

PŘÍLOHA 1

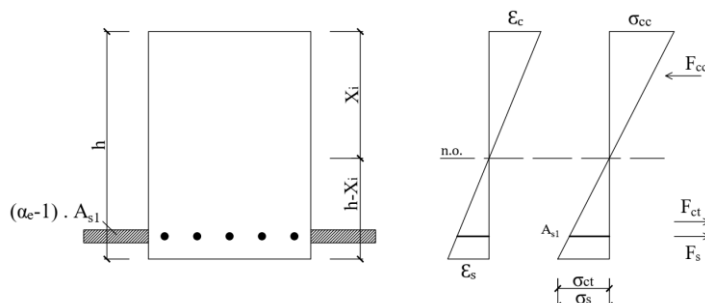
STATICKÝ VÝPOČET – STANOVENÍ NAPĚTÍ V PRŮŘEZU A MSP

Doplnění komentovaného statického výpočtu kapitoly 3 bakalářské práce

Stanovení napětí v průřezu – použité vzorce

Jednostranně vyztužený průřez [8]

Průřez před vznikem trhlin



$$F_{CC} = F_{ct} + F_s \quad (1)$$

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

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

$$\sigma_s = (\alpha_e - 1) \cdot \sigma_{ct} \cdot \frac{d - x_i}{h - x_i}$$

Po dosazení do (1):

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

Po vyřešení získáme polohu neutrálné osy od tlačného okraje průřezu x_i

Moment setrvačnosti ideálního průřezu

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

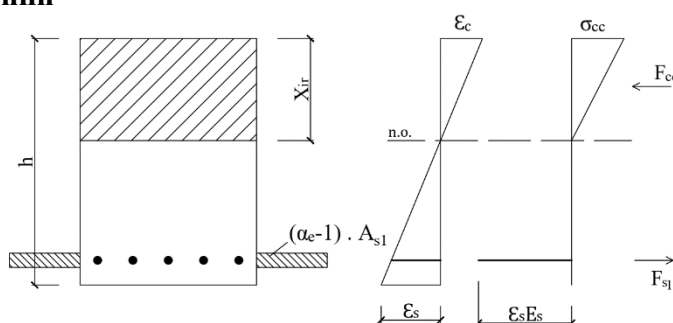
Moment na vzniku trhlin

$$M_{cr} = f_{ctm} \cdot \frac{I_y}{h - x_i} \quad (3)$$

Ohybová poddajnost

$$C_l = \frac{1}{E_{c,eff} \cdot I_y} \quad (4)$$

Průřez po vzniku trhlin



$$F_{CC} = F_S \quad (5)$$

$$\frac{1}{2} \cdot b \cdot x_{ir} \cdot \varepsilon_c \cdot E_{c,m} = A_S \cdot \varepsilon_S \cdot E_S$$

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

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

Moment setrvačnosti ideálního průřezu s trhlinou

$$I_{y,r} = \frac{1}{3} \cdot b \cdot x_{ir}^3 + \alpha_e \cdot A_S \cdot (d - x_{ir})^2 \quad (6)$$

Napětí ve výztuži

$$\sigma_s = (\alpha_e - 1) \cdot \frac{M}{I_{y,r}} \cdot (d - x_{ir}) \quad (7)$$

Napětí v krajních tlačných vláknech

(trojúhelníkový průběh napětí, pro nízká napětí přijatelný)

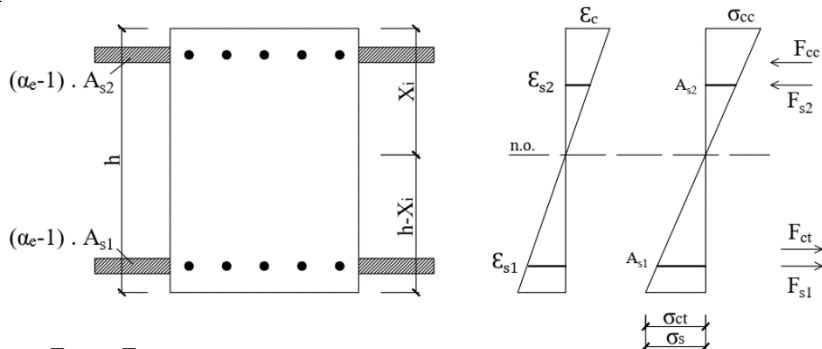
$$\sigma_c = -\frac{M}{I_{y,r}} \cdot x_{ir} \quad (8)$$

