

133PSBZ

Požární spolehlivost betonových a zděných konstrukcí

Přednáška B3

ČVUT v Praze, Fakulta stavební
katedra betonových a zděných konstrukcí

Předpjatý beton

1. část - úvod

Obsah:

- Podstata předpjatého betonu
- Předpínací síla a její poloha
- Výpočet napětí v betonu a ve výztuži
- Beton
- Betonářská výztuž
- Předpínací výztuž

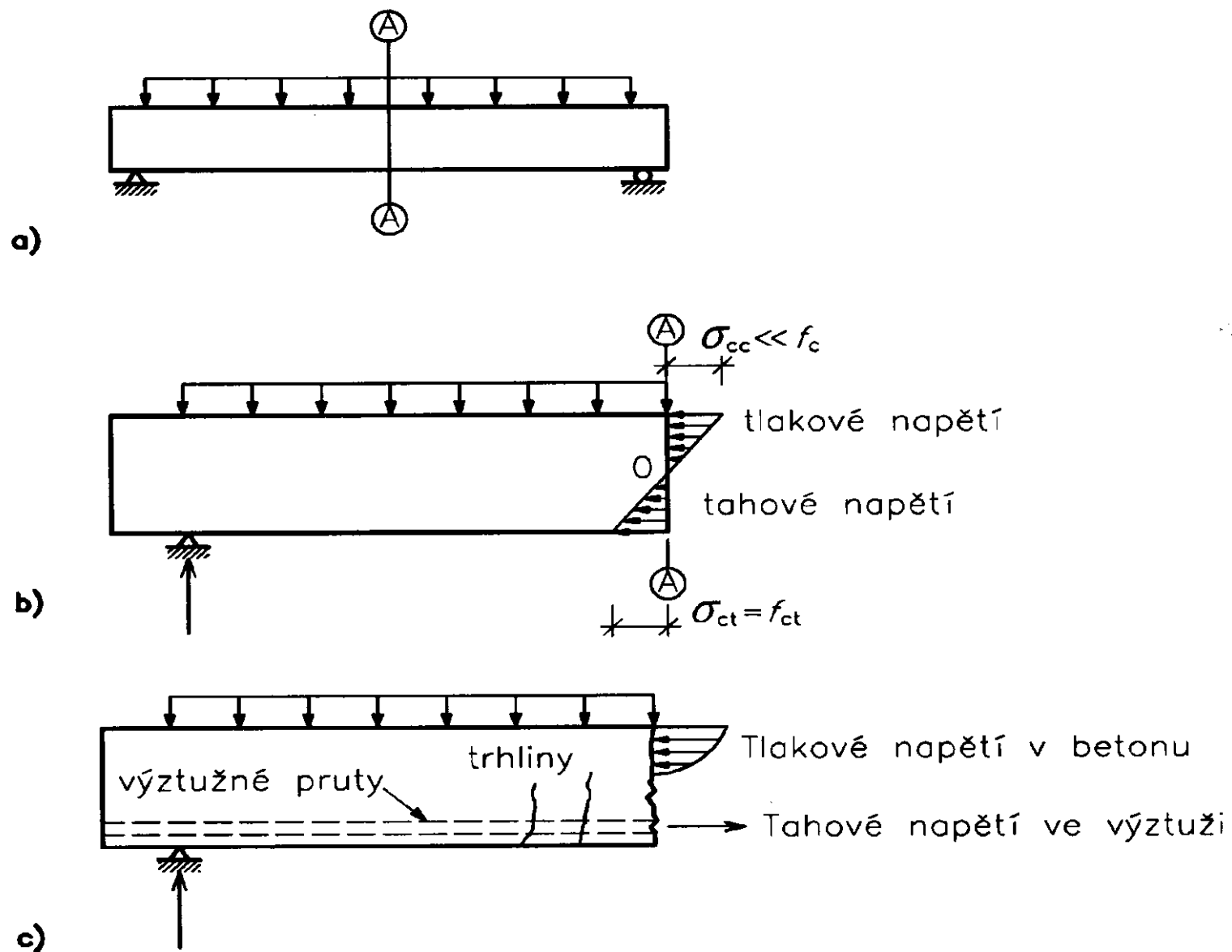
Prostý beton

- malá pevnost v tahu (obyčejný běžný beton - 1/10 pevnosti v tlaku)
- malá průtažnost (duktilita - cca $0,1^0/_{00}$ při prostém tahu a $0,3^0/_{00}$ při tahu za ohybu)

Železobeton

- betonářská výztuž zachycuje tah
- minimální výztuž (aby zatížení odpovídající únosnosti nevyztuženého betonu bylo možno zvýšit minimálně o 20%)
- vylučuje se ze spolupůsobení tažená oblast betonu
- nelze používat vysokopevnostní výztuž, neboť při jejím využití by došlo k jejímu velkému přetvoření a tím i k širokým trhlinám

