

Mechanické vlastnosti betonu a oceli



Program cvičení



- | | |
|-----------|---|
| 1. a 2. | 1. Výkres tvaru. Předběžné rozměry a výkres tvaru jednoduché konstrukce. |
| 3. a 4. | 2. Výpočet zatížení. Výpočet zatížení desky, trámu a sloupu. |
| 5. a 6. | 3. Dimenzování desky. Výpočet rozměrů a výztuže, výkres výztuže. |
| 7. a 8. | 4. Dimenzování nosníku. Výpočet rozměrů a výztuže, výkres výztuže. |
| 9. a 10. | 5. Dimenzování sloupu. Výpočet rozměrů a výztuže, výkres výztuže. |
| 11. a 12. | 6. Dimenzování zděného pilíře. Výpočet rozměrů pro stanovené materiály. |
| 13. a 14. | Konzultace a zápočet. |



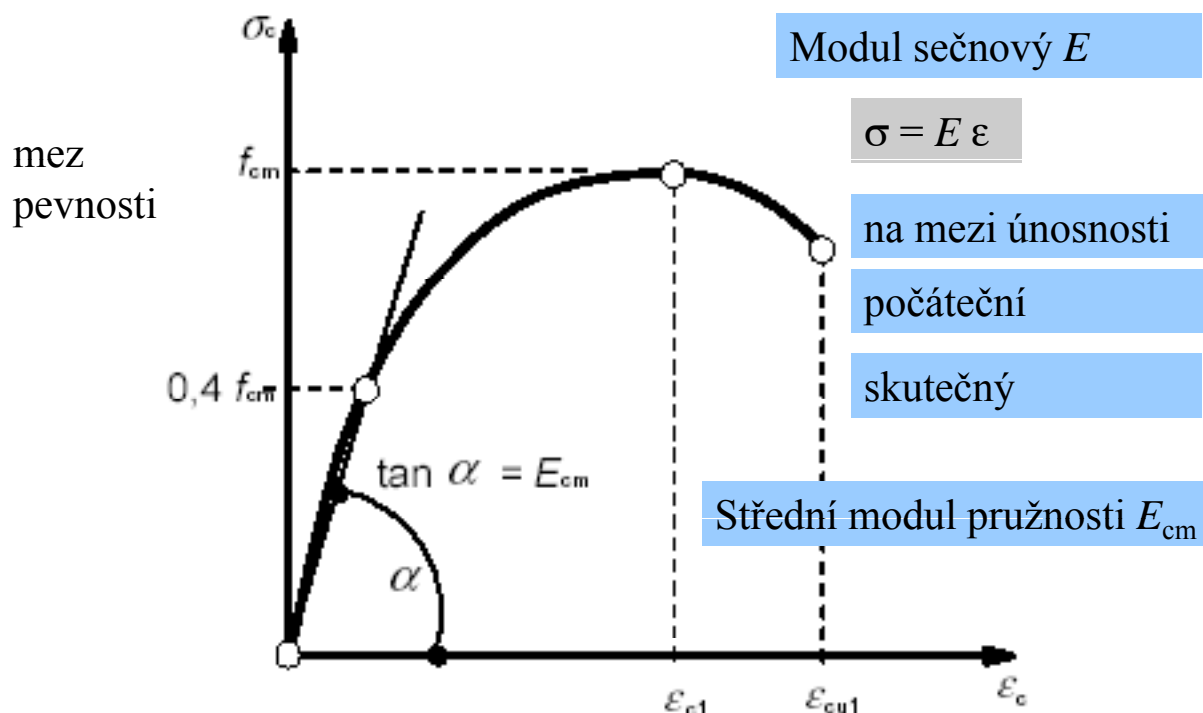
Podmínka pro získání zápočtu je věcně správné (výpočty a výkresy) zpracování uvedených cvičení včetně účasti na cvičeních. Ke zkoušce se lze přihlásit pouze po složení zkoušky ze Statiky II.

Skripta: Jan Kalousek, J.: Betonové konstrukce

Lorenz, K.: Zděné konstrukce

Studnička J., Holický M.: Zatížení konstrukcí (Ocelové k.)

Pracovní diagram betonu



Pracovní diagram betonu

Závislost mezi napětím a přetvořením není lineární, Hookův zákon platí omezeně

-poměrné stlačení $\varepsilon_{cu} = 0,35 \%$ ➡ porušení prvku

Modul pružnosti E závisí na

- pevnosti f_{cm} (třída betonu)
- druhu kameniva (křemen 1, čedič 1,2, vápenec 0,9, pískovec 0,7)
- jakosti betonu, vodním součinitel, kapilární pórozita