Ohybová poddajnost

$$C_{II} = \frac{1}{E_{c,eff} \cdot I_{y,r}} \quad (9)$$

Oboustranně vyztužený průřez

Průřez před vznikem trhlin



$$F_{CC} + F_{S2} = F_{ct} + F_{S1} \quad (10)$$

$$\frac{1}{2} \cdot b \cdot x_i \cdot \sigma_{cc} + A_{s2} \cdot \sigma_s = \frac{1}{2} \cdot b \cdot (h - x_i) \cdot \sigma_{ct} + A_S \cdot \sigma_s$$

kde:

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

$$\sigma_s = (\alpha_e - 1) \cdot \sigma_{ct} \cdot \frac{d-x_i}{h-x_i}$$

Po dosazení do (10):

$$\begin{aligned} & \frac{1}{2} \cdot b \cdot x_i \cdot \sigma_{ct} \cdot \frac{x_i}{h - x_i} + A_{s2} \cdot (\alpha_e - 1) \cdot \sigma_{ct} \cdot \frac{d - x_i}{h - x_i} \\ & = \frac{1}{2} \cdot b \cdot (h - x_i) \cdot \sigma_{ct} + A_s \cdot (\alpha_e - 1) \cdot \sigma_{ct} \cdot \frac{d - x_i}{h - x_i} \end{aligned}$$

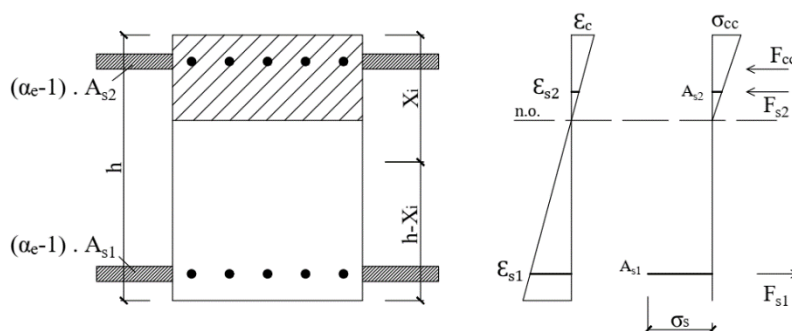
Z rovnice se stanoví x_i

Moment setrvačnosti ideálního průřezu

$$I_y = \frac{1}{12} \cdot b h^3 + b h \left(x_i - \frac{h}{2} \right)^2 + A_{s1} (\alpha_e - 1) (d_1 - x_i)^2 + A_{s2} (\alpha_e - 1) (x_i - d_2)^2 \quad (11)$$

Moment při vzniku trhlin (3) a ohybová poddajnost (4) se stanoví stejně jako u jednostranně vyztuženého průřezu.

Průřez po vzniku trhlin



$$F_{CC} + F_{s2} = F_{s1} \quad (12)$$

$$\frac{1}{2} \cdot b \cdot x_i \cdot \sigma_{cc} + A_{s2} \cdot \sigma_s = A_s \cdot \sigma_s$$

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

$$\sigma_s = (\alpha_e - 1) \cdot \sigma_{ct} \cdot \frac{d - x_i}{h - x_i}$$

Po dosazení do (12)

$$\frac{1}{2} \cdot b \cdot x_i \cdot \sigma_{ct} \cdot \frac{x_i}{h - x_i} + A_{s2} \cdot (\alpha_e - 1) \cdot \sigma_{ct} \cdot \frac{d - x_i}{h - x_i} = A_s \cdot (\alpha_e - 1) \cdot \sigma_{ct} \cdot \frac{d - x_i}{h - x_i}$$

$$x^2 + \frac{2(\alpha_e - 1)}{b} \cdot (A_{s1} + A_{s2}) \cdot x_{ir} - \frac{2(\alpha_e - 1)}{b} \cdot (A_{s1} \cdot d_1 + A_{s2} \cdot d_2) = 0$$

Po vyřešení kvadratické rovnice se získá poloha neutrálné osy od tlačného okraje průřezu x_i .

Moment setrvačnosti ideálního průřezu po vzniku trhlin

$$I_{y,r} = \frac{1}{3} \cdot b x_{ir}^3 + A_{s1} \cdot (\alpha_e - 1) \cdot (d_1 - x_i)^2 + A_{s2} \cdot (\alpha_e - 1) \cdot (x_i - d_2)^2 \quad (13)$$

Napětí v krajních tlačných vláknech betonu (9) a napětí ve výztuži (8) se stanoví stejně, jako u jednostranně vyztuženého průřezu.

Mezní stav přetvoření (omezení průhybu) [8]

Průhyb je stanoven dle Metody založené na ohybové křivosti uvedené v ČSN EN 1991-1-1. Hodnoty napětí průřezu jsou stanoveny pomocí ideálního průřezu. Na výsledném průhybu se podílí křivost od smršťování a křivost od zatížení.

