

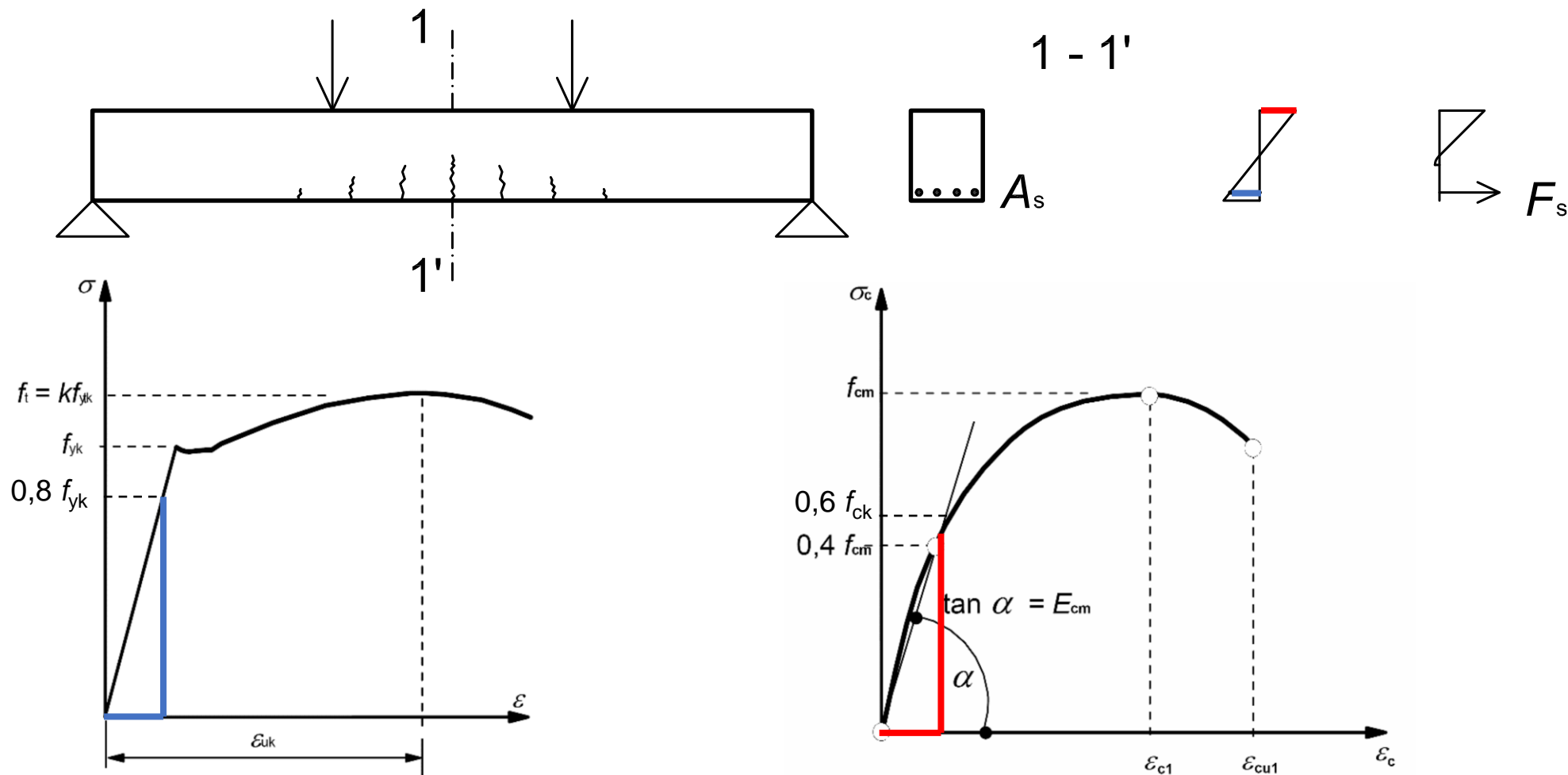
Mezní stav použitelnosti

MSÚ vs MSP

Mezní stavy únosnosti	Mezní stavy použitelnosti
<i>Týkají bezpečnosti osob a bezpečnosti konstrukce</i>	Týkají se funkce konstrukce nebo nosných prvků za běžného užívání
<i>Po dalším zvětšení zatížení se uvažuje zřícení konstrukce</i>	Po překročení kritérií mezních stavů použitelnosti v žádném případě nedochází ke kolapsu konstrukce; může dojít ke snížení její trvanlivosti a použitelnosti.
<i>Uvažují se dílčí součinitele vlastností materiálů $\gamma_M > 1$</i>	Dílčí součinitele vlastností materiálů se uvažují $\gamma_M = 1$
<i>Uvažují se dílčí součinitele zatížení $\gamma_F > 1$</i>	Dílčí součinitele zatížení γ_F se neuvažují.
<i>Uvažuje se plastické chování konstrukčních materiálů</i>	Uvažuje se elastické chování konstrukčních materiálů

Mezní stav použitelnosti

MSP - 3 rozvoj trhlin



Mezní stav použitelnosti

- **MSP**

- Omezení napětí
- Omezení šířky trhlin
- Omezení deformace
- Omezení kmitání



Mezní stav použitelnosti

- **MSP**

Charakteristická kombinace

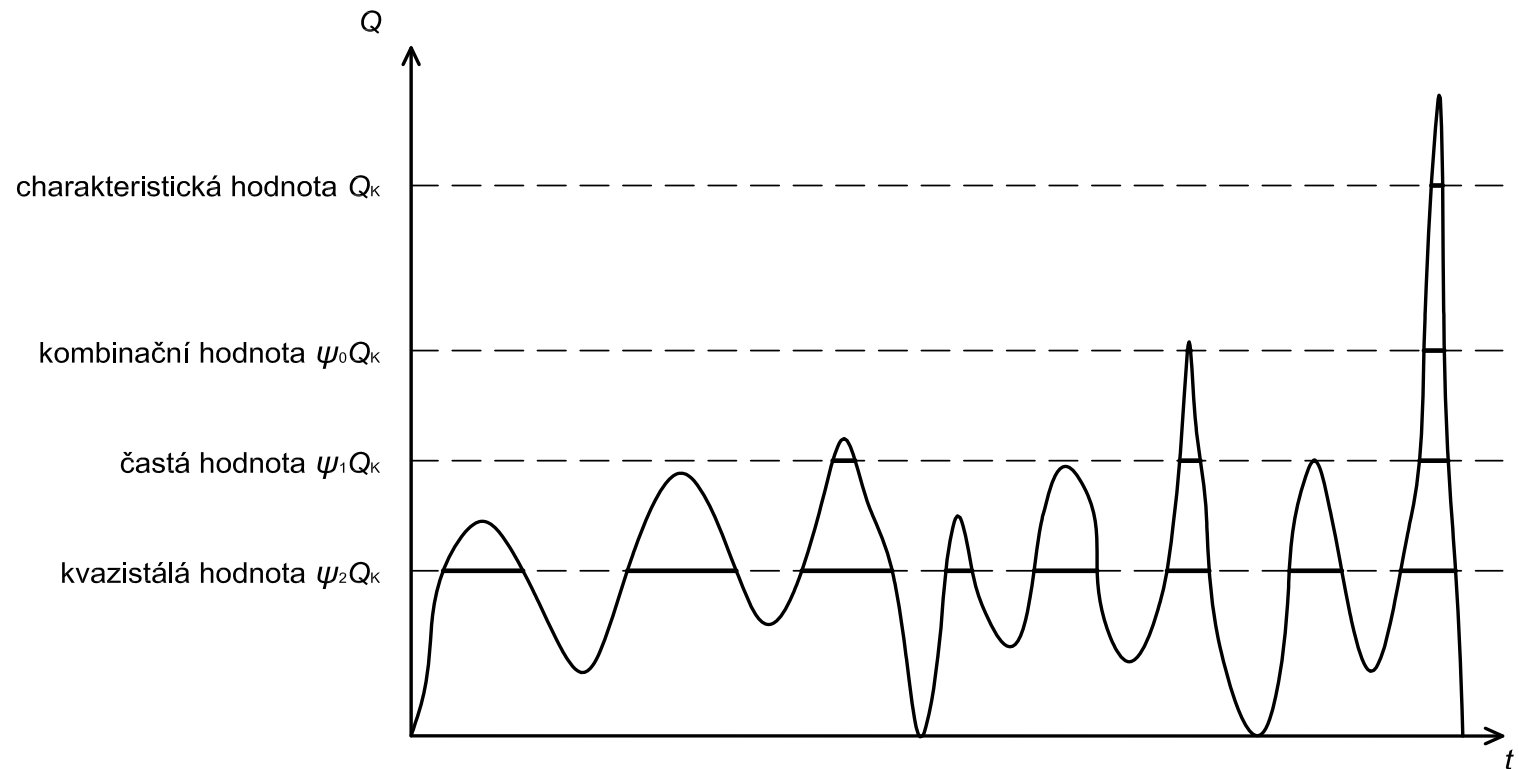
*charakteristická hodnota
(1x za 50 let)*