Betony podle EN 1992

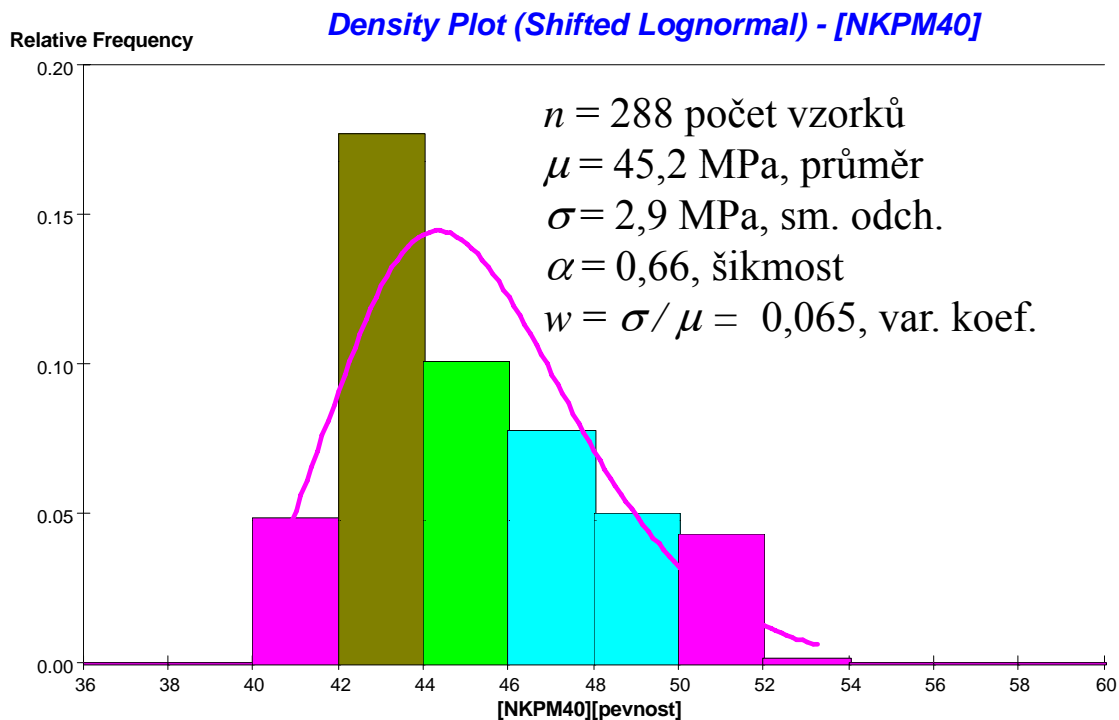
Strength classes for concrete															Analytical relation / Explanation
f_{ck} (MPa)	12	16	20	25	30	35	40	45	50	55	60	70	80	90	
$f_{ck, cube}$ (MPa)	15	20	25	30	37	45	50	55	60	67	75	85	95	105	
f_{cm} (MPa)	20	24	28	33	38	43	48	53	58	63	68	78	88	98	$f_{cm} = f_{ck} + 8$ (MPa)
f_{ctm} (MPa)	1,6	1,9	2,2	2,6	2,9	3,2	3,5	3,8	4,1	4,2	4,4	4,6	4,8	5,0	$f_{ctm} = 0,30 \times f_{cm}^{2/3} \leq C50/60$ $f_{ctm} = 2,12 \cdot \ln(1 + (f_{cm}/10))$ $> C50/60$
$f_{ctk,0,05}$ (MPa)	1,1	1,3	1,5	1,8	2,0	2,2	2,5	2,7	2,9	3,0	3,1	3,2	3,4	3,5	$f_{ctk,0,05} = 0,7 \times f_{ctm}$ 5% fractile
$f_{ctk,0,95}$ (MPa)	2,0	2,5	2,9	3,3	3,8	4,2	4,6	4,9	5,3	5,5	5,7	6,0	6,3	6,6	$f_{ctk,0,95} = 1,3 \times f_{ctm}$ 95% fractile
E_{cm} (GPa)	27	29	30	31	32	34	35	36	37	38	39	41	42	44	$E_{cm} = 22[(f_{cm}/10)^{1/3}]$ (f_{cm} in MPa)
ε_{cl} (‰)	1,8	1,9	2,0	2,1	2,2	2,25	2,3	2,4	2,45	2,5	2,6	2,7	2,8	2,8	see Figure 3.2 $\varepsilon_{cl}(\text{‰}) = 0,7 f_{cm}^{0,81} \times 2,8$
ε_{cu1} (‰)	3,5								3,2	3,0	2,8	2,8	2,8	2,8	see Figure 3.2 for $f_{ak} \leq 50$ Mpa $\varepsilon_{cu1}(\text{‰}) = 2,8 + 2,7[(98-f_{ak})/100]^4$
ε_{cu2} (‰)	2,0								2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,6	see Figure 3.3 for $f_{ak} \geq 50$ Mpa $\varepsilon_{cu2}(\text{‰}) = 2,0 + 0,085(f_{ak} - 50)^{0,69}$
ε_{cu3} (‰)	3,5								3,1	2,9	2,7	2,6	2,6	2,6	see Figure 3.3 for $f_{ak} \geq 50$ Mpa $\varepsilon_{cu3}(\text{‰}) = 2,6 + 3,5[(90-f_{ak})/100]^4$
n	2,0								1,75	1,6	1,45	1,4	1,4	1,4	for $f_{ak} \geq 50$ Mpa $n = 1,4 + 23,4[(90-f_{ak})/100]^4$
ε_{cs} (‰)	1,75								1,8	1,9	2,0	2,2	2,3	2,3	see Figure 3.4 for $f_{ak} \geq 50$ Mpa $\varepsilon_{cs}(\text{‰}) = 1,75 + 0,55[(f_{ak} - 50)/40]$
ε_{cu3} (‰)	3,5								3,1	2,9	2,7	2,6	2,6	2,6	see Figure 3.4 for $f_{ak} \geq 50$ Mpa $\varepsilon_{cu3}(\text{‰}) = 2,6 + 3,5[(90-f_{ak})/100]^4$

