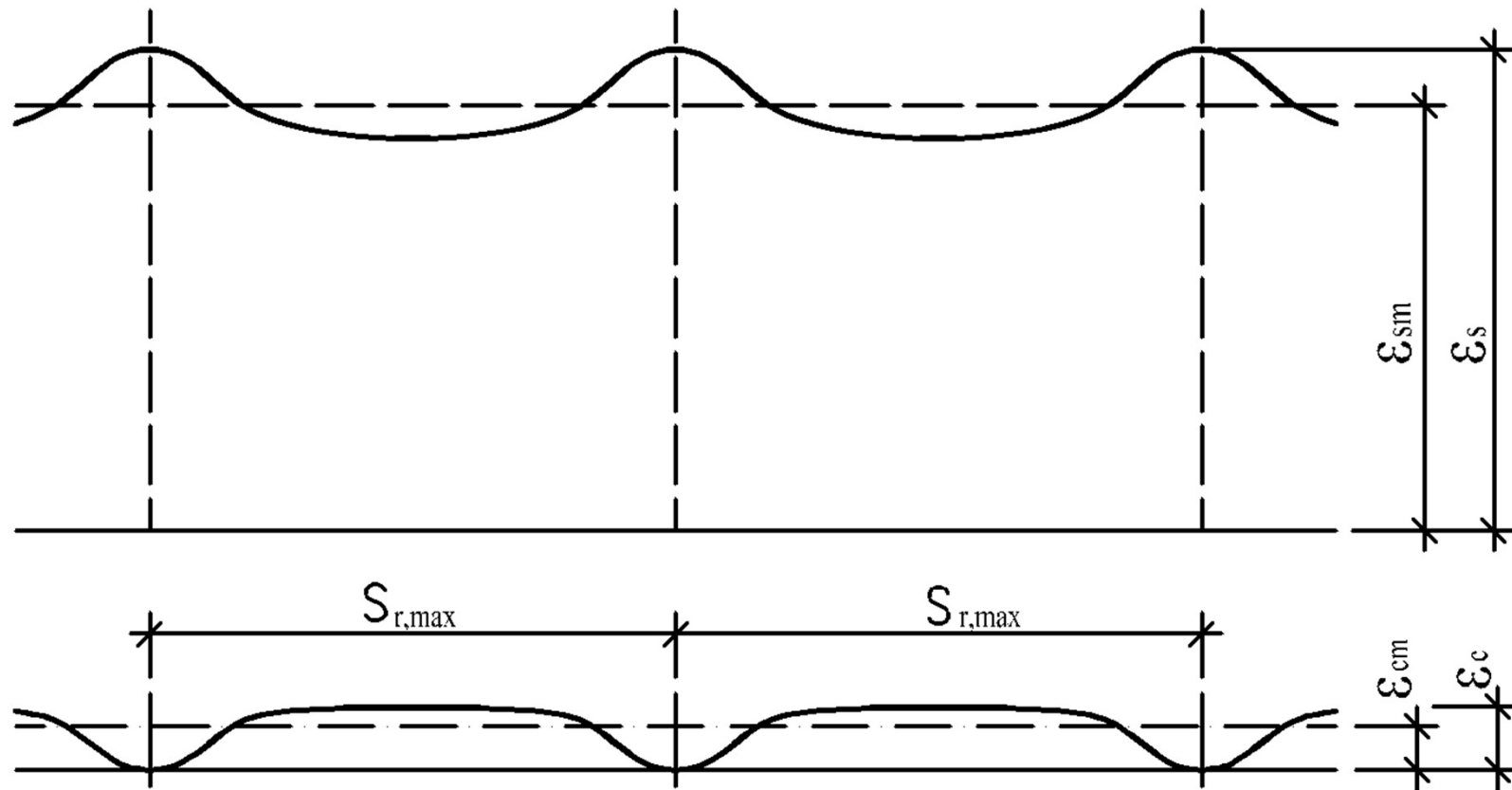


(d) | rozdělené přetvoření v betonu

$$w = \int_{S_s} (\epsilon_{sx} - \epsilon_{cx}) dx$$

MSP - šířka trhlin

EN 1992-1-1



$$w_k = S_{r,max} (\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm})$$

MSP - šířka trhlin

$$w_k = s_{r,max}(\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm})$$

$s_{r,max}$... maximální vzdálenost trhlin

ε_{sm} ... průměrná hodnota poměrného přetvoření výztuže při příslušné kombinaci zatížení od nulového přetvoření betonu