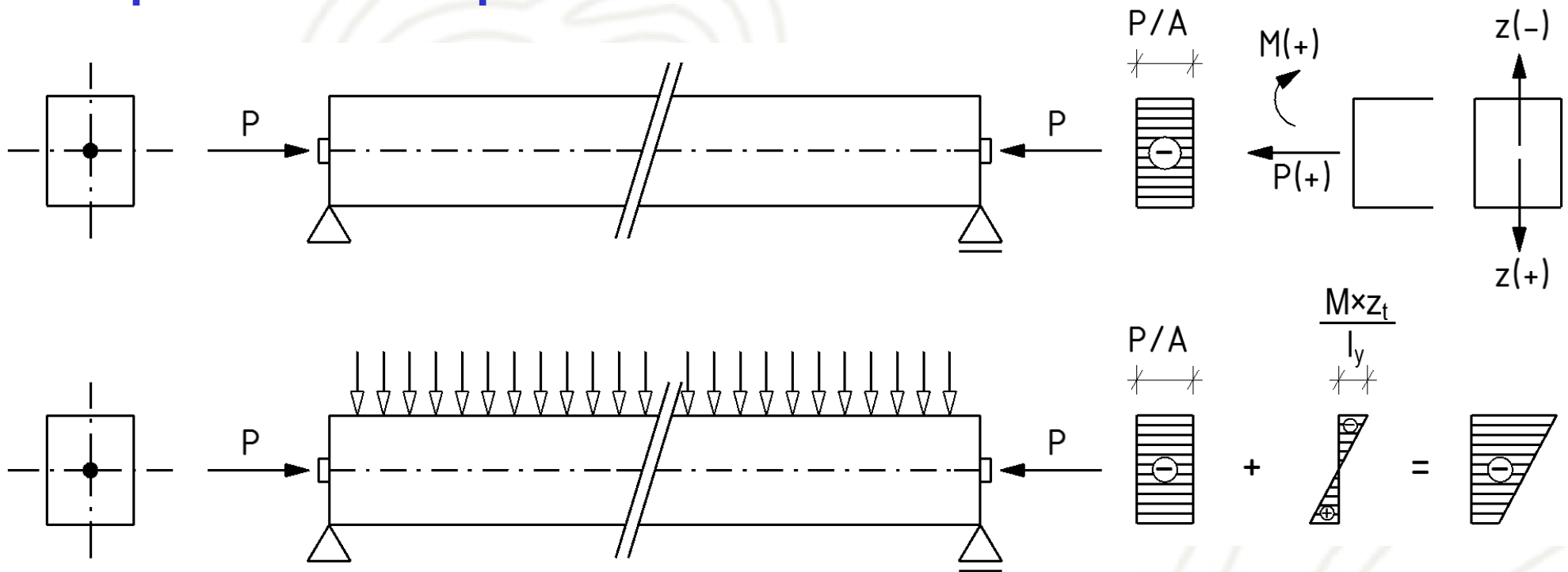
Nosník z prostého betonu a železobetonu



Předpjatý beton

- pomocí předpínací výztuže vyvodíme tlakové předpětí, a to tak, aby tahová napětí, která vyvodí provozní zatížení, odčerpávala toto tlakové předpětí
- důležitá je poloha vedení předpínací výztuže

Předpětí v těžišti průřezu



$$\sigma_t = \frac{P}{A} + \frac{M \times z_t}{I_y}$$

$$\sigma_b = \frac{P}{A} + \frac{M \times z_b}{I_y}$$

t – horní vlákna (top)

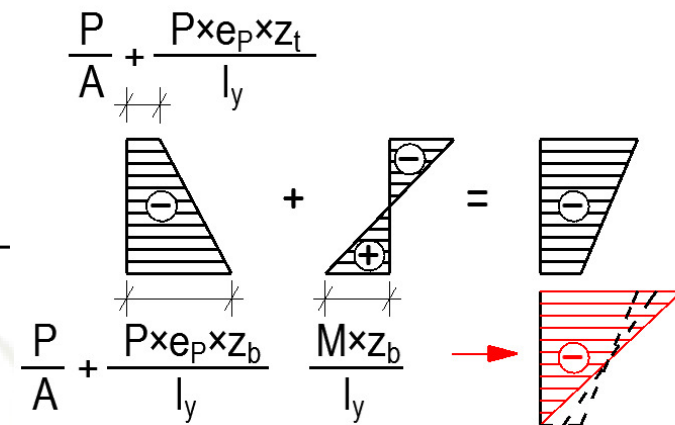
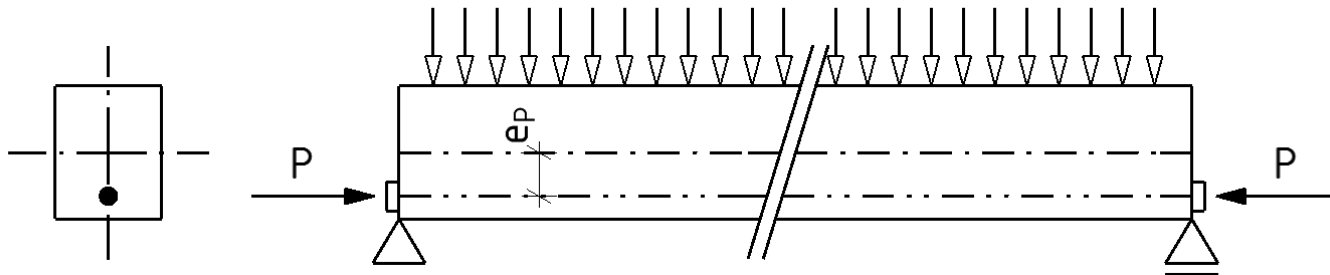
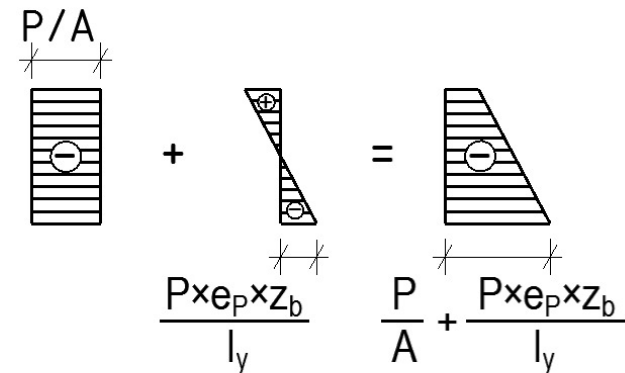
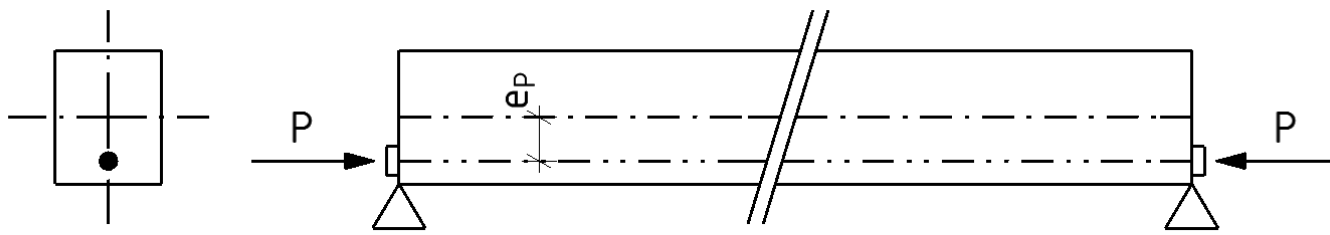
b – spodní vlákna (bottom)