Betony podle EN 1992

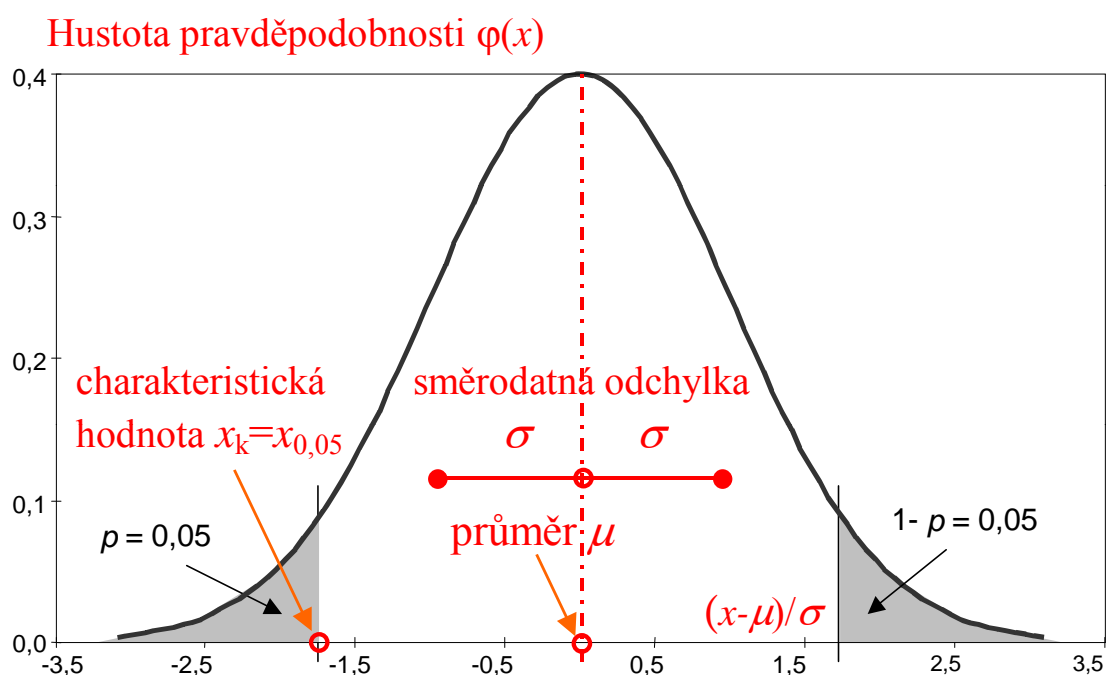
Třída pevnosti betonu									
f_{ck} [MPa]	12	16	20	25	30	35	40	45	50
$f_{ck, cube}$ [MPa]	15	20	25	30	37	45	50	55	60
f_{cm} [MPa]	20	24	28	33	38	43	48	53	58
f_{ctm} [MPa]	1,6	1,9	2,2	2,6	2,9	3,2	3,5	3,8	4,1
$f_{ctk,0,05}$ [MPa]	1,1	1,3	1,5	1,8	2,0	2,2	2,5	2,7	2,9
$f_{ctk,0,95}$ [MPa]	2,0	2,5	2,9	3,3	3,8	4,2	4,6	4,9	5,3
E_{cm} [GPa]	27	29	30	31	32	34	35	36	37
ε_{cl} [‰]	1,8	1,9	2,0	2,1	2,2	2,25	2,3	2,4	2,45
ε_{cu1} [‰]	3,5								