ε_{cm} ... průměrná hodnota poměrného přetvoření betonu mezi trhlinami

$$s_{r,max} = k_3 c + k_1 k_2 k_4 \phi / \rho_{p,eff}$$

c ... krycí vrstva podélné výztuže

ϕ ... průměr prutu

$$\rho_{p,eff} = (A_s + \xi_1^2 A'_p) / A_{c,eff}$$

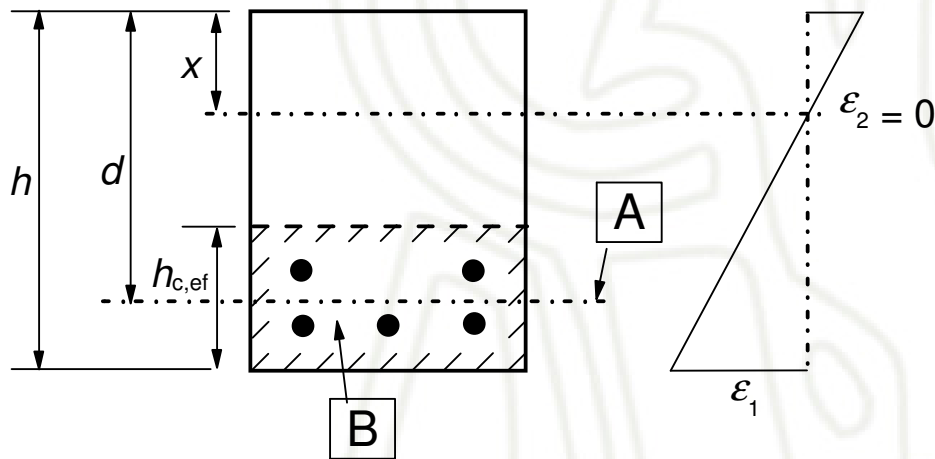
$$\xi_1 = \sqrt{\xi / \phi_p}; \text{ pouze předpínací výztuž } \xi_1 = \sqrt{\xi}$$

$\xi_1; \xi; \phi_s; \phi_p$... viz minimální průřezová plocha výztuže

A'_p ... plocha předpínací výztuže v ploše $A_{c,eff}$

$A_{c,eff}$... účinná plocha taženého betonu obklopujícího betonářskou nebo předpínací výztuž ve výšce $h_{c,ef}$

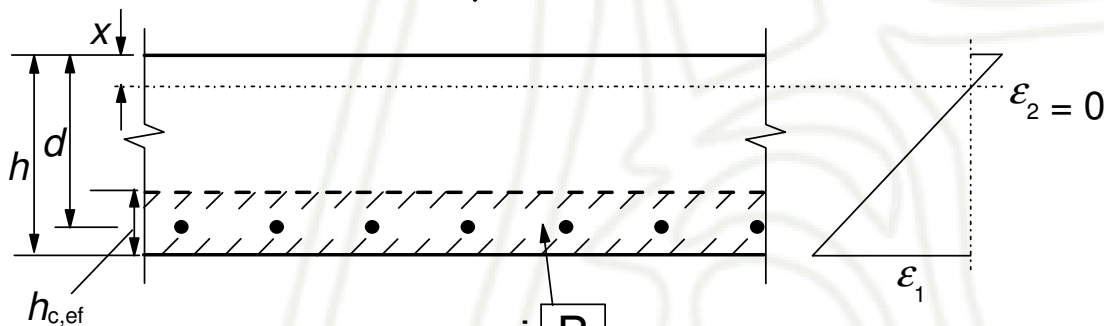
$$h_{c,ef} = \min\left(2,5(h - d); \frac{h - x}{3}; \frac{h}{2}\right)$$