z_t – vzdálenost horních vláken od neutrální osy

z_b – vzdálenost spodních vláken od neutrální osy

I_y – moment setrvačnosti k ose y

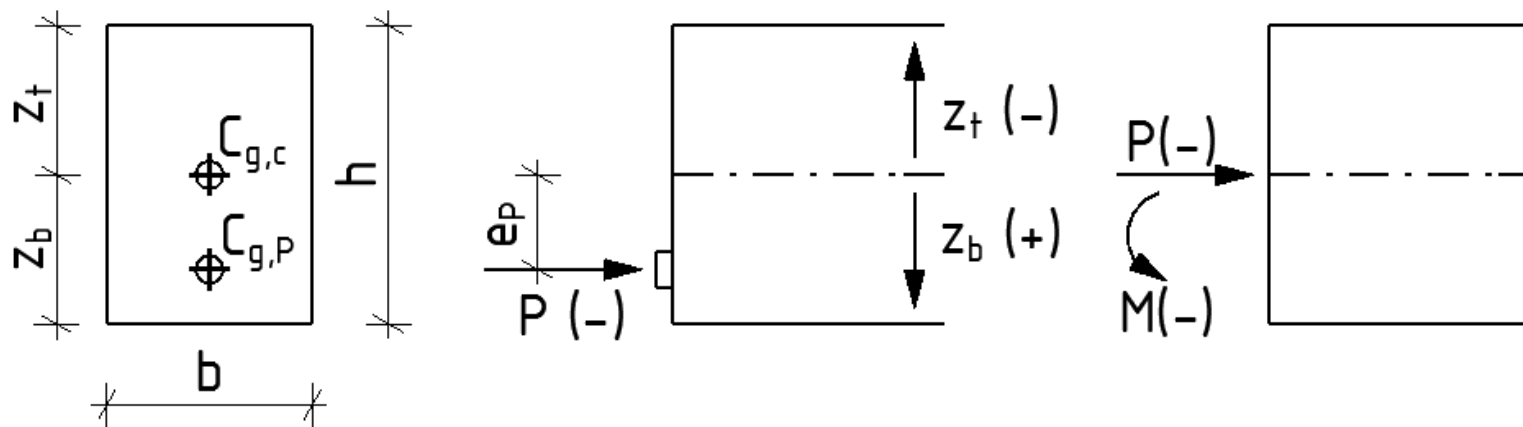
Předpětí s výstředností e_p



$$\sigma_t = \frac{P}{A} + \frac{P \times e_p \times z_t}{I_y} + \frac{M \times z_t}{I_y}$$

$$\sigma_b = \frac{P}{A} + \frac{P \times e_p \times z_b}{I_y} + \frac{M \times z_b}{I_y}$$

Předpětí s výstředností e_p



$$\sigma_t = \frac{P}{A} + \frac{P \times e_p \times z_t}{I_y}$$

$$\sigma_b = \frac{P}{A} + \frac{P \times e_p \times z_b}{I_y}$$

Průřezový modul v ohybu

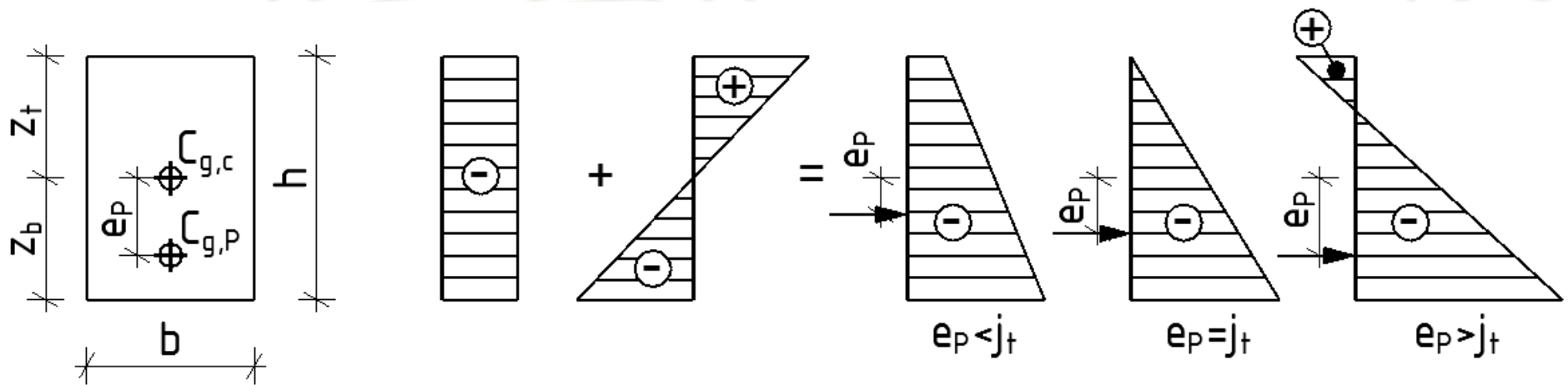
$$W_t = \frac{I_y}{z_t}; W_b = \frac{I_y}{z_b}$$

Pro obdélník o rozměrech b, h

$$W_t = \frac{\frac{1}{12} \times b \times h^3}{-\frac{h}{2}} = -\frac{b \times h^2}{6}$$

$$W_b = \frac{\frac{1}{12} \times b \times h^3}{\frac{h}{2}} = \frac{b \times h^2}{6}$$