Značení C20/25

Beton C 35/45, $f_{cm} = 43$ MPa

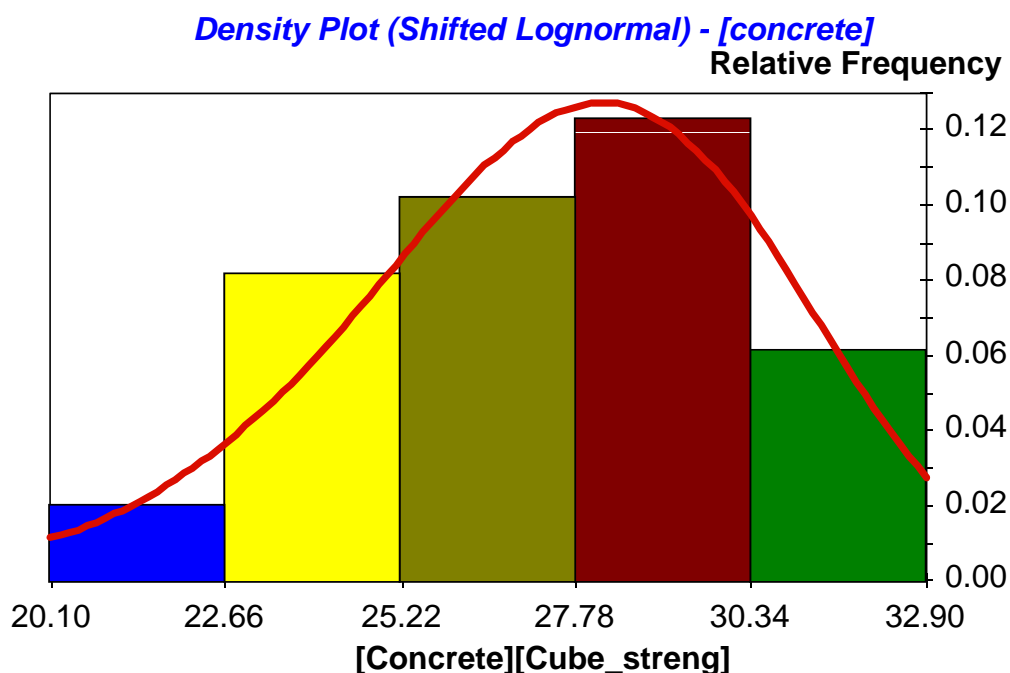


Charakteristická pevnost - kvantil

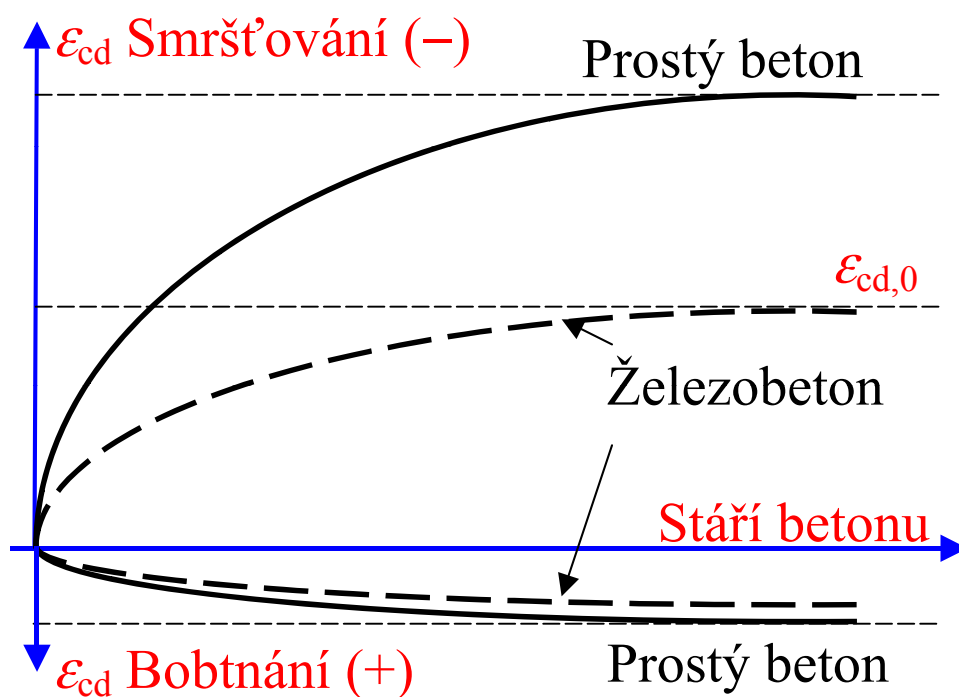


Standardizovaná náhodná veličina X s normálním rozdělením

Concrete C16/20 - 19 cubes



Hydratační objemové změny



Smršťování

vliv vlhkosti prostředí, rozměry konstr. prvku, složení betonu (vodní součinitel, jemnost mletí cementu, vlastnosti kameniva, stupeň hydratace, zhutnění)

se zvětšujícím se % vyztužení se smršťování snižuje

vlhkostní smršťování-kapilární pórovitost a vlhkost prostředí

plastické smršťování – ztráta vody betonu v plastickém stavu

autogenní smršťování – hydratační reakce – snížení objemu

smršťování od účinků karbonatace – vliv oxidu uhličitého

Konečná hodnota smršťování

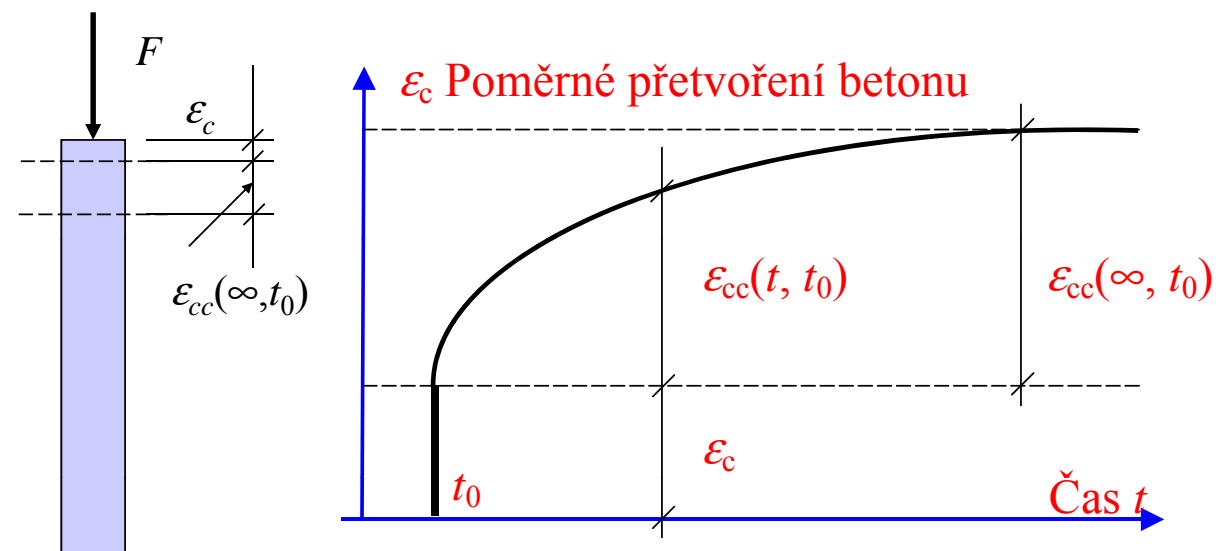
Table 3.2 Nominal unrestrained drying shrinkage values $\epsilon_{cd,0}$ (in ‰) for concrete

$f_{ck}/f_{ck,cube}$ (MPa)	Final unrestrained drying shrinkage (in ‰)					
	Relative Humidity (in ‰)					
	20	40	60	80	90	100
20/25	0.64	0.60	0.50	0.31	0.17	0
40/50	0.51	0.48	0.40	0.25	0.14	0
60/75	0.41	0.38	0.32	0.20	0.11	0
80/95	0.33	0.31	0.26	0.16	0.09	0
90/105	0.30	0.28	0.23	0.15	0.05	0

Konečná hodnota $\varepsilon_{cd,\infty}$

Prostředí	Vlhkost (%)	Nominální rozměr $2A_c/u$ (mm)	
		<150	600
Vnitřní	50	-0,60	-0,50
Vnější	80	-0,33	-0,28

Dotvarování



pozvolný růst trvalých plastických deformací při dlouhodobě působícím zatížení

- doba zatížení, vlhkost prostředí, hutnost betonu,
- podíl cementové malty

Účinky dotvarování

- nárůst průhybů

- nebezpečí vybočení sloupů

- ztráty předpětí u předpjatých konstrukcí

- staticky neurčité – zmenšení napětí od některých účinků (teplota, popuštění podpor)