Častá kombinace

*častá hodnota
(1x za týden)*

Kvazistálá kombinace

*kvazistálá hodnota
(50% návrhové životnosti)*



Stupně vlivu prostředí

Označení stupně	Popis prostředí	Informativní příklady výskytu stupně prostředí
1 Bez nebezpečí koroze nebo napadení		
X0	pro beton bez výztuže nebo zabudovaných kovových vložek: <i>všechny vlivy s výjimkou střídavého působení mrazu a rozmrazování, obrusu nebo chemicky agresivního prostředí</i>	<i>beton uvnitř budov s velmi nízkou vlhkostí vzduchu</i>
	pro beton s výztuží nebo zabudovanými kovovými vložkami: <i>velmi suché</i>	

Stupně vlivu prostředí

Označení stupně	Popis prostředí	Informativní příklady výskytu stupně prostředí
2 Koroze vyvolaná karbonatací		
<i>beton obsahující výztuž nebo jiné zabudované kovové vložky vystaven ovzduší a vlhkosti</i>		
XC1	suché nebo stále mokré	beton uvnitř budov s nízkou vlhkostí vzduchu; beton trvale ponořený ve vodě
XC2	mokré, občas suché	povrchy betonů vystavených dlouhodobému působení vody; většina základů
XC3	středně vlhké	beton uvnitř budov se střední nebo velkou vlhkostí vzduchu; venkovní beton chráněný proti dešti
XC4	střídavě mokré a suché	povrchy betonů ve styku s vodou, které nejsou zahrnuty ve stupni vlivu prostředí XC2

Stupně vlivu prostředí

Označení stupně	Popis prostředí	Informativní příklady výskytu stupně prostředí
3 Koroze vyvolaná chloridy		
<i>beton obsahující výztuž nebo jiné zabudované kovové vložky ve styku s vodou obsahující chloridy, včetně rozmrazovacích solí, ze zdrojů jiných než z mořské vody</i>		
XD1	středně vlhké	povrchy betonů vystavených chloridům rozptýleným ve vzduchu
XD2	mokrý, občas suchý	plavecké bazény; betonové prvky vystavené působení průmyslových vod obsahujících chloridy
XD3	střídavě mokrý a suchý	části mostů vystavených postřikům obsahujícím chloridy; vozovky; betonové povrchy parkovišť

Stupně vlivu prostředí

Označení stupně	Popis prostředí	Informativní příklady výskytu stupně prostředí
4 Koroze vyvolaná chloridy z mořské vody		
<i>beton obsahující výztuž nebo jiné zabudované kovové vložky ve styku s chloridy z mořské vody nebo slaným vzduchem z mořské vody</i>		
XS1	vystavení slanému vzduchu, ale ne v přímém styku s mořskou vodou	konstrukce blízko mořského pobřeží nebo na pobřeží
XS2	trvalé ponoření do vody	části námořních konstrukcí
XS3	omývání a ostřikování přílivem	části námořních konstrukcí



Stupně vlivu prostředí

Označení stupně	Popis prostředí	Informativní příklady výskytu stupně prostředí
5 Působení mrazu a rozmrazování		
<i>mokrý beton vystavený významnému působení střídavého mrazu a rozmrazování</i>		
XF1	středně nasycené vodou bez rozmrazovacích prostředků	svislé betonové povrchy vystavené dešti a mrazu
XF2	středně nasycené vodou s rozmrazovacími prostředky	svislé betonové povrchy konstrukcí pozemních komunikací vystavené mrazu a rozmrazovacím prostředkům rozptýleným ve vzduchu
XF3	značně nasycené vodou bez rozmrazovacích prostředků	vodorovné betonové povrchy vystavené dešti a mrazu
XF4	značně nasycené vodou s rozmrazovacími prostředky nebo mořskou vodou	vozovky a mostovky vystavené rozmrazovacím prostředkům; betonové povrchy vystavené přímému ostříku rozmrazovacími prostředky nebo mrazu; omývané části námořních konstrukcí vystavených mrazu

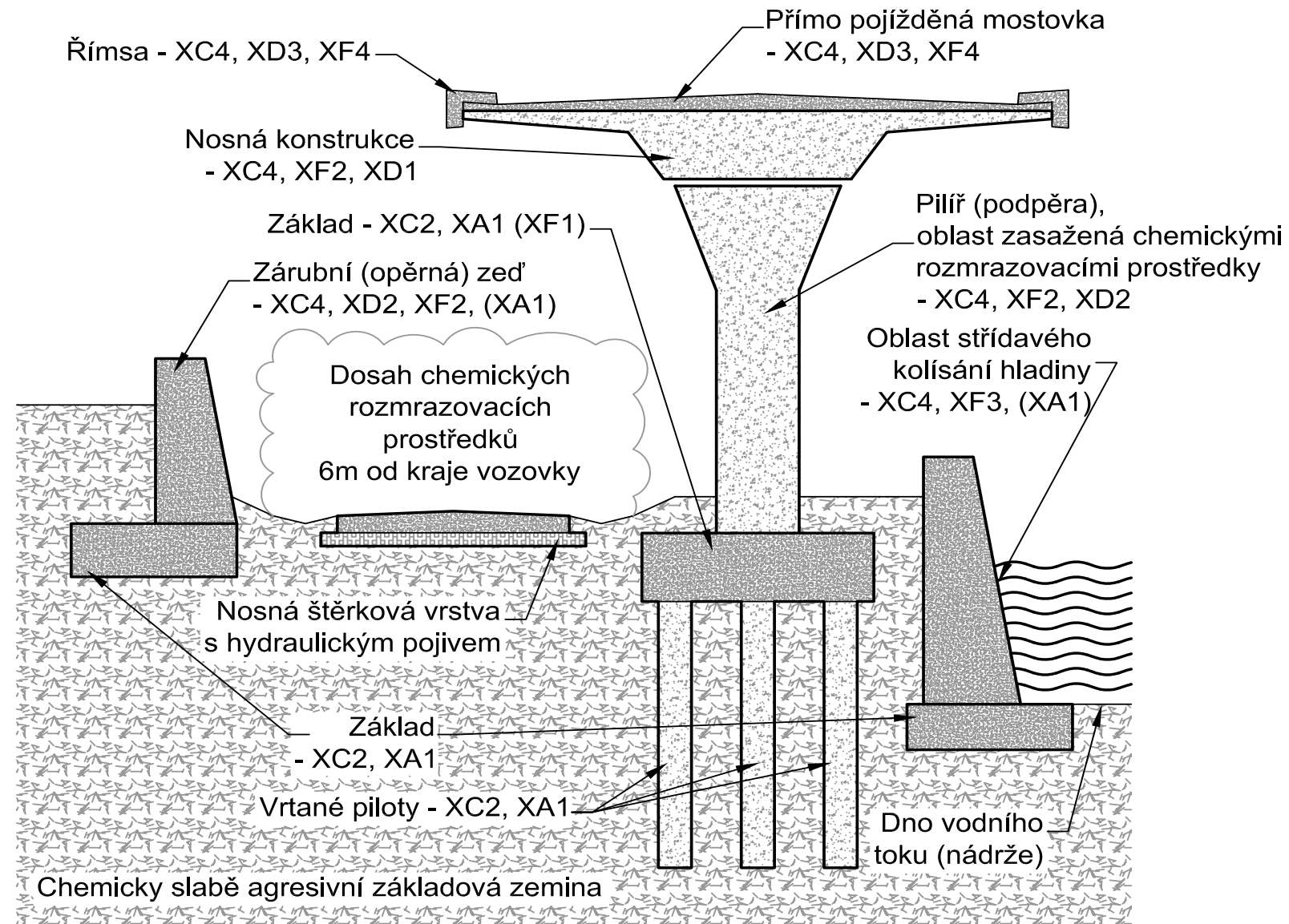
Stupně vlivu prostředí

Označení stupně	Popis prostředí	Informativní příklady výskytu stupně prostředí
6 Chemická koroze		
<i>beton vystaven chemickému působení rostlé zeminy a podzemní vody</i>		
XA1	slabě agresivní chemické prostředí	přírodní zemina s podzemní vodou
XA2	středně agresivní chemické prostředí	přírodní zemina s podzemní vodou
XA3	vysoce agresivní chemické prostředí	přírodní zemina s podzemní vodou