Křivost od smršťování

$\left(\frac{1}{r}\right)_{sh}$ stanoveno dle ČSN EN 1992-1-1, detailní postup lze také nalézt v [8]

Křivost od zatížení pro stav **do** vzniku trhlin (lineární průběh) pro krátkodobé účinky

$$\left(\frac{1}{r}\right)_{m,i} = C_{I,ST} \cdot M_i \quad (14)$$

Křivost od zatížení **po** vzniku trhlin (parabolický průběh) pro krátkodobé účinky

$$\left(\frac{1}{r}\right)_{m,ir} = M_i \cdot [(1 - \xi_i) \cdot C_{I,ST} + \xi_i \cdot C_{II,ST}] \quad (15)$$

Kde ξ je součinitel zahrnující vliv tahové zpevnění

$$\xi = 1 - \beta \cdot \left(\frac{M_{cr,ST}}{M_i}\right) \quad (16)$$

$\beta = 1,0$ – pro krátkodobé

$\beta = 0,5$ – pro dlouhodobé

Křivost od zatížení pro stav **do** vzniku trhlin (lineární průběh) pro dlouhodobé účinky

$$\left(\frac{1}{r}\right)_{m,i} = C_{I,LT} \cdot M_i \quad (17)$$

Křivost od zatížení **po** vzniku trhlin (parabolický průběh) pro dlouhodobé účinky

$$\left(\frac{1}{r}\right)_{m,ir} = M_i \cdot [(1 - \xi_i) \cdot C_{I,LT} + \xi_i \cdot C_{II,LT}] \quad (18)$$

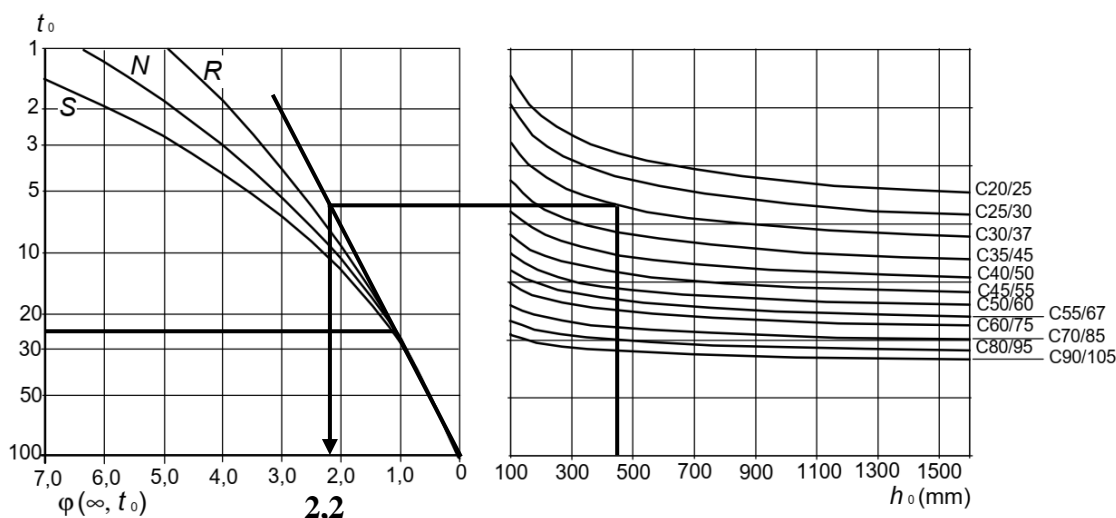
Přepočet křivosti na průhyb

$$w_i = \frac{5}{48} \cdot \left(\frac{1}{r}\right)_i \cdot l^2 \quad (19)$$

Mezní stav použitelnosti – stanovení přetvoření (průhybu)

Parametry shodné pro kapitoly 3.1 a 3.2.

Stanovení součinitele dotvarování dle ČSN EN 1992-1-1.



a) vnitřní prostředí – RH 50 %

$$h_0 = \frac{2 \cdot A_c}{u} = \frac{2 \cdot 1000 \cdot 220}{1000} = 440 \text{ mm}, t_0 = 30 \text{ dní}; \text{ C30/37}; \text{ cement N}$$

Modul pružnosti betonu C30/37

$$E_{c,m} = 33 \text{ GPa}$$

Efektivní modul pružnosti pro dlouhodobý účinek zatížení

$$E_{c,eff} = \frac{E_{c,m}}{1 + \varphi(\infty, t_0)} = \frac{33000}{1 + 2,2} = 10\,312,5 \text{ MPa}$$

Modul pružnosti oceli B 500B

$$E_s = 200 \text{ GPa}$$

Součinitel α_e pro krátkodobý účinek zatížení

$$\alpha_e = \frac{E_s}{E_{c,m}} = \frac{200000}{33000} = 6,06 [-]$$

Součinitel α_e pro dlouhodobý účinek zatížení

$$\alpha_e = \frac{E_s}{E_{c,m}} = \frac{200000}{33000} = 6,06 [-]$$

Stanovení průhybu stropní desky bez prostupu (3.1)

Uprostřed pole stropní desky těsně vedle prostupu (průřez 6).