Součinitel dotvarování $\varphi(t, t_0)$

$$\varepsilon_{cc}(\infty, t_0) = \varepsilon_c \varphi(t, t_0)$$

$$\varphi(t, t_0) = \varphi_0 \cdot \beta_c(t - t_0)$$

$$\beta_c(t - t_0) = \left[\frac{(t - t_0)}{(\beta_H + t - t_0)} \right]^{0,3}$$

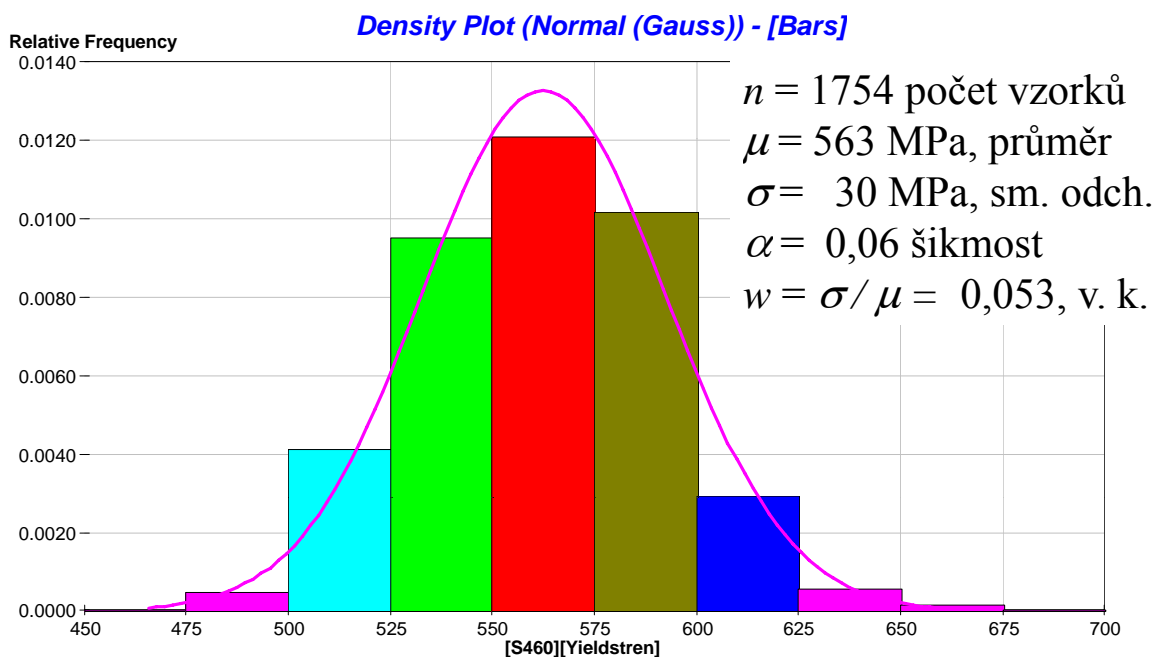
Základní hodnota součinitele dotvarování

$$\varphi_0 = 1,6 \text{ až } 5,5$$

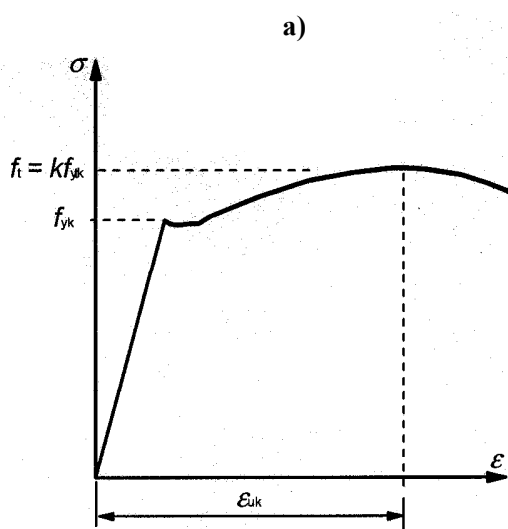
$$\phi_{RH} = 1 + (1 - RH/100)(0,1 (h_o)^{1/3}) \quad \beta(f_{cm}) \quad \beta(t_0)$$