Stupně vlivu prostředí

- **XC – karbonatace**
vliv vlhkosti
- **XD – chloridy**
vliv vlhkosti
- **XF – mráz**
- **XA – chemická koroze**
podzemní voda



Krycí vrstva betonu

- dle ČSN EN 1992-1-1
 - vzdálenost mezi povrchem výztuže a povrchem betonu

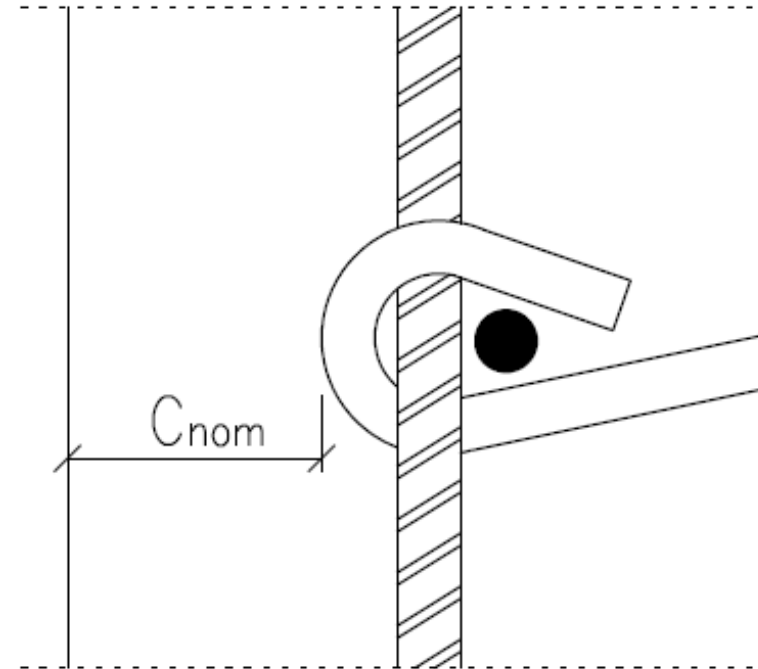
$$c_{\text{nom}} = c_{\text{min}} + \Delta c_{\text{dev}}$$

Δc_{dev} 10 mm pro monolitické konstrukce

0-5 mm pro prefabrikáty

c_{min}

$$c_{\text{min}} = \max \{ c_{\text{min},b}; c_{\text{min},\text{dur}} + \Delta c_{\text{dur},\gamma} - \Delta c_{\text{dur},\text{st}} - \Delta c_{\text{dur},\text{add}}; 10 \text{ mm} \}$$



Krycí vrstva betonu

- dle ČSN EN 1992-1-1
 - vzdálenost mezi povrchem výztuže a povrchem betonu

$$c_{\text{nom}} = c_{\text{min}} + \Delta c_{\text{dev}}$$

$$c_{\text{min}} = \max \{c_{\text{min},b}; c_{\text{min},\text{dur}} + \Delta c_{\text{dur},\gamma} - \Delta c_{\text{dur},\text{st}} - \Delta c_{\text{dur},\text{add}}; 10 \text{ mm}\}$$

$c_{\text{min},b}$ minimální krycí vrstva z hlediska soudržnosti;

$c_{\text{min},\text{dur}}$ minimální krycí vrstva z hlediska podmínek prostředí;

$\Delta c_{\text{dur},\gamma}$ přídavná hodnota z hlediska spolehlivosti prvku;

$\Delta c_{\text{dur},\text{st}}$ redukce minimální krycí vrstvy při použití nerezové oceli;

$\Delta c_{\text{dur},\text{add}}$ redukce minimální krycí vrstvy při použití přídavné ochrany.



Krycí vrstva betonu

- dle ČSN EN 1992-1-1

$c_{\min,b}$ minimální krycí vrstva z hlediska soudržnosti

Požadavky na soudržnost	
Uspořádání prutů	Minimální krycí vrstva $c_{\min,b}$ *)
oddělené	průměr prutu
svazky	náhradní průměr (ϕ_h)(viz 8.9.1)
*) Pokud je jmenovitý maximální rozměr kameniva větší než 32 mm, $c_{\min,b}$ se má zvýšit o 5 mm.	



Krycí vrstva betonu

- dle ČSN EN 1992-1-1

$c_{\min,b}$ minimální krycí vrstva z hlediska soudržnosti

Dodatečně předpínaná soudržná předpínací výztuž:

- průměr kruhového předpínacího kanálku
- větší z menšího rozměru či polovina většího rozměru pro obdélníkové kanálky

neuvažuje se hodnota vyšší než 80mm jak pro kruhové i obdélníkové kanálky



Krycí vrstva betonu

- dle ČSN EN 1992-1-1

$c_{\min,b}$ minimální krycí vrstva z hlediska soudržnosti

Předem napínaná předpínací výztuž:

- 1,5 násobek průměru lana nebo hladkého drátu
- 2,5 násobek průměru drátu s vtisky

neuvažuje se hodnota vyšší než 80mm jak pro kruhové i obdélníkové kanálky



Krycí vrstva betonu

- dle ČSN EN 1992-1-1

 $C_{\min, \text{dur}}$

minimální krycí vrstva z hlediska podmínek prostředí

	Stupně vlivu prostředí podle tabulky 4.1							
Koroze								
	koroze vyvolaná karbonatací				koroze vyvolaná chloridy			
	XC1	XC2	XC3	XC4	XD1	XD2	XD3	
minimální indikativní pevnostní třída	C16/20	C20/25	C25/30	C30/37	C30/37	C30/37	C35/45	
Poškození betonu								
	bez rizika	střídavé působení mrazu a rozmrzávání			chemické napadení			
	X0	XF1	XF2	XF3	XF4	XA1	XA2	XA3
minimální indikativní pevnostní třída	C12/15	C25/30	C25/30 ¹⁾	C25/30 ¹⁾	C30/37 ¹⁾	C25/30	C30/37	C35/45
¹⁾ beton musí být provzdušněn (provzdušnění min. 4 %), lze použít též neprovzdušněný beton o 1 třídu vyšší								

Krycí vrstva betonu

- dle ČSN EN 1992-1-1

$c_{\min, \text{dur}}$ minimální krycí vrstva z hlediska podmínek prostředí

klasifikace dle tříd konstrukce

základní třída	S4	(návrhová životnost 50 let)
minimální třída	S1	
maximální třída	S6	



Krycí vrstva betonu

- dle ČSN EN 1992-1-1

$C_{min,dur}$

minimální krycí vrstva z hlediska podmínek prostředí

S4 => S6

Kritérium	Třída konstrukce							
	Stupeň vlivu prostředí podle tabulky 4.1							
	X0	XC1	XC2	XC3	XC4	XD1	XD2	XD3
návrhová životnost 80 let	zvětšit třídu o 1	zvětšit třídu o 1	zvětšit třídu o 1	zvětšit třídu o 1	zvětšit třídu o 1	zvětšit třídu o 1	zvětšit třídu o 1	zvětšit třídu o 1
návrhová životnost 100 let	zvětšit třídu o 2	zvětšit třídu o 2	zvětšit třídu o 2	zvětšit třídu o 2	zvětšit třídu o 2	zvětšit třídu o 2	zvětšit třídu o 2	zvětšit třídu o 2
pevnostní třída ¹⁾	≥ C20/25 zmenšit třídu o 1	≥ C25/30 zmenšit třídu o 1	≥ C30/37 zmenšit třídu o 1	≥ C35/45 zmenšit třídu o 1	≥ C40/50 zmenšit třídu o 1	≥ C40/50 zmenšit třídu o 1	≥ C40/50 zmenšit třídu o 1	≥ C45/55 zmenšit třídu o 1
deskové konstrukce (poloha výztuže není ovlivněna výrobním postupem)	zmenšit třídu o 1	zmenšit třídu o 1	zmenšit třídu o 1	zmenšit třídu o 1	zmenšit třídu o 1	zmenšit třídu o 1	zmenšit třídu o 1	zmenšit třídu o 1
zajištěna zvláštní kontrola kvality výroby betonu	zmenšit třídu o 1	zmenšit třídu o 1	zmenšit třídu o 1	zmenšit třídu o 1	zmenšit třídu o 1	zmenšit třídu o 1	zmenšit třídu o 1	zmenšit třídu o 1