a) Nosník

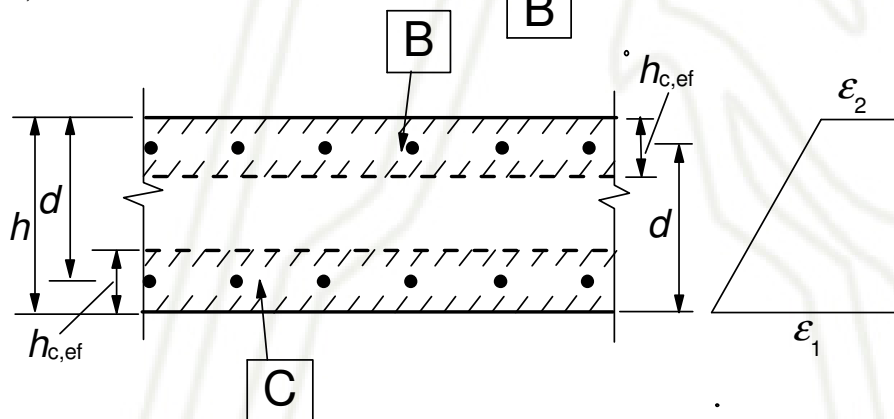
A - úroveň těžiště výztuže

B - účinná tažená plocha, $A_{c,eff}$



b) Deska

B - účinná tažená plocha, $A_{c,eff}$



c) Tažený prvek

B - účinná tažená plocha pro horní povrch, $A_{ct,eff}$

C - účinná tažená plocha pro dolní povrch, $A_{cb,eff}$

MSP - šířka trhlin

k_1 ... součinitel zohledňující vlastnosti soudržné výztuže
= 0,8 pro pruty s velkou soudržností
= 1,6 pro pruty s hladkým povrchem (např. předpínací vložky)

k_2 ... součinitel zohledňující rozdělení poměrného přetvoření
= 0,5 pro ohyb
= 1,0 pro prostý tah

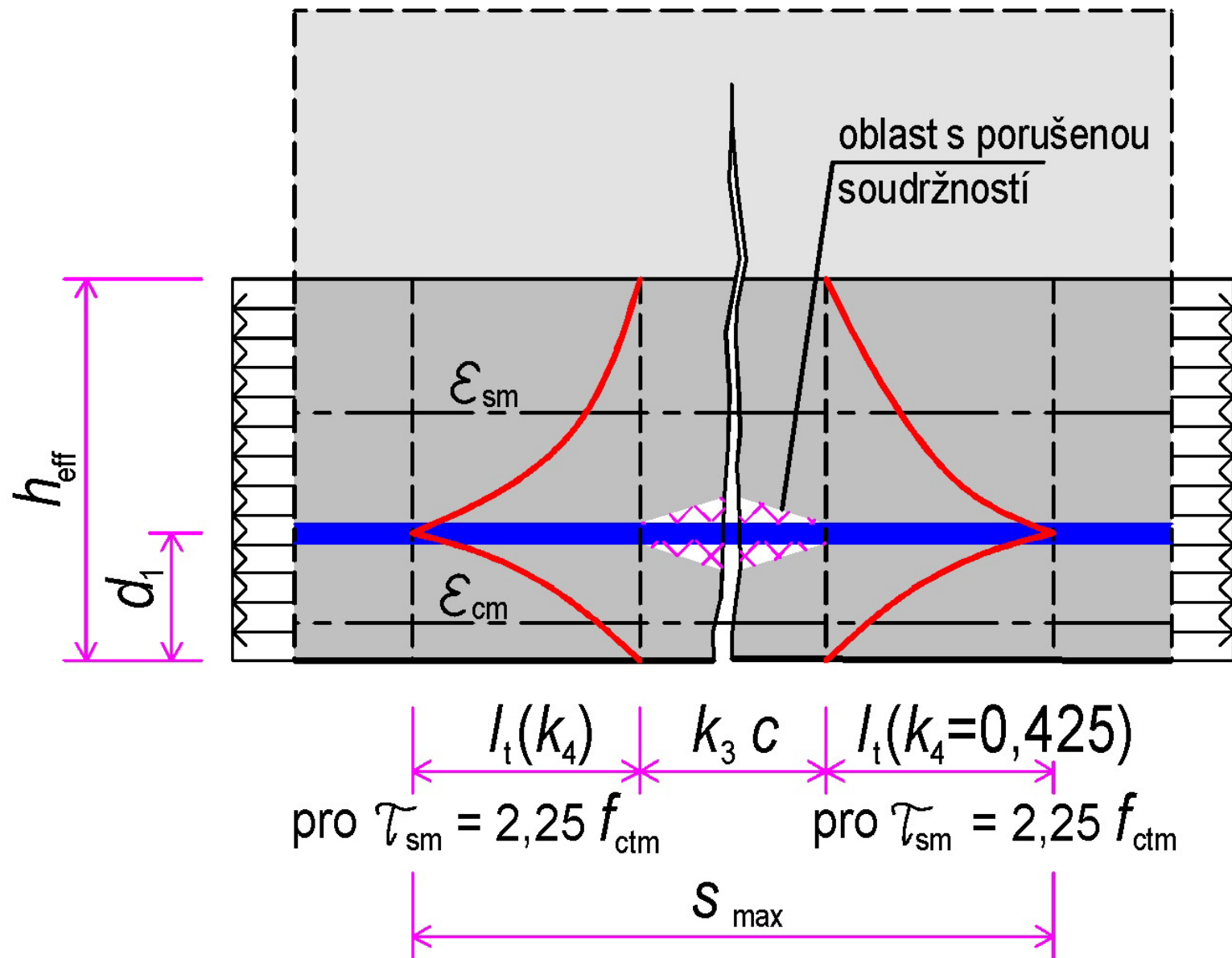
Pro případ mimostředného tahu nebo místní oblasti se mají použít mezilehlé hodnoty k_2 , které se stanoví podle následujícího vztahu:

$$k_2 = (\varepsilon_1 + \varepsilon_2) / (2\varepsilon_1)$$

ε_1 ... větší tahové poměrné přetvoření na okrajích vyšetřovaného průřezu (stanovené v průřezu, který je celý oslaben trhlinou)