Předpětí s výstředností e_p



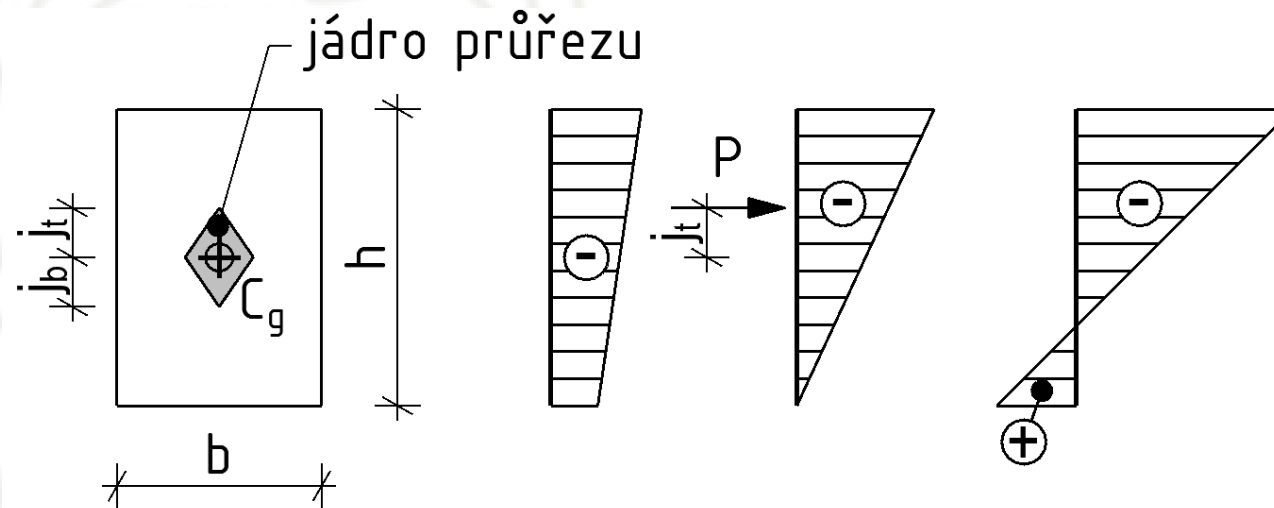
Výpočet j_t ; $\sigma_t = 0$

$$\sigma_t = \frac{P}{A} + \frac{P \times e_p \times z_t}{I_y} \Rightarrow 0 = \frac{P}{A} + \frac{P \times j_t \times z_t}{I_y} \rightarrow j_t = -\frac{I_y}{A \times z_t}$$

Pro obdélník o rozměrech b, h

$$j_t = -\frac{\frac{1}{12} \times b \times h^3}{b \times h \times \left(-\frac{h}{2}\right)} = \frac{h}{6}$$

Předpětí s výstředností e_p



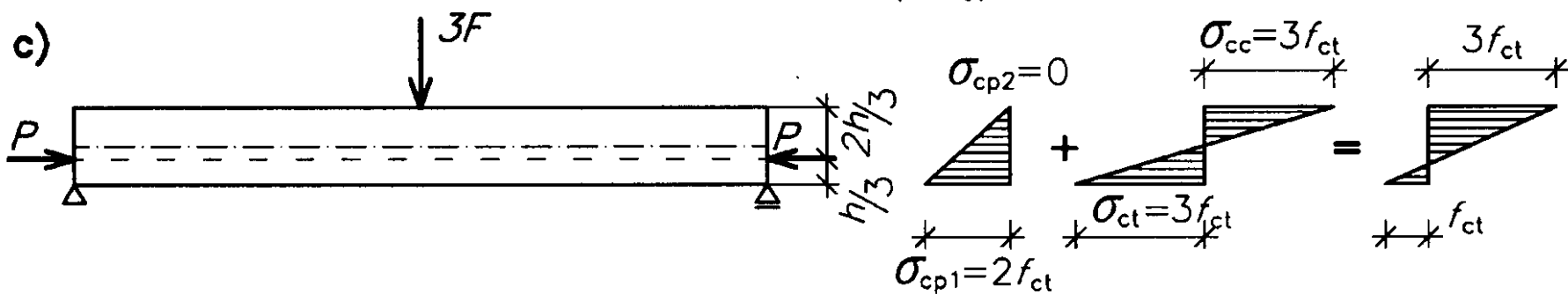
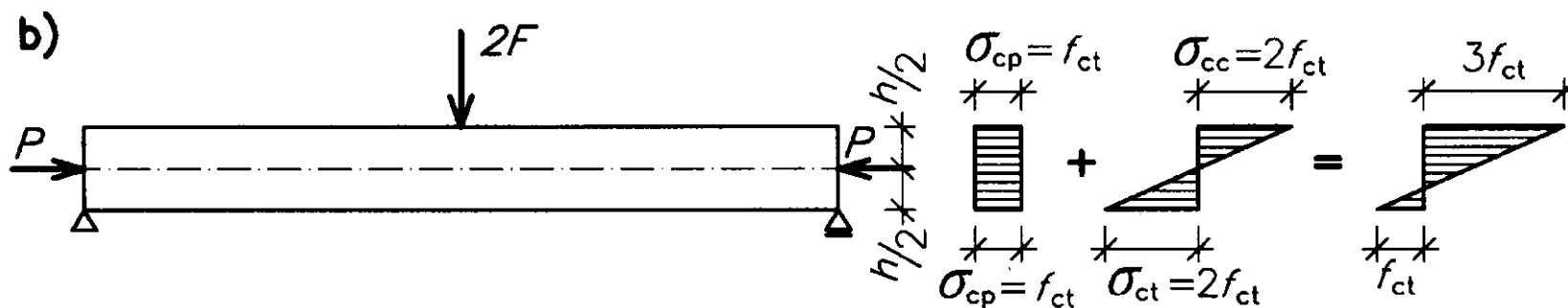
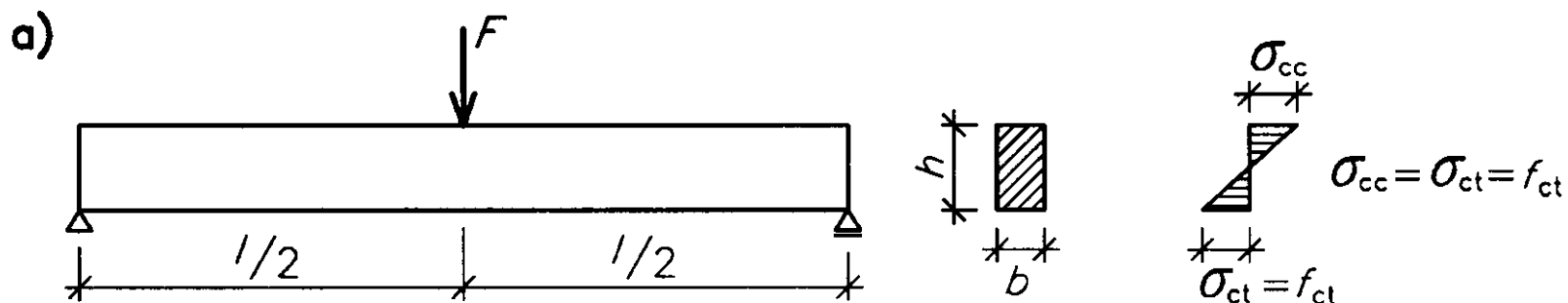
Výpočet j_b ; $\sigma_b = 0$

$$\sigma_b = \frac{P}{A} + \frac{P \times e_p \times z_b}{I_y} \Rightarrow 0 = \frac{P}{A} + \frac{P \times j_b \times z_b}{I_y} \rightarrow j_b = -\frac{I_y}{A \times z_b}$$