Krycí vrstva betonu

- dle ČSN EN 1992-1-1

$c_{\min, \text{dur}}$ minimální krycí vrstva z hlediska podmínek prostředí
betonářská výztuž

Požadavek prostředí pro $c_{\min, \text{dur}}$ (mm)							
Třída konstrukce	Stupeň vlivu prostředí podle tabulky 4.1						
	X0	XC1	XC2/XC3	XC4	XD1 / XS1	XD2/XS2	XD3/XS3
S1	10	10	10	15	20	25	30
S2	10	10	15	20	25	30	35
S3	10	10	20	25	30	35	40
S4	10	15	25	30	35	40	45
S5	15	20	30	35	40	45	50
S6	20	25	35	40	45	50	55

Krycí vrstva betonu

- dle ČSN EN 1992-1-1

$c_{\min, \text{dur}}$ minimální krycí vrstva z hlediska podmínek prostředí
předpínací výztuž výztuž

Požadavek prostředí pro $c_{\min, \text{dur}}$ (mm)							
Třída konstrukce	Stupeň vlivu prostředí podle tabulky 4.1						
	X0	XC1	XC2/XC3	XC4	XD1 / XS1	XD2/XS2	XD3/XS3
S1	10	15	20	25	30	35	40
S2	10	15	25	30	35	40	45
S3	10	20	30	35	40	45	50
S4	10	25	35	40	45	50	55
S5	15	30	40	45	50	55	60
S6	20	35	45	50	55	60	65

Mezní stav použitelnosti

- **MSP** (ČSN EN 1992-1-1)
 - Omezení napětí (kap 7.2)
 - Omezení šířky trhlin (kap 7.3)
 - Omezení průhybů (kap 7.4)
 - Omezení kmitání



Mezní stav použitelnosti

- **MSP** (ČSN EN 1992-1-1)

- Omezení napětí

(kap 7.2)

- Ověření vzniku podélných trhlin

- **charakteristická** kombinace

- $\sigma_c < 0,6 f_{ck}$

- Ověření lineárního dotvarování

- **kvazistálá** kombinace

- $\sigma_c < 0,45 f_{ck}$

- Omezení napětí v tažené výztuži

- **charakteristická** kombinace

- $\sigma_s < 0,8 f_{yk}$

- $\sigma_p < 0,75 f_{pk}$



Mezní stav použitelnosti

• MSP (ČSN EN 1992-1-1)

- Omezení napětí (kap 7.2)
- výpočet napětí v ŽB průřezu

• ideální průřez

převedení nehomogenního materiálu na homogenní (beton)

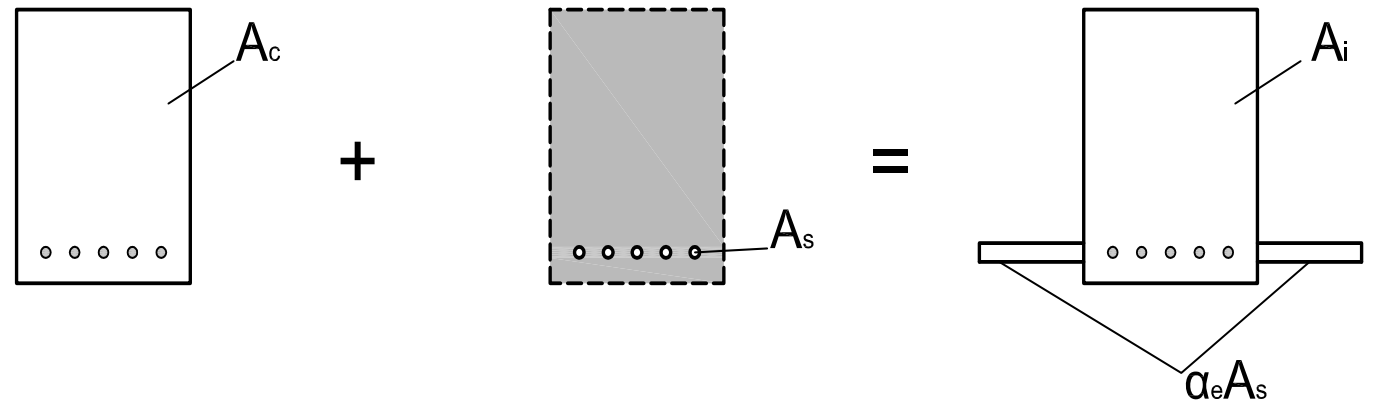
- přetvoření betonu i oceli v témže místě je stejné $\varepsilon_c = \varepsilon_s$

$$\bullet \frac{\sigma_c}{E_{cm}} = \frac{\sigma_s}{E_s}$$

$$\bullet \sigma_s = \sigma_c \frac{E_s}{E_{cm}} = \sigma_c \cdot \alpha_e$$

$$\bullet \alpha_e = \frac{E_s}{E_{cm}}$$

$$\bullet A_i = A_c + \alpha_e A_s$$



Mezní stav použitelnosti

• MSP (ČSN EN 1992-1-1)

- Omezení napětí
- výpočet napětí v ŽB průřezu

- **ideální průřez**

průřez bez trhliny

- $F_{cc} = F_{ct} + F_s$

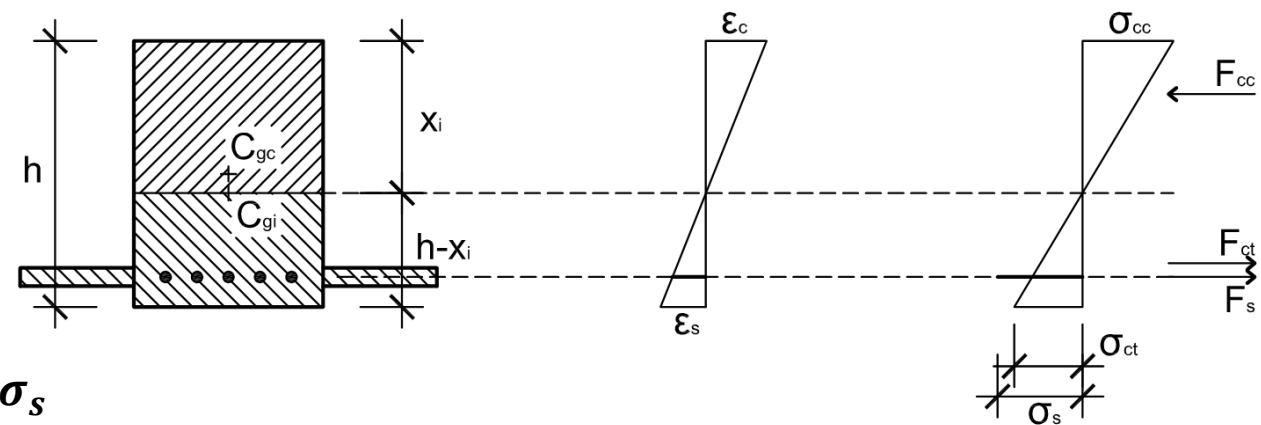
- $\frac{1}{2} b \cdot x_i \cdot \sigma_{cc} = \frac{1}{2} b \cdot (h - x_i) \cdot \sigma_{ct} + A_s \cdot \sigma_s$

- $\sigma_{cc} = \sigma_{ct} \cdot \frac{x_i}{h - x_i}$

- $\sigma_s = \alpha_e \cdot \sigma_{ct} \frac{d - x_i}{h - x_i}$

Stav I

(kap 7.2)



Mezní stav použitelnosti

• MSP (ČSN EN 1992-1-1)