Krátkodobý stav ST				Dlouhodobý LT			
I - bez trhlin				I - bez trhlin			
$b =$	1000	mm		$b =$	1000	mm	$\alpha_e =$ 19,394 [-]
$E_s =$	200	GPa	$\alpha_e =$ 6,061 [-]	$E_s =$	200	GPa	$E_{c,eff} =$ 10,31 GPa
$E_{c,m} =$	33	GPa	$E_c =$ 33 GPa	$E_{c,m} =$	33	GPa	
$d_1 =$	190	mm		$d_1 =$	190	mm	
$h_D =$	220	mm		$h_D =$	220	mm	
$A_{s,1} =$	550	mm ²		$A_{s,1} =$	550	mm ²	
$\varphi_{(\infty,10)} =$	0	[-]		$\varphi_{(\infty,10)} =$	2,2	[-]	
$f_{ctm} =$	2,9	MPa		$f_{ctm} =$	2,9	MPa	
$F_{cc} = F_{ct} + F_{st}$				$F_{cc} = F_{st}$			
$x_i =$	111,194	mm		$x_i =$	113,699	mm	(1)
$I_y =$	908 348 259	mm ⁴	$908,348 \times 10^6$ mm ⁴	$I_y =$	952 443 160	mm ⁴	$952,443 \times 10^6$ mm ⁴ (2)
$C_1 =$	3,336E-14	1/(Nmm ²)		$C_1 =$	1,018E-13	1/(Nmm ²)	(4)
$M_{cr} =$	24,210	kNm		$M_{cr} =$	25,984	kNm	(3)
II - s trhlinami				II - s trhlinami			
$x_{ir} =$	32,413	mm		$x_{ir} =$	53,886	mm	(5)
$I_{y,r} =$	94129936	mm ⁴	$94,130 \times 10^6$ mm ⁴	$I_{y,r} =$	249777835	mm ⁴	$249,778 \times 10^6$ mm ⁴ (6)
$C_{II} =$	3,219E-13	1/(Nmm ²)		$C_{II} =$	3,882E-13	1/(Nmm ²)	(9)
Křivost od smršťování $(1/r)_{sh} = 0,632$ mm ⁻¹							
Krátkodobý stav ST				Krátkodobý stav ST			
Zn	Popis	Momenty dle Scia	$M_I > M_{cr}$	křivost od zatížení	Celková křivost	Průhyb	
M_{fz}	častá	21,09 kNm/m	NE	0,704 mm ⁻¹	1,336 mm ⁻¹	6,82 mm	
M_{gk}	kvazistálá	18,6 kNm/m	NE	0,621 mm ⁻¹	1,253 mm ⁻¹	6,40 mm	dle (19)
Dlouhodobý stav LT				Dlouhodobý stav LT			
Zn	Popis	Momenty dle Scia	$M_I > M_{cr}$	křivost od zatížení	Celková křivost	Průhyb	
M_{fz}	častá	21,09 kNm/m	NE	3,603 mm ⁻¹	4,235 mm ⁻¹	21,62 mm	
M_{gk}	kvazistálá	18,6 kNm/m	NE	2,023 mm ⁻¹	2,655 mm ⁻¹	13,55 mm	dle (19)

Stanovení průhybu stropní desky s prostupem 3.2.1 Varianta A

Uprostřed pole stropní desky těsně vedle prostupu (průřez 6).