Pro obdélník o rozměrech b, h

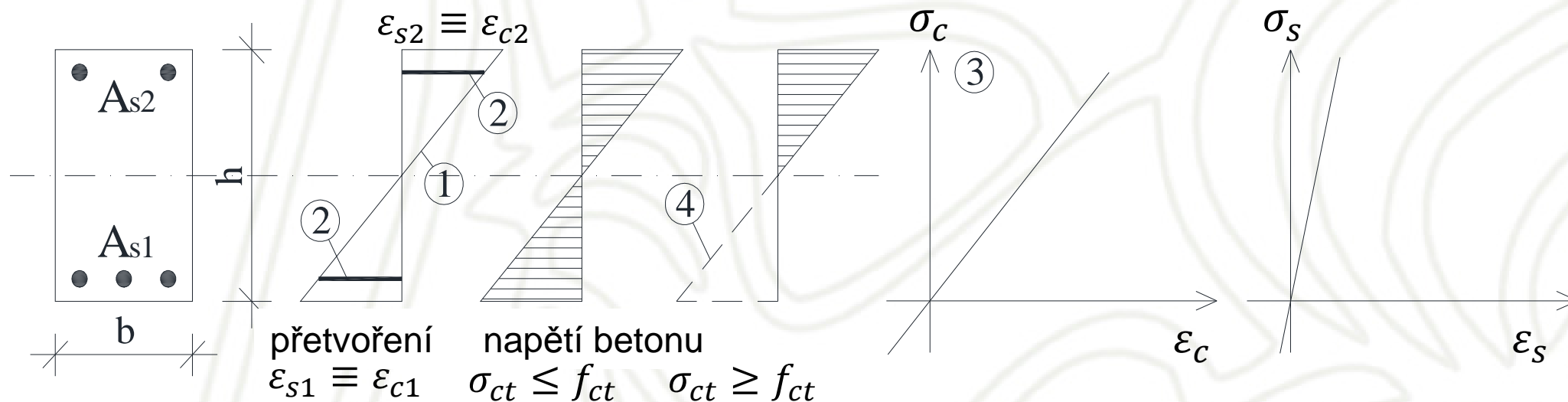
$$j_b = -\frac{\frac{1}{12} \times b \times h^3}{b \times h \times \frac{h}{2}} = -\frac{h}{6}$$

Nosník z prostého a předpjatého betonu

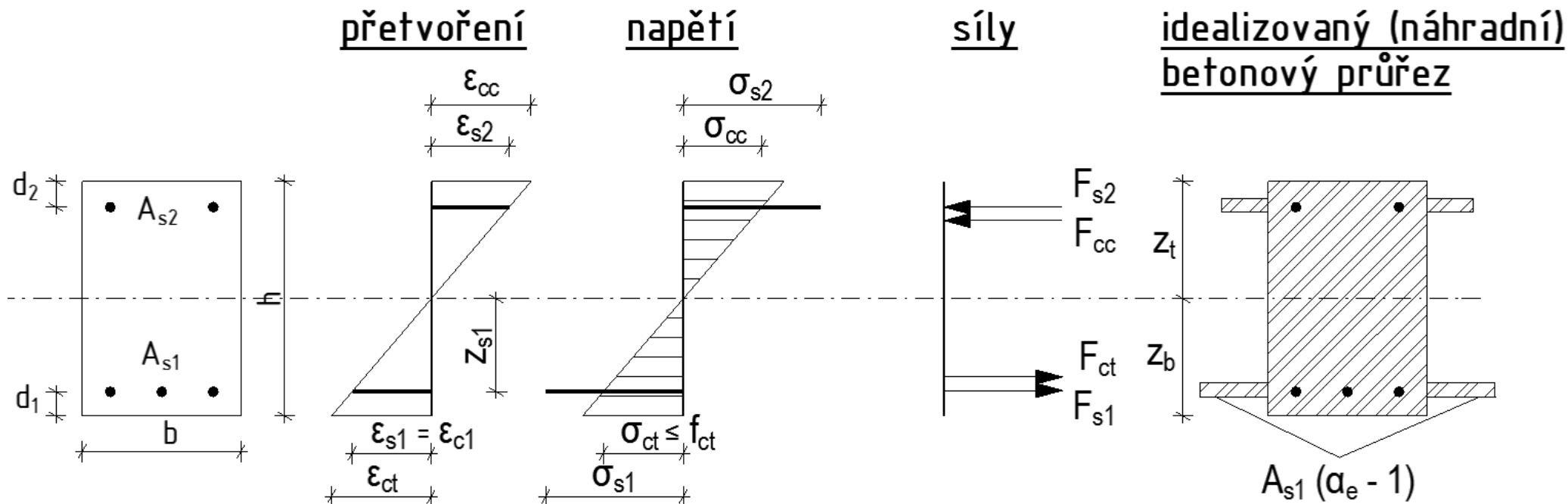


Předpoklady výpočtu napětí

1. Přetvoření je přímo úměrné vzdálenosti od neutrální osy
2. Přetvoření soudržné výztuže je rovno přetvoření betonu v úrovni výztuže
3. Beton i výztuž působí jako lineárně pružné materiály
4. Beton v tahu působí do vzniku první trhliny (napětí v krajních tažených betonových vláknech dosáhne pevnosti betonu v tahu)