- Omezení napětí
- výpočet napětí v ŽB průřezu

- **ideální průřez**

průřez bez trhliny

- $F_{cc} = F_{ct} + F_s$

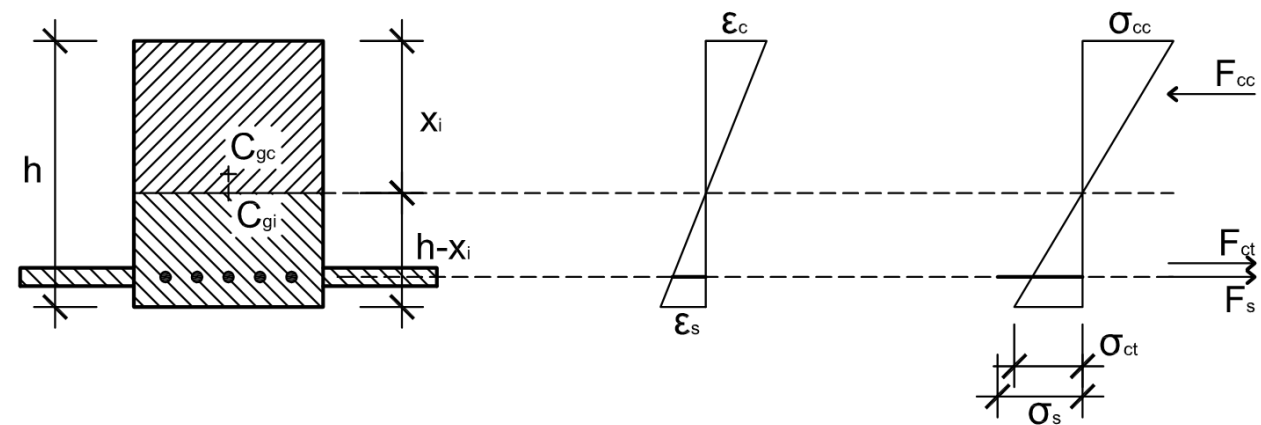
- $x_i = \frac{\frac{1}{2}b \cdot h^2 + (\alpha_e) \cdot A_s \cdot d}{b \cdot h + (\alpha_e) \cdot A_s}$

- $I_{yi} = \frac{1}{12}b \cdot h^3 + b \cdot h \cdot \left(x_i - \frac{h}{2}\right)^2 + (\alpha_e) \cdot A_s (d - x_i)^2$

- $M_{cr} = f_{ctm} \cdot \frac{I_y}{h - x_i}$

Stav I

(kap 7.2)



Mezní stav použitelnosti

• MSP (ČSN EN 1992-1-1)

- Omezení napětí
- výpočet napětí v ŽB průřezu

- **ideální průřez**

průřez s trhlinou

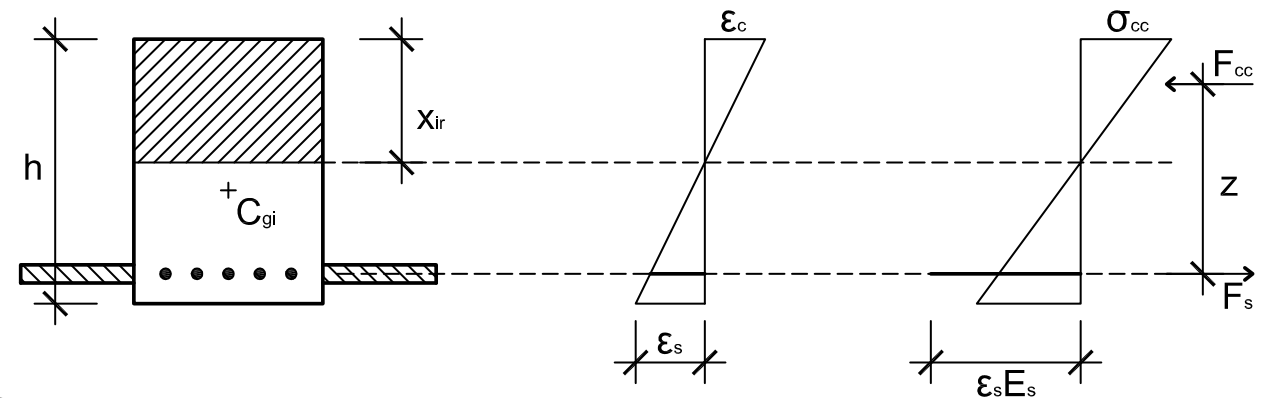
- $F_{cc} = F_s$

- $\frac{1}{2} \cdot b \cdot x_{ir} \cdot \varepsilon_c \cdot E_{c,m} = A_s \cdot \varepsilon_s \cdot E_s$

- $\frac{\varepsilon_s}{\varepsilon_c} = \frac{d - x_{ir}}{x_{ir}}$

Stav II

(kap 7.2)



Mezní stav použitelnosti

• MSP (ČSN EN 1992-1-1)

- Omezení napětí
- výpočet napětí v ŽB průřezu

- **ideální průřez**

průřez s trhlinou

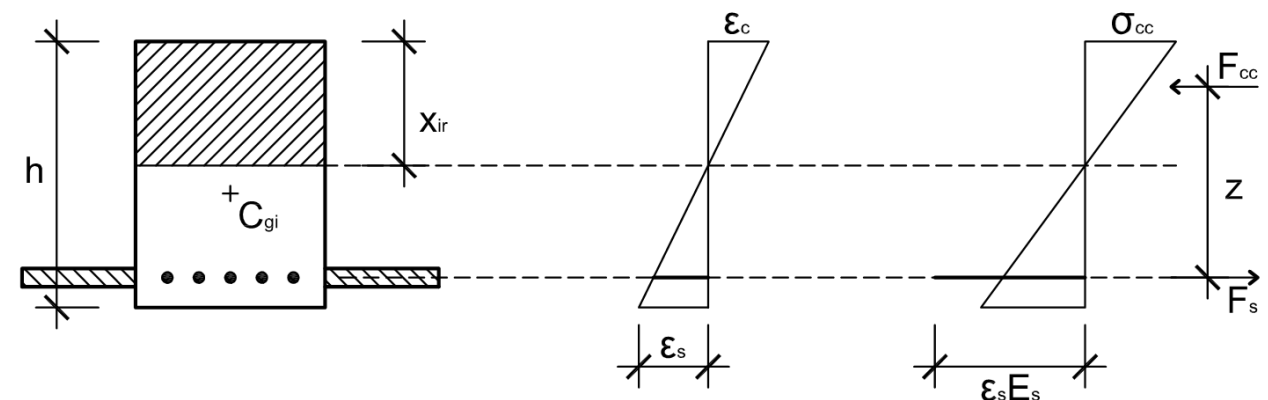
- $F_{cc} = F_s$

- $$x_{ir} = \frac{(\alpha_e) \cdot A_s}{b} \cdot \left(-1 + \sqrt{1 + \frac{2b \cdot d}{(\alpha_e) \cdot A_s}} \right)$$

- $$I_{yir} = \frac{1}{3} \cdot b \cdot x_{ir}^3 + \alpha_e \cdot A_s \cdot (d - x_{ir})^2$$

Stav II

(kap 7.2)



Mezní stav použitelnosti

- **MSP** (ČSN EN 1992-1-1)

- Omezení napětí (kap 7.2)
- výpočet napětí v ŽB průřezu

- **ideální průřez**

napětí

- $\sigma_s = \alpha_e \cdot \frac{M}{I_{yi}} \cdot (d - x_i)$

- $\sigma_{cc} = \frac{M}{I_{yi}} \cdot x_i$

- x_{ir} pro prvky s trhlinou



Mezní stav použitelnosti

- **MSP** (ČSN EN 1992-1-1)
 - Omezení šířky trhlin (kap 7.3)
 - nadměrně rozvinuté a široké trhliny => **koroze** výztuže
 - oslabení výztuže
 - produkty koroze mají větší objem než betonářská výztuž => poškození betonu
 - snížení trvanlivosti



Mezní stav použitelnosti

- **MSP**
 - Omezení šířky trhlin

Stupeň vlivu prostředí	Železobetonové prvky a prvky předpjaté bez soudržné předpínací výztuže (kvazi-stálá kombinace zatížení)	Prvky předpjaté soudržnou výztuží (častá kombinace zatížení)		
		Předem předpjatý beton	Dodatečně předpjatý beton	
			Stupeň protikorozní ochrany předpínací výztuže PL1 až PL3 ^{c)}	Stupeň protikorozní ochrany předpínací výztuže PL1 ^{c)}
X0, XC1	0,4 ^{a)}	0,2	0,2	0,3
XC2, XC3, XC4	0,3	0,1 ^{b)}	0,2 ^{b)}	0,3
XD, XS, XF	0,2	Dekomprese ^{e)}	0,1 ^{b)}	0,2
Stupeň vlivu prostředí	Dělené konstrukce (bez průběžné podélné betonářské výztuže)			
Nerozhoduje	Nulový tah ve spáře: charakteristická kombinace zatížení (viz též ČSN EN 15050)			

a) Pro stupně vlivu prostředí X0, XC1 nemá šířka trhliny vliv na trvanlivost a uvedená hodnota má zajistit přijatelný vzhled. Pokud nejsou kladeny požadavky na vzhled, lze uvedenou hodnotu zvětšit.

b) Pro tyto případy musí být také posouzena dekomprese při kvazi-stálé kombinaci zatížení.

c) Stupně protikorozní ochrany (*Protection Level*) předpínací výztuže – viz tabulka NA.2 a tabulka NA.3.

d) Tato tabulka není určena pro hodnocení existujících (ani nových) konstrukcí.

e) Pro tento případ musí být také posouzena šířka trhlin 0,2 mm pro charakteristickou kombinaci zatížení.

f) Tato tabulka platí pro konstrukce působící v obou směrech jako železobetonové nebo jako předpjaté stejným druhem předpínací výztuže (výztuž se soudržností, výztuž bez soudržnosti). Doporučuje se tabulku použít a uvažovat přísnější požadavky i v případě, kdy je konstrukce navržena v podélném a v příčném směru rozdílně (např. v podélném směru působí jako předpjatá výztuž se soudržností a v příčném směru jako železobetonová).

g) Spřažené desky spolupůsobící s předpjatými nosníky se uvažují jako železobetonové, pokud po jejich betonáži již není do konstrukce vneseno další předpětí.