Krátkodobý stav ST		Dlouhodobý LT	
I - bez trhlin		I - bez trhlin	
b =	1000 mm	b =	1000 mm
E _s =	200 GPa	E _s =	200 GPa
E _{c,m} =	33 GPa	E _{c,m} =	33 GPa
d ₁ =	190 mm	d ₁ =	190 mm
h _D =	220 mm	h _D =	220 mm
A _{s,1} =	678,6 mm ²	A _{s,1} =	678,6 mm ²
φ _(∞,t0) =	0 [-]	φ _(∞,t0) =	2,2 [-]
f _{ctm} =	2,9 MPa	f _{ctm} =	2,9 MPa
F _{cc} = F _{ct} + F _{st}		F _{cc} = F _{st}	
x _i =	111,468 mm	x _i =	114,516 mm (1)
I _y =	913 171 759 mm ⁴	I _y =	966 807 712 mm ⁴ = 966,808 x10 ⁶ mm ⁴ (2)
C _I =	3,318E-14 1/(Nmm ²)	C _I =	1,003E-13 1/(Nmm ²) (4)
M _{cr} =	24,400 kNm	M _{cr} =	26,580 kNm (3)
II - s trhlinami		II - s trhlinami	
x _{ir} =	35,633 mm	x _{ir} =	58,772 mm (5)
I _{y,r} =	113084081 mm ⁴	I _{y,r} =	294307156 mm ⁴ = 294,307 x10 ⁶ mm ⁴ (6)
C _{II} =	2,680E-13 1/(Nmm ²)	C _{II} =	3,295E-13 1/(Nmm ²) (9)
Křivost od smršťování (1/r) _{sh} = 0,857 mm ⁻¹			
Krátkodobý stav ST		Dlouhodobý stav LT	
Zn	Popis	Momenty dle Scia	M _i > M _{cr}
M _{fz}	častá	22,72 kNm/m	NE
M _{gk}	kvazistálá	19,8 kNm/m	NE
		křivost od zatížení	Celková křivost
		0,754 mm ⁻¹	1,611 mm ⁻¹
		0,657 mm ⁻¹	1,514 mm ⁻¹
		dle (14)	dle (19)
Dlouhodobý stav LT		Dlouhodobý stav LT	
Zn	Popis	Momenty dle Scia	M _i > M _{cr}
M _{fz}	častá	22,72 kNm/m	NE
M _{gk}	kvazistálá	19,8 kNm/m	NE
		křivost od zatížení	Celková křivost
		3,923 mm ⁻¹	4,780 mm ⁻¹
		2,435 mm ⁻¹	3,292 mm ⁻¹
		dle (17)	dle (19)
		Průhyb	Průhyb
		8,22 mm	24,40 mm
		7,73 mm	16,80 mm

Stanovení průhybu stropní desky s prostupem 3.2.2 Varianta B

Jednostranně vyztužený, uprostřed pole stropní desky těsně vedle prostupu (průřez 6).

Krátkodobý stav ST		Dlouhodobý LT	
I - bez trhlin		I - bez trhlin	
b =	1000 mm	b =	1000 mm
E _s =	200 GPa	E _s =	200 GPa
E _{c,m} =	33 GPa	E _{c,m} =	33 GPa
d ₁ =	190 mm	d ₁ =	190 mm
h ₀ =	220 mm	h ₀ =	220 mm
A _{s1} =	791,7 mm ²	A _{s1} =	791,7 mm ²
φ ^(∞,t0) =	0 [-]	φ ^(∞,t0) =	2,2 [-]
f _{ctm} =	2,9 MPa	f _{ctm} =	2,9 MPa
F _{cc} = F _{ct} + F _{st}		F _{cc} = F _{st}	
x _i =	111,708 mm	x _i =	115,219 mm (1)
I _y =	917 386 245 mm ⁴	I _y =	979 189 309 mm ⁴ = 979,189 x10 ⁶ mm ⁴ (2)
C _i =	3,303E-14 1/(Nmm ²)	C _i =	9,903E-14 1/(Nmm ²) (4)
M _{cr} =	24,567 kNm	M _{cr} =	27,101 kNm (3)
II - s trhlinami		II - s trhlinami	
x _{ir} =	38,171 mm	x _{ir} =	62,558 mm (5)
I _{y,r} =	129146608 mm ⁴	I _{y,r} =	330981363 mm ⁴ = 330,981 x10 ⁶ mm ⁴ (6)
C _{ii} =	2,346E-13 1/(Nmm ²)	C _{ii} =	2,930E-13 1/(Nmm ²) (9)
Křivost od smířování (1/r) _{sh} = 1,733 mm ⁻¹			
Krátkodobý stav ST		Krátkodobý stav ST	
Zn	Popis	Momenty dle Scia	M _i > M _{cr}
M _{fz}	častá	27,59 kNm/m	ANO
M _{gk}	kvazistálá	24,75 kNm/m	ANO
		dle (15)	
Dlouhodobý stav LT		Dlouhodobý stav LT	
Zn	Popis	Momenty dle Scia	M _i > M _{cr}
M _{fz}	častá	27,59 kNm/m	ANO
M _{gk}	kvazistálá	24,75 kNm/m	NE
		dle (18)	
Krátkodobý stav ST		Krátkodobý stav ST	
Zn	Popis	křivost od zatížení	Celková křivost
M _{fz}	častá	2,181 mm ⁻¹	3,914 mm ⁻¹
M _{gk}	kvazistálá	0,891 mm ⁻¹	2,551 mm ⁻¹
		dle (19)	
Dlouhodobý stav LT		Dlouhodobý stav LT	
Zn	Popis	křivost od zatížení	Celková křivost
M _{fz}	častá	5,617 mm ⁻¹	7,350 mm ⁻¹
M _{gk}	kvazistálá	4,374 mm ⁻¹	6,107 mm ⁻¹
		dle (19)	
		Průhyb	
		19,98 mm	
		37,52 mm	
		31,17 mm	

Stanovení průhybu stropní desky s prostupem 3.2.2 Varianta B

Oboustranně vyztužený, uprostřed pole stropní desky těsně vedle prostupu (průřez 6).