$$\varphi_0 = \phi_{RH} \beta(f_{cm}) \beta(t_0)$$

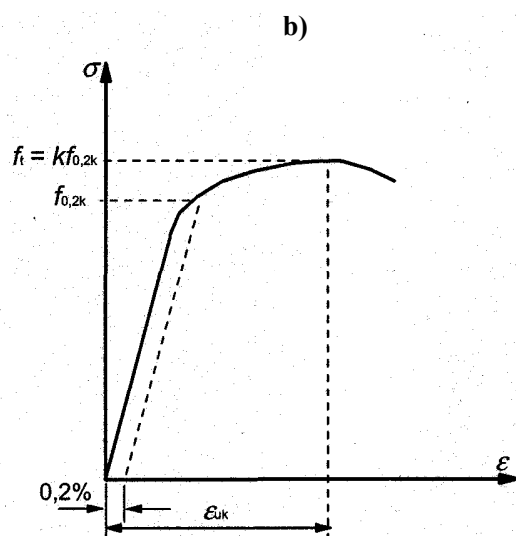
Betonářská výztuž S 460



Pracovní diagram výztuže



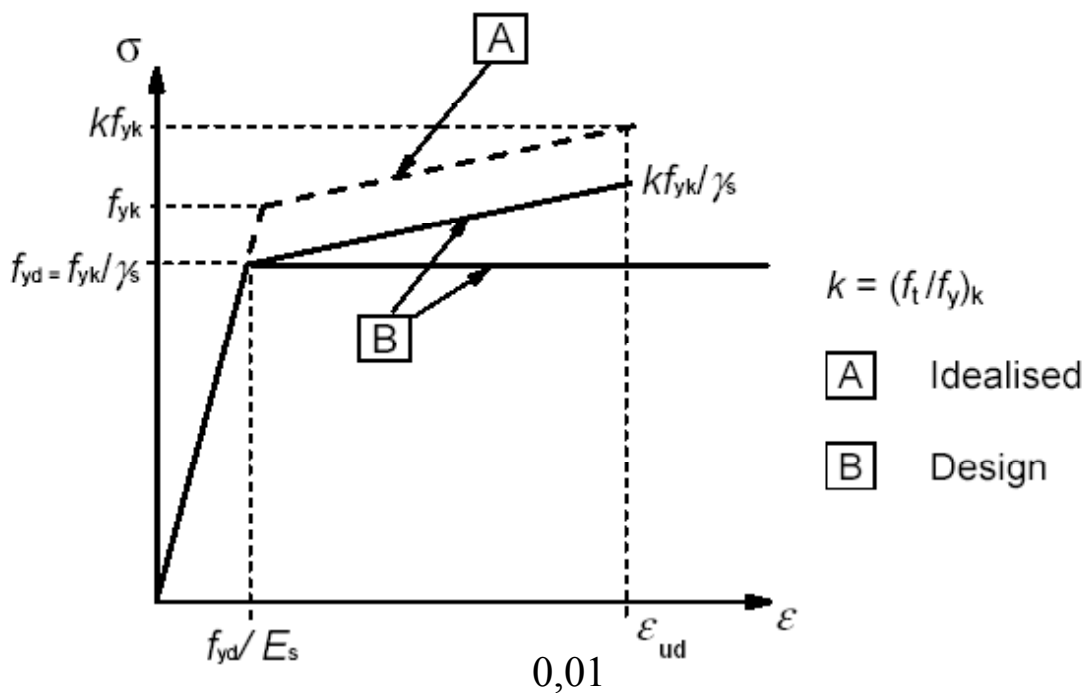
a) ocel za tepla válcovaná



b) ocel za studena tvářená

zvyšuje se mez kluzu a pevnosti,
zmenšuje tažnost

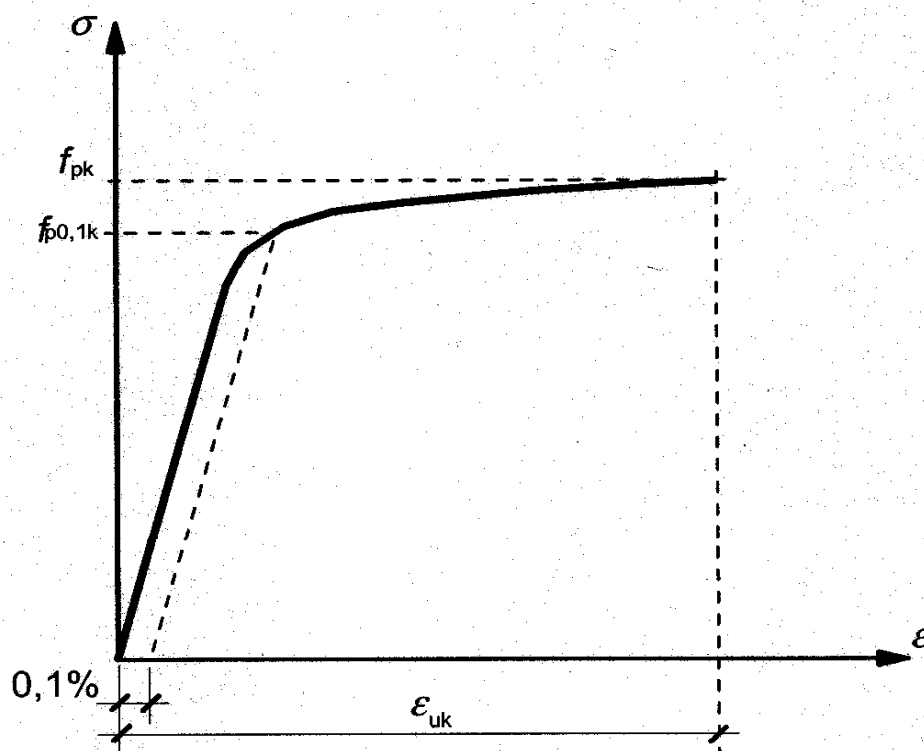
Výztužná ocel – idealizace a návrhový model



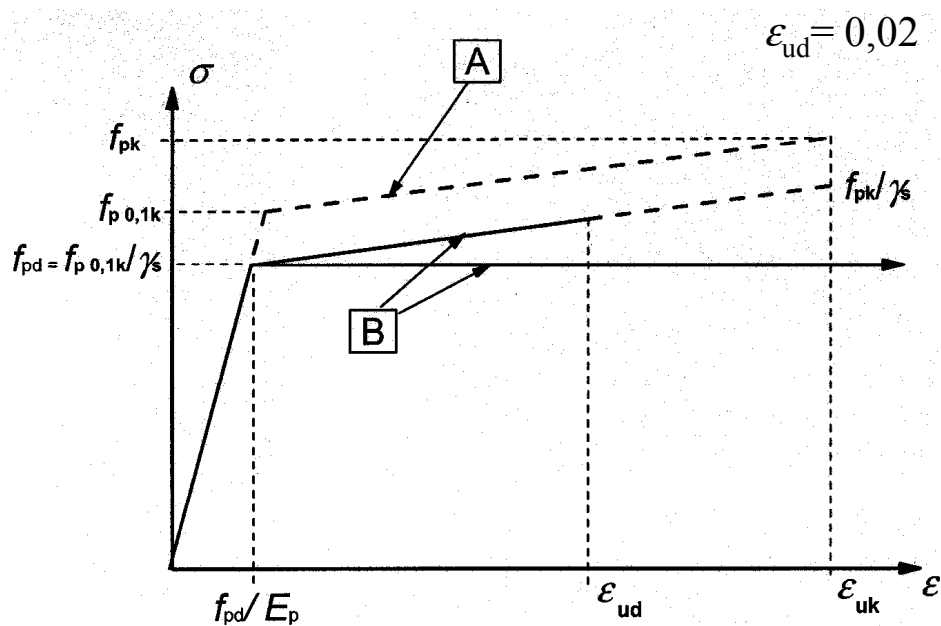
Požadavky na betonářskou výztuž

Výrobek		Tyče a vyrovnané svitky			Svařované sítě			Kvantil %
Třída tažnosti		A	B	C	A	B	C	-
Charakteristická mez kluzu f_{yk} , popř. $f_{0,2k}$ v MPa		400 až 600						5,0
Minimální hodnota $k = (f_t/f_y)_k$		≥1,05	≥1,08	≥1,15 <1,35	≥1,05	≥1,08	≥1,15 <1,35	10
Charakteristická hodnota ε_{uk} (%)		≥2,5	≥5,0	≥7,5	≥2,5	≥5,0	≥7,5	10
Rozmezí únavového napětí (pro $A \geq 2 \cdot 10^6$ cyklů s horní mezí $\beta f_{yk}^{1)}$		≥ 150 MPa			≥ 100 MPa			10
Ohybatelnost		Zkouška ohybem ³⁾			-			
Pevnost svaru ve stříhu		-			$0,3 A^{2) f_{yk}}$			Minimum
Soudržnost:	Vložka Ø mm							5,0
Minimální	5 - 6							
vztažná plocha	6,5 – 12							
žebírek $f_{R,min}$	>12							
Max. odchylka hmotnosti, jednotlivá vložka v %	Vložka Ø mm ≥ 8 > 8	± 6,0 ± 4,5						5,0