Mezní stav použitelnosti

- **MSP** omezení šířky trhlin
- Minimální plochy výztuže (kap. 7.3.2)

$$A_{s,min} \sigma_s = k_c k f_{ct,eff} A_{ct}$$

$A_{s,min}$

minimální plocha výztuže v tažené oblasti

σ_s

napětí ve výztuži po vzniku trhliny (od příslušné kombinace zatížení)

A_{ct}

tažená oblast betonu před vznikem trhliny

$f_{ct,eff}$

průměrná tahová pevnost v okamžiku vzniku trhliny

k

součinitel nerovnoměrného rozdělení vnitřních napětí

(T-průřezy; 0,65 až 1,0)

k_c

součinitel vlivu normálové síly

(cca 0,4 až 1,0)



Mezní stav použitelnosti

- **MSP** omezení šířky trhlin
- Minimální plochy výztuže (kap. 7.3.2)
 - Musí být ověřeno s tabulkami z kapitoly „*omezení šířky trhlin bez přímého výpočtu*“
- Bez přímého výpočtu (kap. 7.3.3)
 - Pouze pro desky bez osového tahu
 - Max tloušťka 200 mm
 - Pouze pro XC0 a XC1
 - Použití tabulkových hodnot



Mezní stav použitelnosti

- **MSP** omezení šířky trhlin
 - bez přímého výpočtu

Napětí ve výztuži ²⁾ [MPa]	Maximální průměr prutu [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	–

Napětí ve výztuži ²⁾ [MPa]	Maximální vzdálenost prutů [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	–

POZNÁMKY jsou vysvětleny v tabulce 7.2N

- 1) Hodnoty v tabulce vycházejí z následujících předpokladů:
 $c = 25$ mm; $f_{ct,eff} = 2,9$ MPa; $h_{cr} = 0,5h$; $(h - d) = 0,1h$; $k_1 = 0,8$;
 $k_2 = 0,5$; $k_c = 0,4$; $k = 1,0$; $k_t = 0,4$ a $k_4 = 1,0$
- 2) Při odpovídající kombinaci účinků zatížení.

Mezní stav použitelnosti

• MSP omezení šířky trhlin

- výpočet šířky trhliny (dle ČSN EN 1992-1-1; kap. 7.3.4)

(1) Šířku trhliny w_k lze stanovit ze vztahu (7.8):

$$w_k = s_{r,max} (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) \quad (7.8)$$

kde je

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

ε_{sm} průměrná hodnota poměrného přetvoření výztuže při příslušné kombinaci zatížení, zahrnující účinek vnesených deformací a přihlížející k účinkům tahového ztužení. Uvažuje se pouze přídavné tahové poměrné přetvoření od stavu nulového poměrného přetvoření betonu ve stejné úrovni;

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

(2) $\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}$ lze vypočítat ze vztahu:

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = \frac{\sigma_s - k_t \frac{f_{ct,eff}}{\rho_{p,eff}} (1 + \alpha_e \rho_{p,eff})}{E_s} \geq 0,6 \frac{\sigma_s}{E_s} \quad (7.9)$$

Mezní stav použitelnosti

- **MSP**

- **Omezení průhybů a kmitání**
- Mosty pozemních komunikací
- Lávky pro pěší (a cyklisty)
pro frekvence menší než:
- Železniční mosty

5 Hz (svislé kmitání)

max **0,7 m/s²**

2,5 Hz (příčné a kroutivé kmitání)

max **0,2 m/s²**



Mezní stav použitelnosti

- **MSP**
 - **Omezení průhybů a kmitání**
 - Mosty pozemních komunikací (ČSN 73 6214)

Konstrukce	Přípustný průhyb
Konstrukce železobetonové z prostých nosníků o více polích	$L/500$
Konstrukce železobetonové – prosté nosníky o jednom poli	$L/350$
Konstrukce železobetonové – spojitě a rámové konstrukce	$L/350$
Konstrukce z předpjatého betonu	$L/600$

Mezní stav použitelnosti

• MSP

- Omezení průhybů a kmitání
- Železniční mosty

průhyb

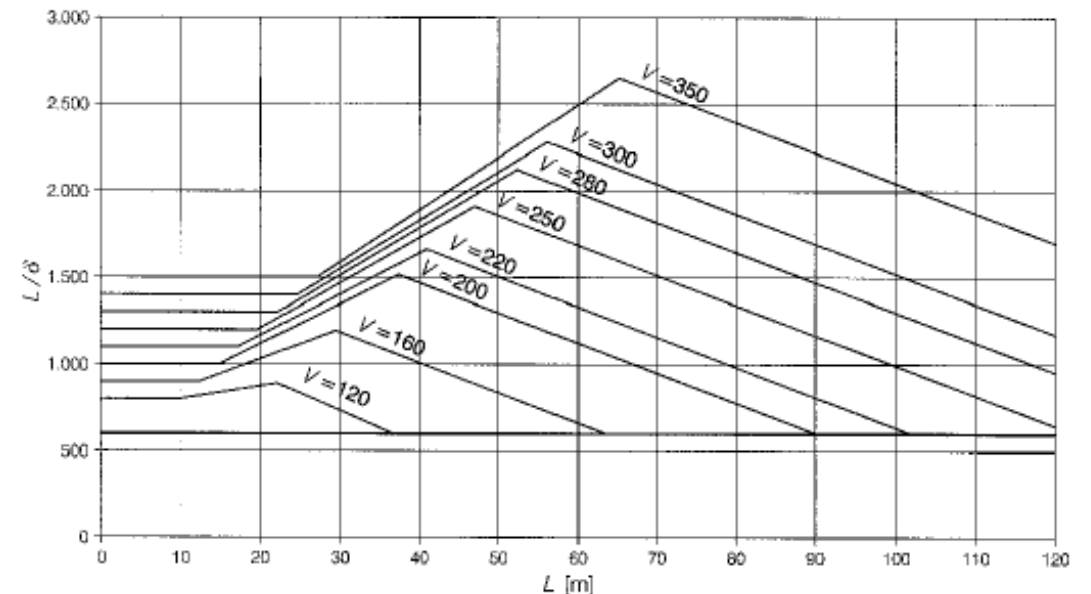
v případě dynamické analýzy

pohoda cestujících

L/600 (od zatížení dopravou)

3,5 m/s² (přímé upevnění **5,0 m/s²**)

Úroveň pohody	Svislé zrychlení b_v (m/s ²)
velmi dobrá	1,0
dobrá	1,3
přijatelná	2,0



Mezní stav použitelnosti

- **MSP**

- **Omezení průhybů a kmitání**
- **Železniční mosty**

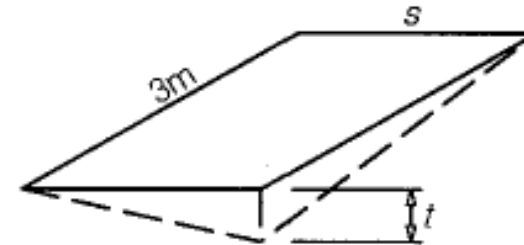
zkroucení hlavní nosné konstrukce

Rozsah rychlostí v (km/h)	Maximální zkroucení t (mm/3m)
$v \leq 120$	$t \leq t_1$
$120 < v \leq 200$	$t \leq t_2$
$v > 200$	$t \leq t_3$

$$t_1 = 4,5 \text{ mm}$$

$$t_2 = 3,0 \text{ mm}$$

$$t_3 = 1,5 \text{ mm}$$



Mezní stav použitelnosti

- **MSP**

- **Výpočet průhybu** (dle ČSN EN 1992-1-1; kap. 7.4.3)