Průřez bez trhliny



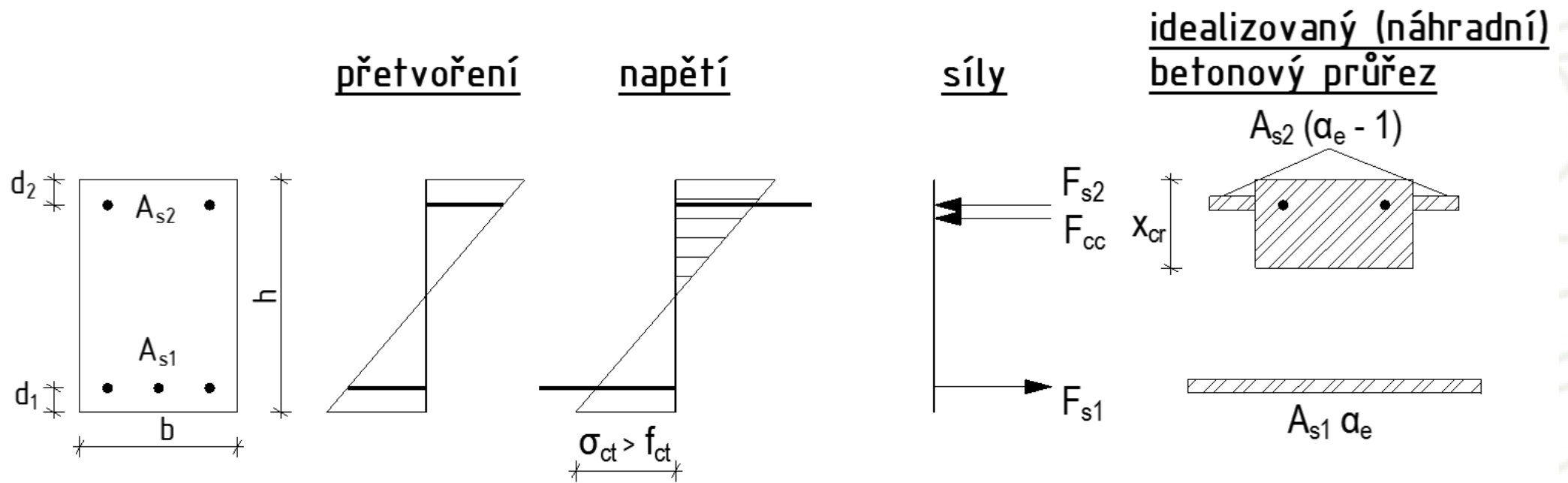
$$\varepsilon_{s1} = \frac{\sigma_{s1}}{E_s} \quad \varepsilon_{c1} = \frac{\sigma_{c1}}{E_c}$$

$$\frac{\sigma_{s1}}{E_s} = \frac{\sigma_{c1}}{E_c} \rightarrow \sigma_{s1} = \sigma_{c1} \frac{E_s}{E_c}$$

$$\alpha_e = \frac{E_s}{E_c}$$

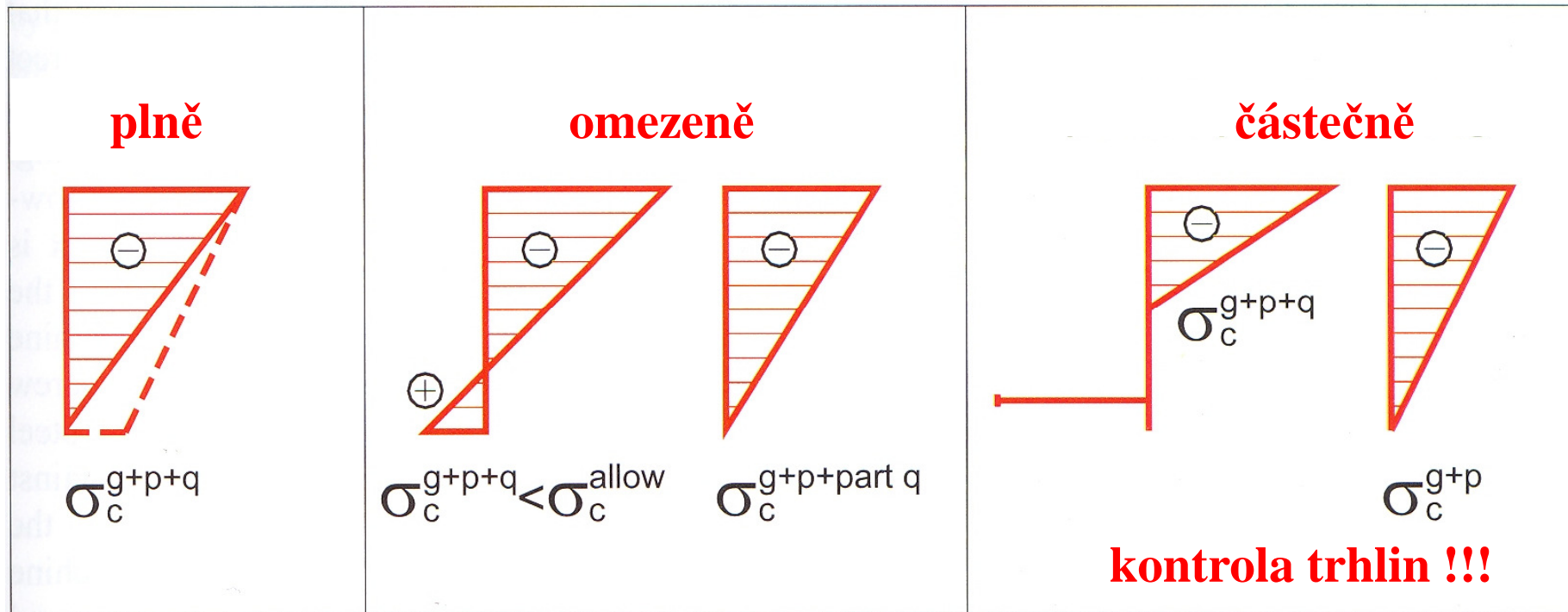
$$F_{s1} = A_{s1} \times \sigma_{c1} \times \alpha_e$$