ε_2 ... menší tahové poměrné přetvoření na okrajích vyšetřovaného průřezu (stanovené v průřezu, který je celý oslaben trhlinou)

Význam součinitelů k_3 a k_4



MSP - šířka trhlin

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = \left(\sigma_s - k_t \frac{f_{ct,eff}}{\rho_{p,eff}} (1 + \alpha_e \rho_{p,eff}) \right) \frac{1}{E_s} \geq 0,6 \frac{\sigma_s}{E_s}$$

σ_s ... napětí v tahové výztuži stanovené v průřezu porušeném trhlinou

Pro předem předepnuté prvky může být σ_p nahrazeno změnou napětí $\Delta\sigma_p$ v předpínací výztuži od stavu nulového poměrného přetvoření betonu ve stejné úrovni

$\rho_{p,eff}$... účinný poměr vyztužení

$$\rho_{p,eff} = A'_p / A_{c,eff}$$

A'_p ... plocha předpínací výztuže ležící v ploše $A_{c,eff}$

$A_{c,eff}$... účinná plocha taženého betonu

k_t ... součinitel závisící na době trvání zatížení

$k_t = 0,6$ pro krátkodobé zatížení

$k_t = 0,4$ pro dlouhodobé zatížení

MSP - šířka trhlin

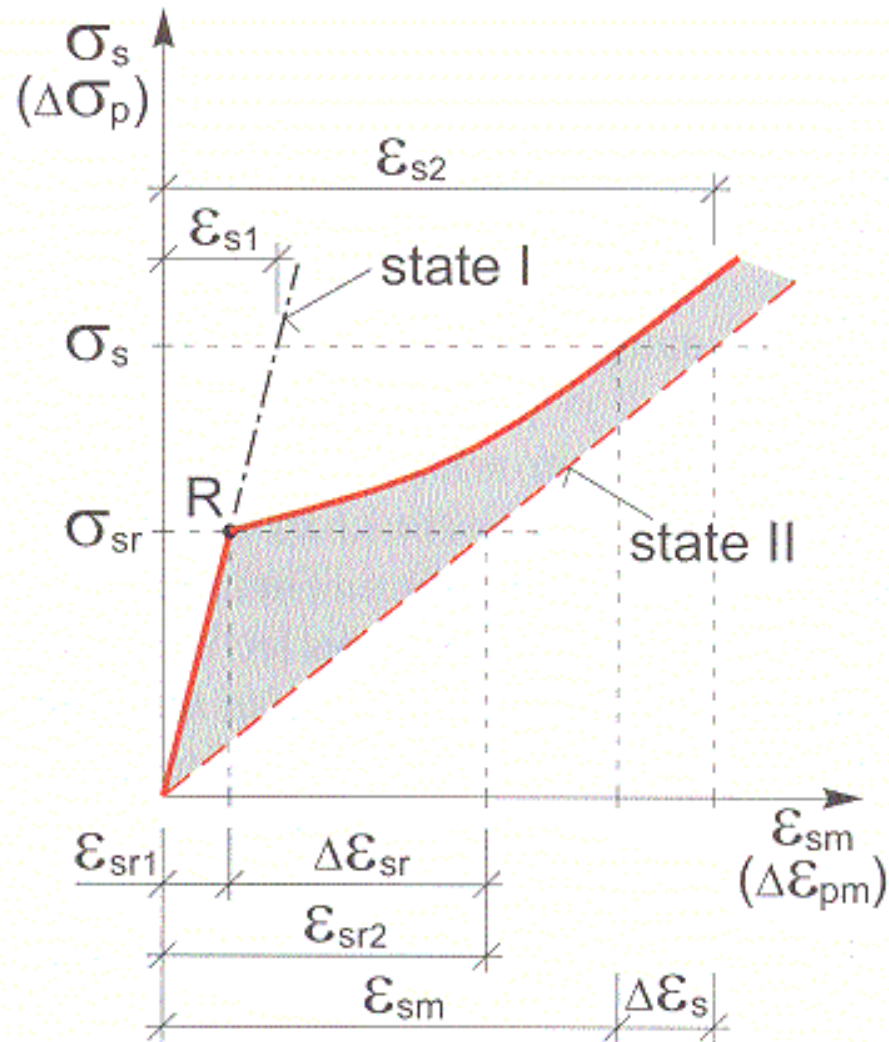
$$w_k = s_{r,max} (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm})$$