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

α uvažovaná přetvárná veličina, např. poměrné přetvoření, křivost nebo pootočení. (zjednodušeně lze za α považovat i průhyb);

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

ζ rozdělovací součinitel, kterým se zohledňuje tahové zpevnění průřezu

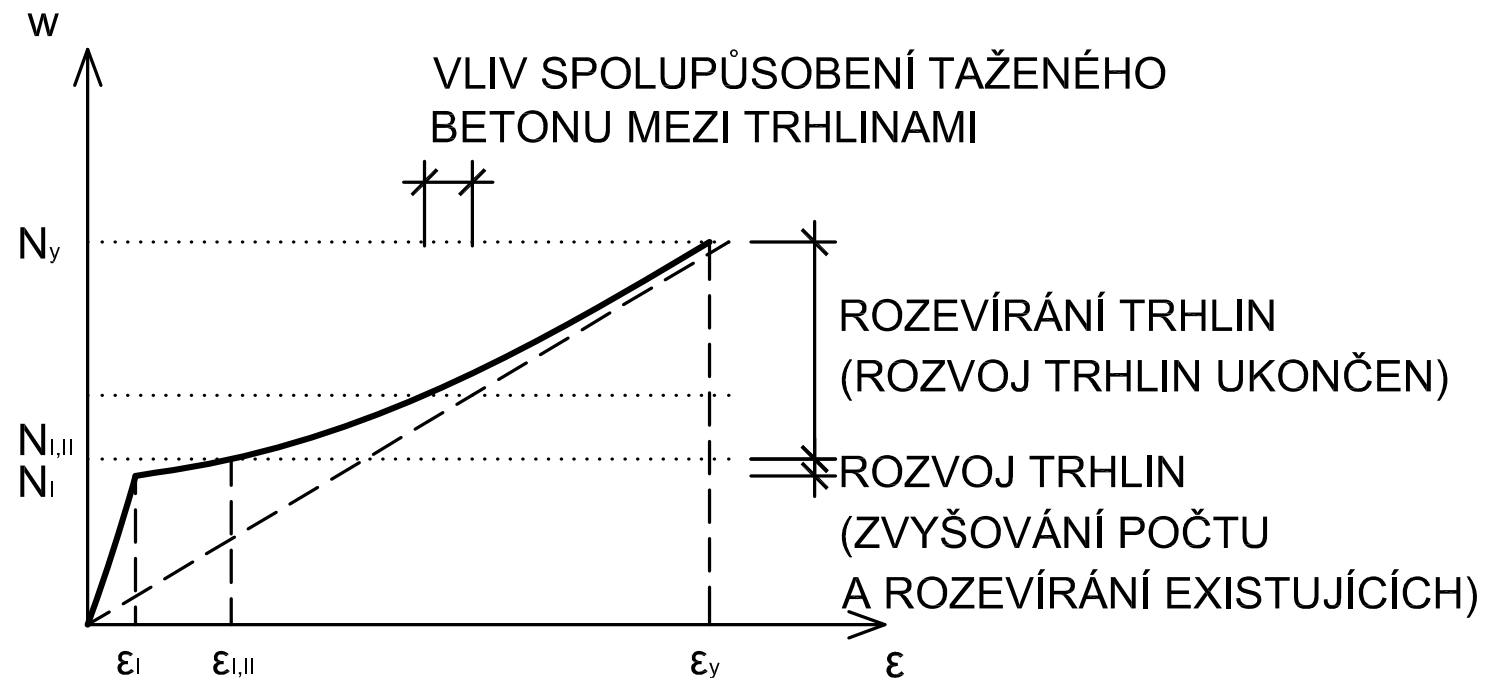
Mezní stav použitelnosti

• MSP

- Výpočet průhybu

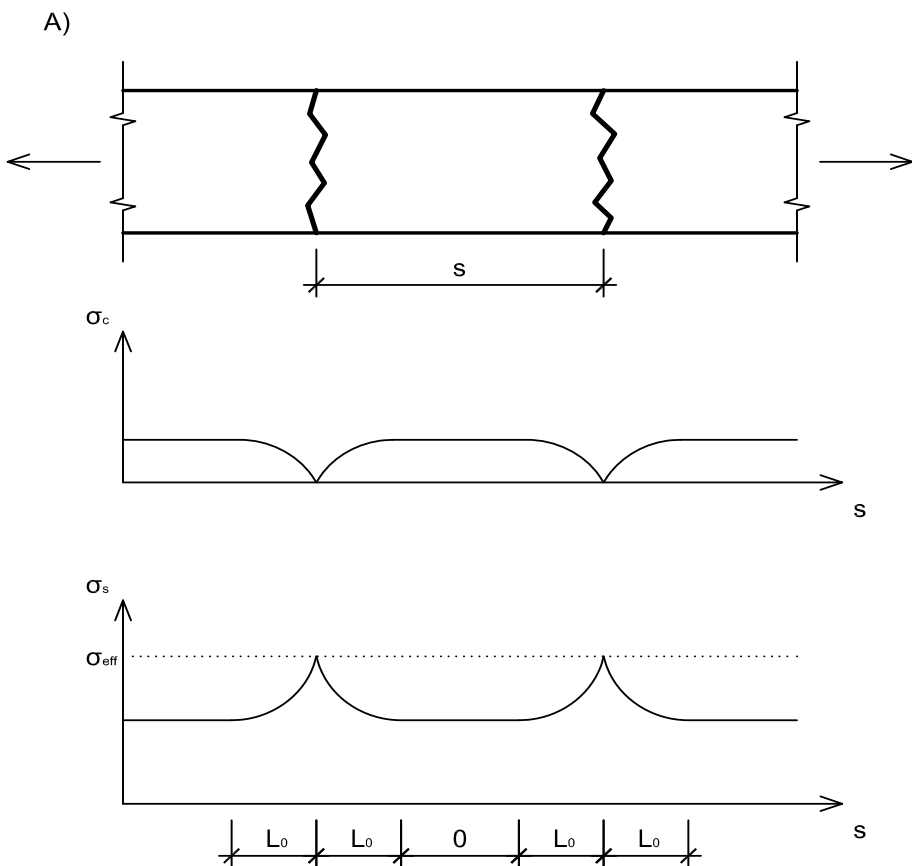
$$\alpha = \zeta \alpha_{II} + (1 - \zeta) \alpha_I$$

(dle ČSN EN 1992-1-1; kap. 7.4.3)