Průřez s trhlinou



$$\alpha_e = \frac{E_s}{E_c}$$

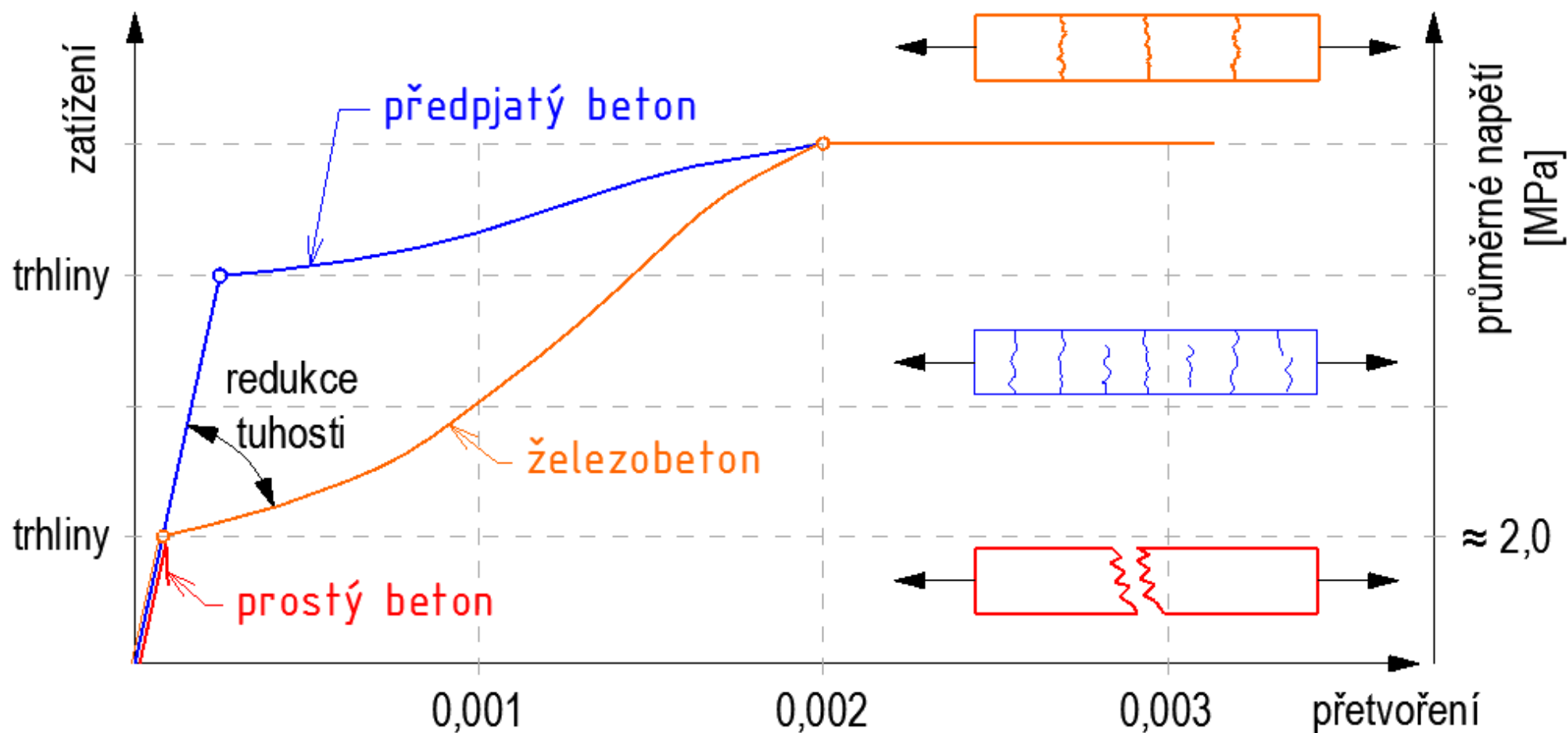
Klasifikace předpjatého betonu podle úrovně předpětí



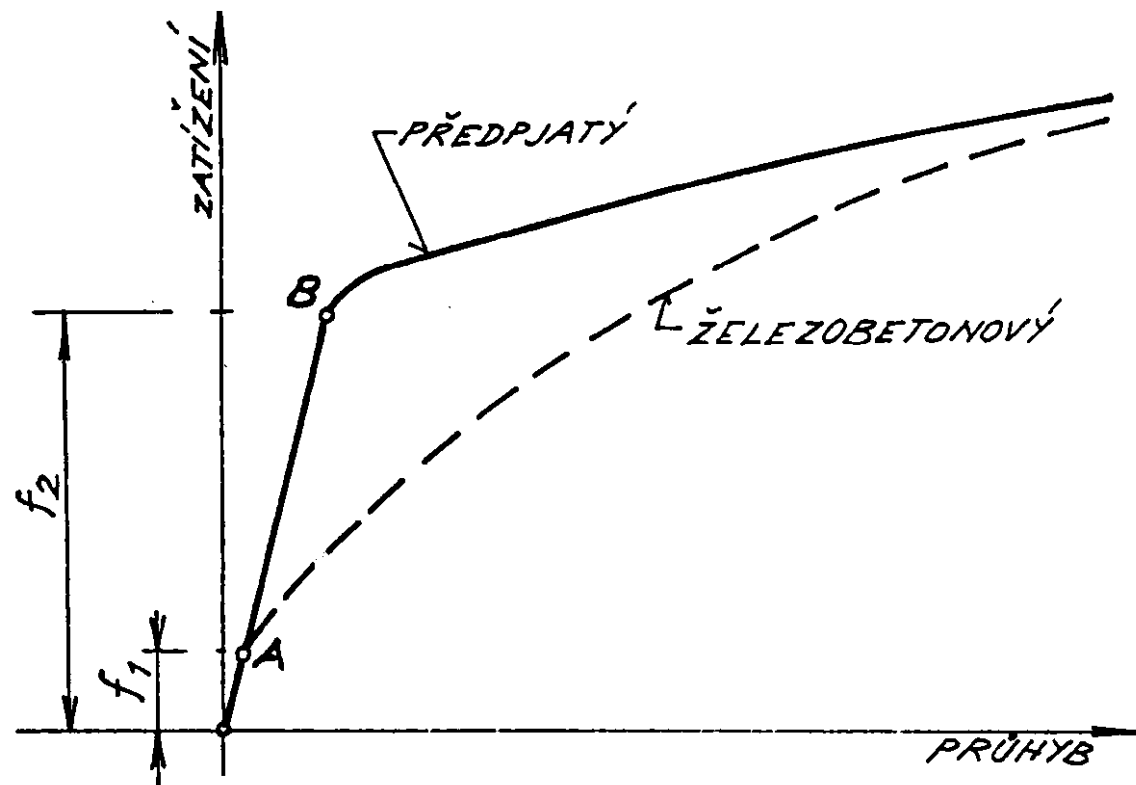
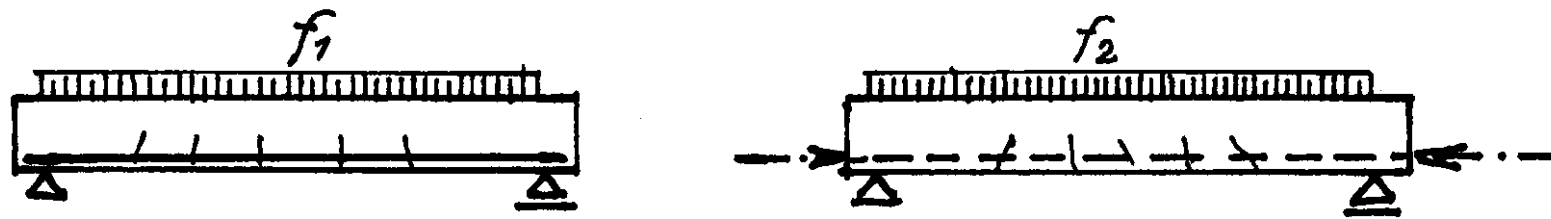
Výhody předpjatého betonu