Pracovní diagram předpínací výztuže



Návrhový pracovní diagram



A- idealizovaný, B - návrhový

Vyztužování betonu

Pevnost v tahu musí být větší než u betonu

Dostatečná soudržnost výztuže s betonem

Nesmí docházet ke vzájemným korozním reakcím

Tepelná roztažnost výztuže a betonu musí být stejná

Betonářská ocel

Předpínací výztuž

Rozptýlená výztuž

Výztuž tuhá

Betonářské výztuže

Uhlíkové oceli měkké – přirozená mez kluzu přes 200 MPa

Uhlíkové oceli středně tvrdé – vyšší mez kluzu přes 325 MPa

Uhlíkové oceli mírně legované – 410 MPa

Oceli tvářené za studena – tažením, kroucením, zplošťováním zvyšuje se mez kluzu a pevnosti, snižuje tažnost (500 MPa)

Ocele pro předpínací výztuže

Patentované dráty – patentování válcovaného drátu

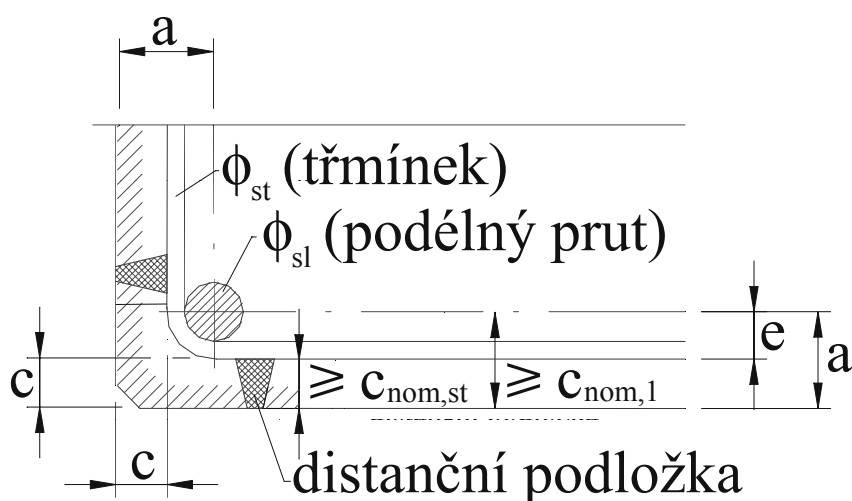
Spletence drátů - 2 až 3 dráty

Lana sedmidrátová – obvykle průměr 2,5 a 5,5 mm

Kabely - sdružení více lan

Tažnost předpínacích drátů je menší asi o 3-4 %

Umístění výztuže



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

$$c_{min,b} \geq \varnothing \text{ nebo } \varnothing_n, \text{ při } d_g > 32 \text{ mm se zvyšuje o } 5 \text{ mm}$$

Minimální krycí vrstva

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

kde $c_{\min,b}$ je minimální vrstva s přihlédnutím k soudržnosti,
 $c_{\min,dur}$ minimální krycí vrstva s přihlédnutím k prostředí,
 $\Delta c_{dur,\gamma}$ přídatná hodnota z hlediska spolehlivosti,
 $\Delta c_{dur,st}$ redukce při použití nerezové oceli,
 $\Delta c_{dur,add}$ redukce při dodatečné ochraně (např. povlak výzt.).

$$C_{nom} = c_{\min} + \Delta c_{dev}, 5 \text{ mm} < \Delta c_{dev} < 10 \text{ mm}$$

Třídy expozice - ukázka

Označ. prostř.	Popis prostředí	Informativní příklady prostředí	Min.třída betonu ¹⁾
1 Bez rizika koroze			
X0	Beton bez výztuže nebo s výztuží v suchém prostředí	Beton uvnitř budov s nízkou vlhkostí vzduchu	C12/15
2 Koroze způsobená karbonatací			
XC1	Suché, stále mokré	Beton uvnitř budov s nízkou vlhkostí vzduchu, beton trvale ponořený ve vodě	C20/25
XC2	Mokré, občas Suché	Povrchy betonů vystavené dlouhodobému působení vody; většina základů	C25/30
XC3	Středně vlhké	Beton uvnitř budov se střední nebo velkou vlhkostí vzduchu, venkovní beton chráněný proti dešti	C30/37
XC4	Střídavě mokré a suché	Povrchy betonů ve styku s vodou, ne však ve stupni vlivu prostředí XC 2	C30/37
3 Koroze způsobená chloridy			
XD1	Středně vlhké	Povrchy betonů vystavené chloridům rozptýleným ve vzduchu	C30/37
XD2	Mokré, zřídka suché	Plavecké bazény; betonové součásti vystavené působení průmyslových vod obsahujících chloridy	C30/37
XD3	Střídavě mokré a suché	Části mostů vystavené postřiku obsahujícímu chloridy; vozovky; desky parkovišť	C35/45

Minimální krytí $c_{\min, \text{dur}}$

požadované z hlediska trvanlivosti pro betonářskou výztuž

Požadavek prostředí pro $c_{\min, \text{dur}}$ [mm]							
Konstrukční třída	Stupeň prostředí						
	X0	XC1	XC2/XC3	XC4	XD1/XS1	XD2/XS2	XD3/XS3
1	10	10	10	15	20	25	30
2	10	10	15	20	25	30	35
3	10	10	20	25	30	35	40
4	10	15	25	30	35	40	45
5	15	20	30	35	40	45	50
6	20	25	35	40	45	50	55

Základní třídou konstrukce je třída 4, modifikace podle další tabulky.

Třída konstrukce

V závislosti na životnosti, typu konstrukce a kontrole jakosti se rozlišují třídy 1 až 6.