Krátkodobý stav ST		Dlouhodobý LT					
I - bez trhlín		I - bez trhlín					
b =	1000 mm	b =	1000 mm				
E _s =	200 GPa	E _s =	200 GPa				
E _{c,m} =	33 GPa	E _{c,m} =	33 GPa				
d ₁ =	190 mm	d ₁ =	190 mm				
d ₂ =	30 mm	d ₂ =	30 mm				
h ₀ =	220 mm	h ₀ =	220 mm				
A _{s1} =	791,7 mm ²	A _{s1} =	791,7 mm ²				
A _{s2} =	904,8 mm ²	A _{s2} =	904,8 mm ²				
φ ^(∞;10) =	0 [-]	φ ^(∞;10) =	2,2 [-]				
f _{ctm} =	2,9 MPa	f _{ctm} =	2,9 MPa				
F _{cc} + F _{st2} = F _{ct} + F _{st1}		F _{cc} + F _{st2} = F _{st1}					
x _i =	113,044 mm (10)	x _i =	119,674 mm (10)				
I _y =	955 604 446 mm ⁴ = 955,604 x10 ⁶ mm ⁴ (11)	I _y =	1 124 970 255 mm ⁴ = 1124,970 x10 ⁶ mm ⁴ (11)				
C _i =	3,171E-14 1/(Nmm ²) (4)	C _i =	8,620E-14 1/(Nmm ²) (4)				
M _{cr} =	25,910 kNm (3)	M _{cr} =	32,518 kNm (3)				
II - s trhlínami		II - s trhlínami					
x _{1r} =	37,237 mm (12)	x _{1r} =	56,373 mm (12)				
I _{y,r} =	129471004 mm ⁴ = 129,471 x10 ⁶ mm ⁴ (13)	I _{y,r} =	346088160 mm ⁴ = 346,088 x10 ⁶ mm ⁴ (13)				
C _{1l} =	2,341E-13 1/(Nmm ²) (9)	C _{1l} =	2,802E-13 1/(Nmm ²) (9)				
Křivost od smršťování (1/r) _{sh} = 0,956 mm ⁻¹							
Krátkodobý stav ST		Krátkodobý stav LT					
Zn	Popis	Momenty dle Scia	M _i > M _{cr}	křivost od zatížení	Celková křivost	Průhyb	
M _{tz}	častá	27,59 kNm/m	ANO	0,884 mm ⁻¹	1,840 mm ⁻¹	9,39 mm	
M _{gk}	kvazistálá	24,75 kNm/m	NE	0,785 mm ⁻¹	1,741 mm ⁻¹	8,89 mm	
				dle (15)		dle (19)	
Dlouhodobý stav LT		Dlouhodobý stav LT		Dlouhodobý stav LT		Dlouhodobý stav LT	
Zn	Popis	Momenty dle Scia	M _i > M _{cr}	křivost od zatížení	Celková křivost	Průhyb	
M _{tz}	častá	27,59 kNm/m	NE	4,137 mm ⁻¹	5,093 mm ⁻¹	26,00 mm	
M _{gk}	kvazistálá	24,75 kNm/m	NE	2,791 mm ⁻¹	3,747 mm ⁻¹	19,13 mm	
				dle (19)		dle (19)	

**Stanovení poměrného přetvoření ve výztuži a poměrné přetvoření
taženého povrchu betonu od ohybového momentu m_0**

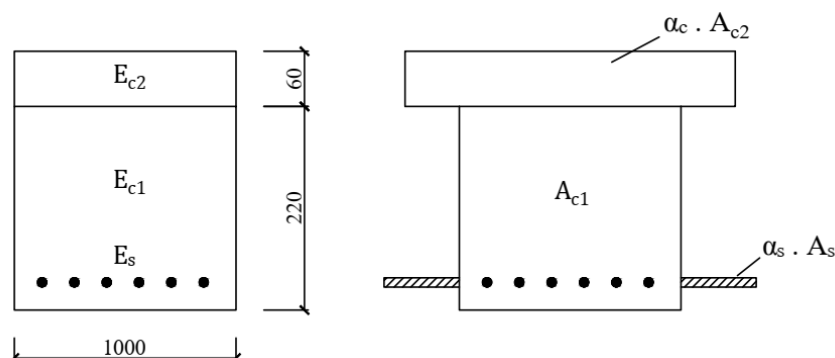
Nad podporou (průřez č.5 a 7)