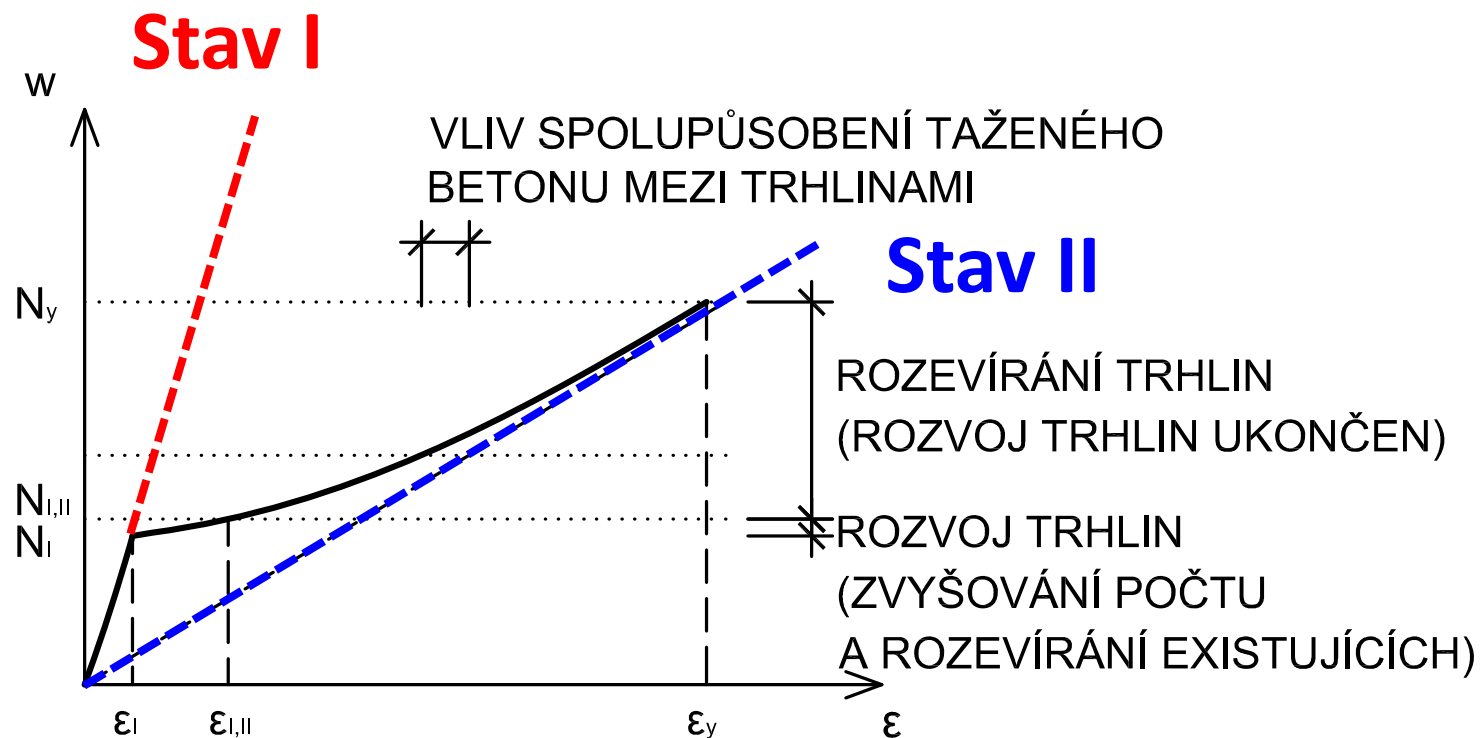
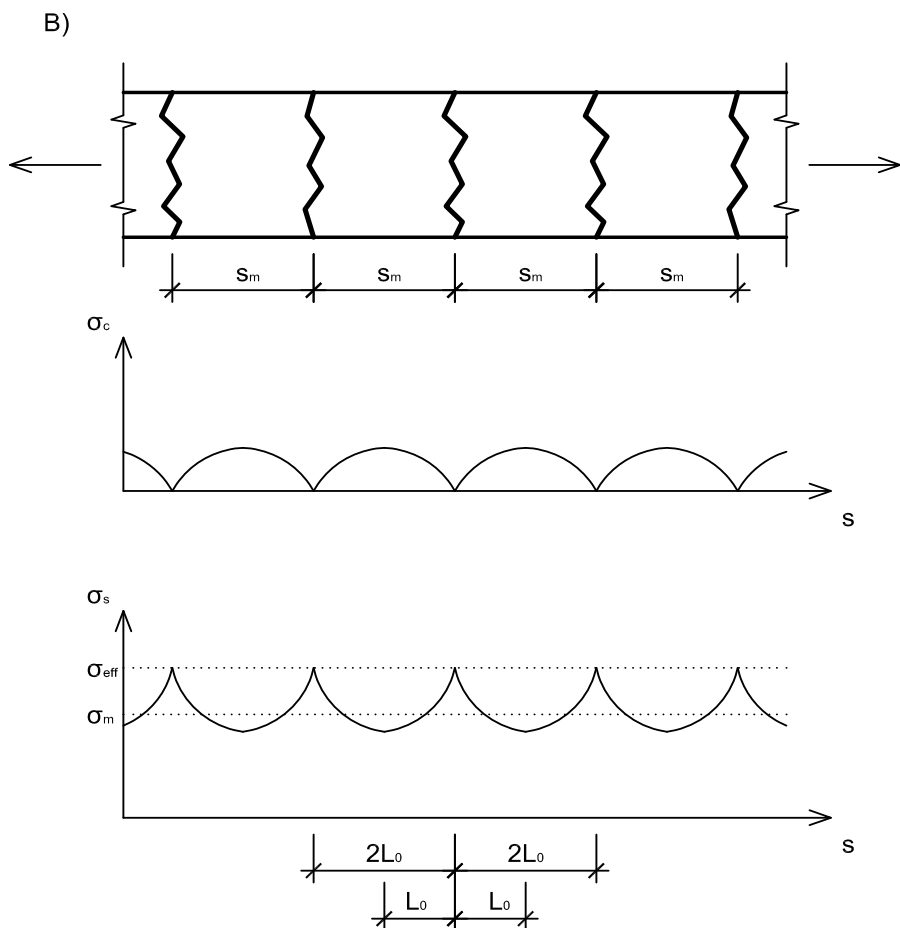
Mezní stav použitelnosti

• MSP – vznik primárních trhlin



Mezní stav použitelnosti

- MSP – ukončený rozvoj trhlin



Mezní stav použitelnosti

• MSP

• Výpočet průhybu

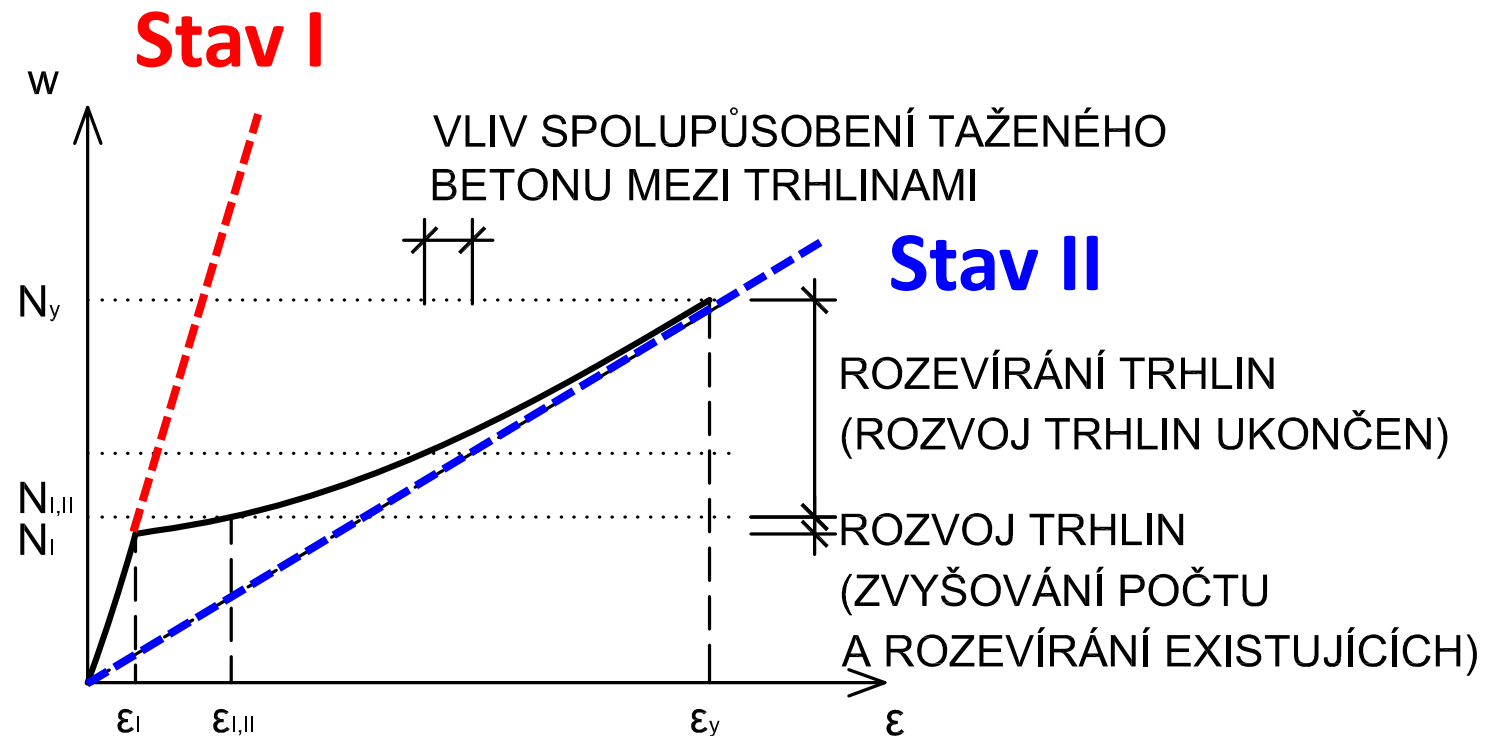
$$\alpha = \zeta \alpha_{II} + (1 - \zeta) \alpha_I$$

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

$$\zeta = 1 - \beta \left(\frac{M_{cr}}{M} \right)^2$$

ζ rozdělovací součinitel
zohledňuje tahové
zpevnění průřezu

(dle ČSN EN 1992-1-1; kap. 7.4.3)



Mezní stav použitelnosti

- **MSP**

- **Výpočet průhybu** (dle ČSN EN 1992-1-1; kap. 7.4.3)

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

- Dlouhodobé působení

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

- Křivost od smršťování

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