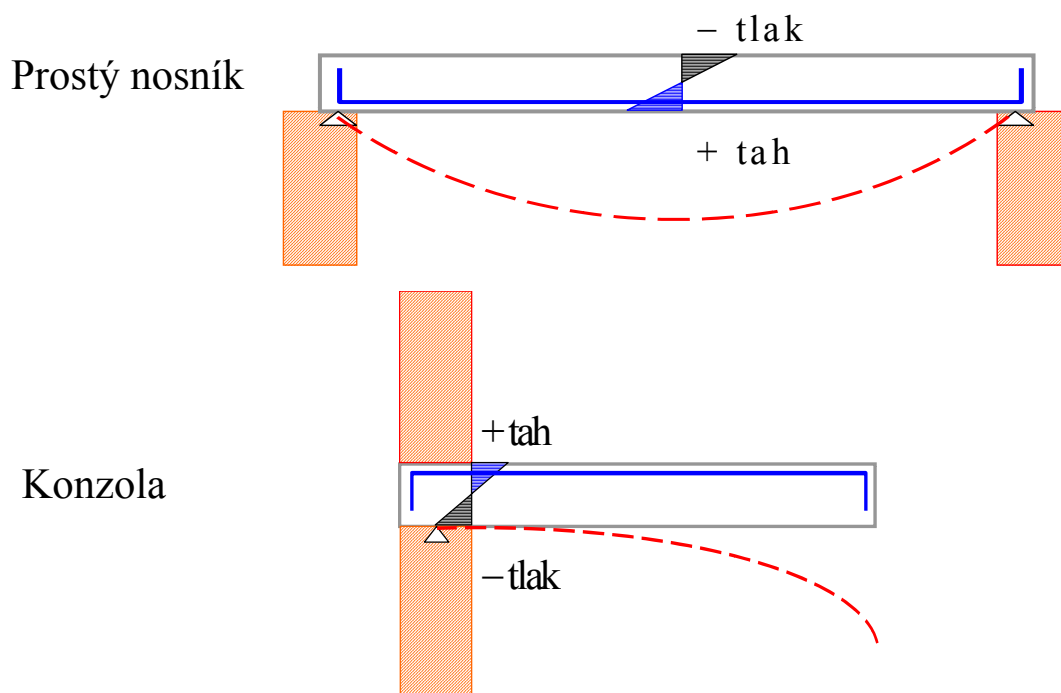
Základní třída pro dobu životnosti 50 let je 4.

Modifikace konstrukční třídy							
Kriterium			Stupeň prostředí podle tab. 3				
	X0	XC1	XC2/XC3	XC4	XD1	XD2/XS1	XD3/XS2/XS3
Životnost 100 let			Zvětšení o 2 třídy				
Pevnostní třída betonu	$\geq C$ 30/37	$\geq C$ 30/37	$\geq C$ 35/45	$\geq C$ 40/50	$\geq C40/50$	$\geq C$ 40/50	$\geq C$ 45/55
Deskové konstrukce	• Zmenšení o 1 třídu						
Zvláštní kontrola kvality	Zmenšení o 1 třídu						

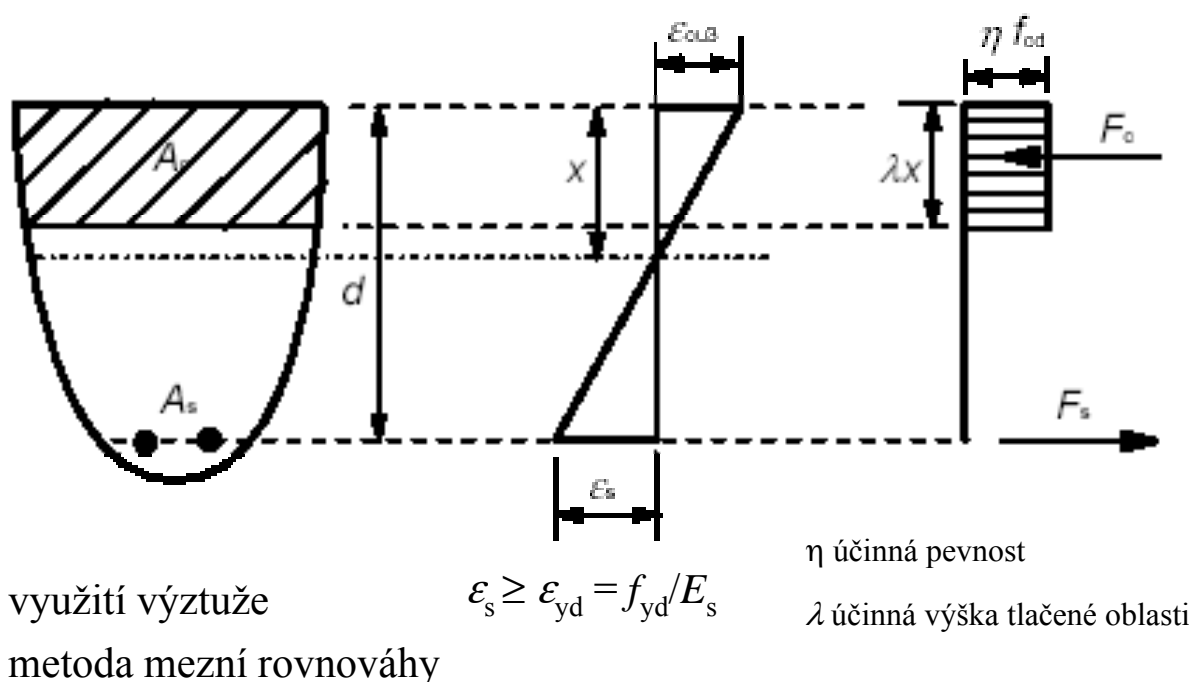
Podstata železobetonu

Dokonalé spojení betonu a ocelové výztuže

Malá pevnost betonu v tahu se kompenzuje ocelovou výztuží



Obdélníkové rozložení napětí



Otázky ke zkoušce

1. Pracovní diagram betonu
2. Charakteristická pevnost
3. Hydratační objemové změny
4. Smršťování
5. Dotvarování
6. Pracovní diagram výztuže
7. Minimální krycí vrstva
8. Podstata železobetonových konstrukcí