V poli (průřez č.6)

Dlouhodobý LT		Dlouhodobý LT	
I - bez trhlín		I - bez trhlín	
b =	1000	b =	1000
$E_s =$	200	$E_s =$	200
$E_{c,m} =$	33	$E_{c,m} =$	33
$d_1 =$	190	$d_1 =$	190
$h_D =$	220	$h_D =$	220
$A_{s,1} =$	550	$A_{s,1} =$	628,32
$\varphi_{(\infty,10)} =$	2,2	$\varphi_{(\infty,10)} =$	2,2
$f_{ctm} =$	2,9	$f_{ctm} =$	2,9
$F_{cc} = F_{st}$		$F_{cc} = F_{st}$	
$x_i =$	113,699 mm	$x_i =$	114,199 mm
$I_y =$	952 443 160 mm ⁴	$I_y =$	961 228 204 mm ⁴
$C_1 =$	1,018E-13 1/(Nmm ²)	$C_1 =$	1,009E-13 1/(Nmm ²)
$M_{cr} =$	25,984 kNm	$M_{cr} =$	26,347 kNm
II - s trhlinami		II - s trhlinami	
$x_{ir} =$	53,886 mm	$x_{ir} =$	56,945 mm
$I_{y,r} =$	24977835 mm ⁴	$I_{y,r} =$	277281868 mm ⁴
$C_{II} =$	3,882E-13 1/(Nmm ²)	$C_{II} =$	3,497E-13 1/(Nmm ²)

moment při aktivaci nadbetonávky	moment při aktivaci nadbetonávky
$m_{,0} =$ 17,30 kNm	$m_{,0} =$ 26,66 kNm
napětí v krajních tlačných vláknách betonu pro LT	napětí v krajních tlačných vláknách betonu pro LT
$\sigma_{e,0} =$ -3,7323 Mpa (8)	$\sigma_{e,0} =$ -5,4751 Mpa (8)
napětí ve výztuži	napětí ve výztuži
$\sigma_{s,0} =$ 173,4 Mpa (7)	$\sigma_{s,0} =$ 235,3 Mpa (7)
poměrné přetvoření výztuže	poměrné přetvoření výztuže
$\epsilon_{s,0} =$ 0,000867 [-]	$\epsilon_{s,0} =$ 0,001177 [-]
poměrné přetvoření krajních vláken	poměrné přetvoření krajních vláken
$\epsilon_0 =$ 0,00106 [-]	$\epsilon_0 =$ 0,00144 [-]

Výpočet dlouhodobého průhybu zesílené stropní desky s vlivem dotvarování nadbetonávky, pro hodnoty napětí v průřezu stanovené pomocí ideálního průřezu.



Efektivní modul pružnosti zesílovaného betonového prvku v polovině jeho životnosti:

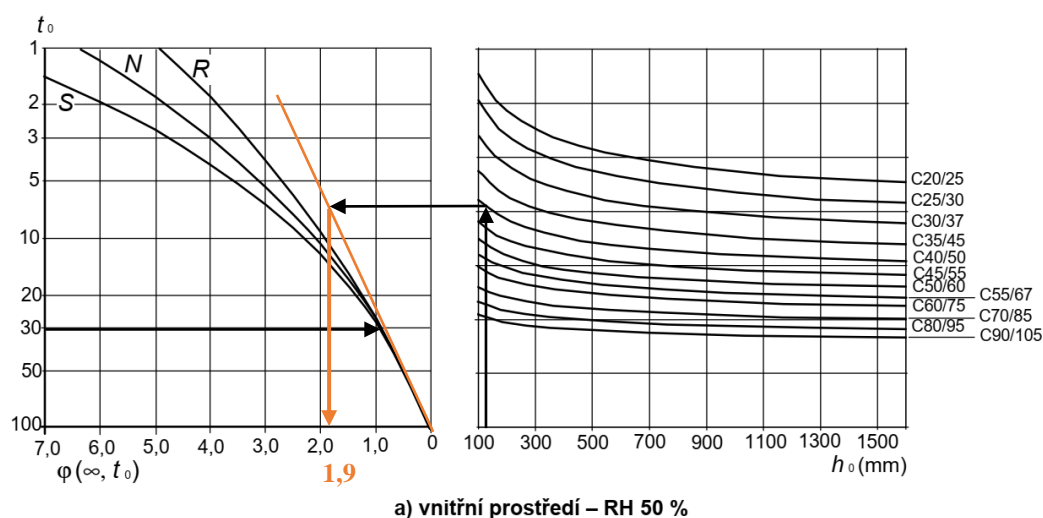
$\varphi(t_0, t) = 2,2$ (prvek se již předpokládá za dotvarovaný)

$$E_{c,eff,1} = \frac{E_{c1}}{1 + \varphi(t_0, t)} = \frac{33}{1 + 2,2} = 10,313 \text{ GPa}$$