$$s_{r,max} = k_3 c + k_1 k_2 k_4 \phi / \rho_{p,eff}$$

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = \left(\sigma_s - k_t \frac{f_{ct,eff}}{\rho_{p,eff}} (1 + \alpha_e \rho_{p,eff}) \right) \frac{1}{E_s} \geq 0,6 \frac{\sigma_s}{E_s}$$

MSP - přetvoření

Zjednodušený pracovní diagram zabudované výztuže



MSP - přetvoření

Chování prvků u nichž se očekávají trhliny, ale nedojde k jejich plnému rozvoji, odpovídá mezilehlému stavu mezi stavem bez trhlin a stavem s plně rozvinutými trhlinami.

Pro převážně ohýbané prvky lze odpovídající předpoklad chování vyjádřit deformačním parametrem

$$\alpha = \zeta \alpha_{II} + (1 - \zeta) \alpha_I$$

α ... uvažovaná veličina (poměrné přetvoření, křivost, pootočení, popř. průhyb)

α_I, α_{II} ... hodnoty parametru stanoveného pro stav bez trhlin a s plně rozvinutými trhlinami

ζ ... rozdělovací součinitel, který zohledňuje tahové zpevnění, daný vztahem

$$\zeta = 1 - \beta \left(\frac{\sigma_{sr}}{\sigma_s} \right)^2$$

$\zeta = 0$ pro průřezy bez trhlin

MSP - přetvoření

β ... součinitel zohledňující dobu trvání nebo opakování zatížení na průměrnou hodnotu poměrného přetvoření

= 1,0 pro jednorázové krátkodobě působící zatížení

= 0,5 pro dlouhodobé nebo mnohokrát opakované zatížení

σ_s ... napětí v tahové výztuži vypočtené pro průřez s trhlinami

σ_{sr} ... napětí v tahové výztuži vypočtené pro průřez s trhlinami při zatížení způsobujícím vznik prvních trhlin

Poznámka:

σ_s / σ_{sr} může být nahrazeno poměrem M_{cr} / M při prostém ohybu, resp. poměrem N_{cr} / N při prostém tahu

M_{cr} ... moment na mezi vzniku trhlin

N_{cr} ... normálová síla na mezi vzniku trhlin

MSP - přetvoření

Pro dlouhodobé zatížení vyvolující dotvarování lze stanovit celkové přetvoření včetně dotvarování při použití efektivního modulu pružnosti betonu

$$E_{c,eff} = \frac{E_{cm}}{1 + \varphi(\infty, t_0)}$$

$\varphi(\infty; t_0)$... součinitel dotvarování pro příslušné zatížení a časový interval

Křivost od dotvarování může být stanovena podle vztahu

$$\frac{1}{r_{cs}} = \varepsilon_{cs} \alpha_e \frac{S}{I}$$

$1/r_{cs}$... křivost od smršťování

ε_{cs} ... poměrné přetvoření od celkového smršťování

S ... statický moment průřezové plochy k těžišti průřezu

I ... moment setrvačnosti průřezu

α_e ... účinný poměr modulů pružnosti



Děkuji za pozornost!

Seznam použitých zdrojů

Procházka j, a kol.: Navrhování betonových konstrukcí podle norem ČSN EN 1992 (Eurokódu 2), ČBS Praha, 2010

Navrátil, J.: Předpjaté betonové konstrukce - Akademické nakladatelství CERM. S.r.o., 2004

Procházka J,: Betonové konstrukce. Předpjatý beton. Konstrukce pozemních a inženýrských staveb - Ediční středisko ČVUT Praha, 1990

Bilčík, J., Fillo, L.; Benko Vl., Halvonik, J.; Navrhování betonových konstrukcí podle Eurokódu 2, Vydavatelstvo STU v Bratislavě, 2008

© Jaroslav Procházka, Radek Štefan 2015

Poslední úprava: 22. 11. 2015

Připomínky a návrhy na vylepšení prezentace zasílejte prosím na adresu radek.stefan@fsv.cvut.cz

Upozornění:

Materiál slouží pouze pro studijní a výukové účely v rámci předmětů vyučovaných na Fakultě stavební ČVUT v Praze!