Efektivní modul pružnosti nadbetonávky:

$$E_{c,eff,2} = \frac{E_{c2}}{1 + \varphi(t_0, t)} = \frac{42}{1 + 1,9} = 14,483 \text{ GPa}$$

Obr. 1 Stanovení součinitele dotvarování betonu dle ČSN EN 1992-1-1

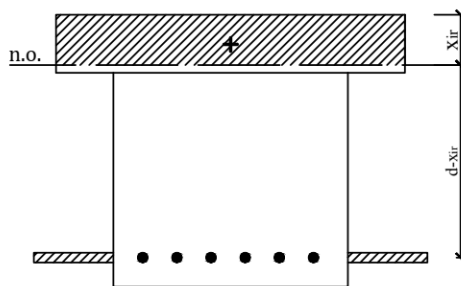


$$h_0 = \frac{2 \cdot A_c}{u} = \frac{2 \cdot 60 \cdot 1000}{1000} = 120 \text{ mm}; \quad t_0 = 30 \text{ dní}; \quad \text{C40/50}; \quad \text{cement R}$$

$$\alpha_s = \frac{E_s}{E_{c,eff,1}} = \frac{200}{10,313} = 19,393 \text{ [-]}$$

$$\alpha_c = \frac{E_{c,eff,2}}{E_{c,eff,1}} = \frac{14,483}{10,313} = 1,404 \text{ [-]}$$

Předpokládá se, že průřez je již po vzniku trhlin a že neutrálná osa probíhá v nadbetonávce.



K odvození výšky tlacené oblasti x_{ir} je využito rovnováhy statických momentů průřezu.

$$S_{cc1} + S_{cc2} = S_s \quad (20)$$

Za předpokladu, že neutrálná osa probíhá v nadbetonávce lze zjednodušit na:

$$S_{cc2} = S_s$$

$$b_{c,eff} \cdot \left(\frac{x_{ir}}{2}\right)^2 = (\alpha_s - 1) \cdot A_s \cdot (d - x_{ir})$$

$$0,5 \cdot b_{c,eff} \cdot x_{ir}^2 + (\alpha_s - 1) \cdot A_s \cdot x_{ir} - (\alpha_s - 1) \cdot A_s \cdot d = 0$$

Po dosazení a vyřešení kvadratické rovnice:

$$x_{ir} = 53,24 \text{ mm}, \quad x_{ir} = 53,24 \text{ mm} < h_{nad} = 60 \text{ mm} \rightarrow \text{předpoklad splněn}$$

Moment setrvačnosti ideálního průřezu s trhlinou:

$$I_{ir} = \frac{1}{12} \cdot b_{c,eff} \cdot x_{ir}^3 + b_{c,eff} \cdot x_{ir} \cdot \left(\frac{x_{ir}}{2}\right)^2 + n \cdot \left(\frac{\pi \cdot r^4}{4}\right) \cdot (\alpha_s - 1) + (\alpha_s - 1) \cdot A_s \cdot (d - x_{ir})^2$$

$$I_{ir} = 462,37 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

Napětí ve výztuži se určí dle (7)

Další omezení v rámci MSP

Mezní stav omezení napětí – pro charakteristickou kombinaci

$$\sigma_s = \alpha_e \cdot \frac{M_k}{I_{yr,ST}} \cdot (d - x_{II,ST}) \leq k_3 \cdot f_{yk}$$

$$\sigma_s \leq 0,8 \cdot 500 = 400 \text{ MPa}$$

Tlakové napětí v betonu

$$\sigma_{cc} = \frac{M_k}{I_{yr,ST}} \cdot x_{II,ST}$$

$$\sigma_{cc} \leq k_1 \cdot f_{ck} = 0,6 \cdot 30 = 18 \text{ MPa}$$

Lineární dotvarování betonu

$$\sigma_{cc} = \frac{M_k}{I_{yr,ST}} \cdot x_{II,ST}$$

$$\sigma_{cc} \leq k_1 \cdot f_{ck} = 0,45 \cdot 30 = 13,5 \text{ MPa}$$

Omezení šířky trhlin

$$A_{s,min} = \frac{k_c \cdot k \cdot f_{ctm} \cdot A_{ct}}{\sigma_s}$$

$$A_{s,min} = \frac{0,4 \cdot 1 \cdot 2,9 \cdot 35161}{\sigma_s}$$

$$A_{s,min} \leq A_{s,prov}$$