- zvýšení odolnosti proti vzniku trhlin
- zapojení větší části průřezu v provozním stavu do nosné funkce (u plně předpjatého průřezu - působí celý průřez)
- zmenšení spotřeby betonu a oceli (nutno však použít kvalitnější materiály)
- zvětšení odolnosti proti dynamickým účinkům a střídavému namáhání
- zvětšení životnosti konstrukcí

Rozdíl mezi chováním prostého betonu, železobetonu a předpjatého betonu v tahu



Porovnání chování železobetonového a předpjatého nosníku při teoreticky stejném vyztužení (kvalita i plocha výztuže)



Materiály

- **Beton**
- **Ocel**
 - **betonářská**
 - **předpínací**

Beton (dle ČSN EN 1992-1-1)

Třídy betonu

- C8/10 až C100/115 (charakteristická válcová pevnost/ charakteristická krychelná pevnost)
- \geq C100/115 (křehký materiál)
- \geq C30/37 (předpjatý beton)



Třídy a charakteristiky betonu

Charakteristika betonu		Třídy betonu														Vztah
		C 12/15	C 16/20	C 20/25	C 25/30	C 30/37	C 35/45	C 40/50	C 45/55	C 50/60	C 55/67	C 60/75	C 70/85	C 80/95	C 90/105	
Pevnost v tlaku	f_{ck} [MPa]	12	16	20	25	30	35	40	45	50	55	60	70	80	90	$f_{ck} = f_{ck,cyl}$ [viz EN 206-1]
	$f_{ck,cube}$ [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]
Pevnost v tahu	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	$f_{ctm} = 0,3 f_{ck}^{(2/3)} \leq C50/60$ $f_{ctm} = 2,12 \ln[1+(f_{cm}/10)] > C 50/60$
	$f_{ctk;0,05}$ [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	$f_{ctk;0,05} = 0,7 f_{ctm}$ (0,05 kvantil)
	$f_{ctk;0,95}$ [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	$f_{ctk;0,95} = 1,3 f_{ctm}$ (0,95 kvantil)
E_{cm} [GPa]		27	29	30	31	32	34	35	36	37	38	39	41	42	44	$E_{cm} = 22 (f_{cm}/10)^{0,3}$ (f_{cm} v MPa)
Přetvoření betonu	ϵ_{c1} [‰]	1,80	1,90	2,00	2,10	2,20	2,25	2,30	2,40	2,45	2,50	2,60	2,70	2,80	2,80	ϵ_{c1} [‰] = $0,7 f_{cm}^{0,31} < 2,80$ (obr.a)
	ϵ_{cu1} [‰]	3,50									3,20	3,00	2,80	2,80	2,80	pro $f_{ck} \geq 50$ MPa (obr. a) ϵ_{cu1} [‰] = $2,80+27[(98-f_{cm})/100]^4$
	ϵ_{c2} [‰]	2,00									2,20	2,30	2,40	2,50	2,60	pro $f_{ck} \geq 50$ MPa (obr. b) ϵ_{c2} [‰] = $2,00+0,085(f_{ck}-50)^{0,53}$
	ϵ_{cu2} [‰]	3,50									3,10	2,90	2,70	2,60	2,60	pro $f_{ck} \geq 50$ MPa (obr. b) ϵ_{cu2} [‰] = $2,60+35[(90-f_{ck})/100]^4$
	n	2,00									1,75	1,60	1,45	1,40	1,40	pro $f_{ck} \geq 50$ MPa $n = 1,40+23,4[(90-f_{ck})/100]^4$
	ϵ_{c3} [‰]	1,75									1,80	1,90	2,00	2,20	2,30	pro $f_{ck} \geq 50$ MPa (obr. c) ϵ_{c3} [‰] = $1,75+0,55[(f_{ck}-50)/40]$
	ϵ_{cu3} [‰]	3,50									3,10	2,90	2,70	2,60	2,60	pro $f_{ck} \geq 50$ MPa (obr. c) ϵ_{cu3} [‰] = $2,60+35[(90-f_{ck})/100]^4$

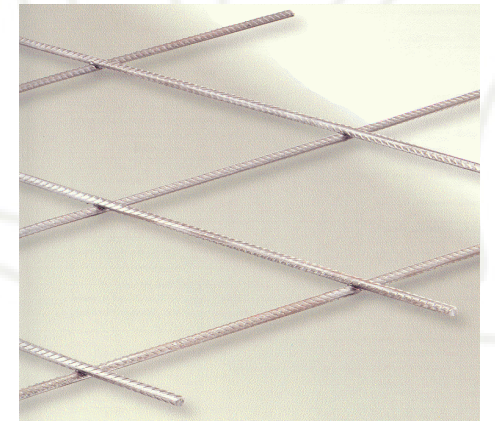
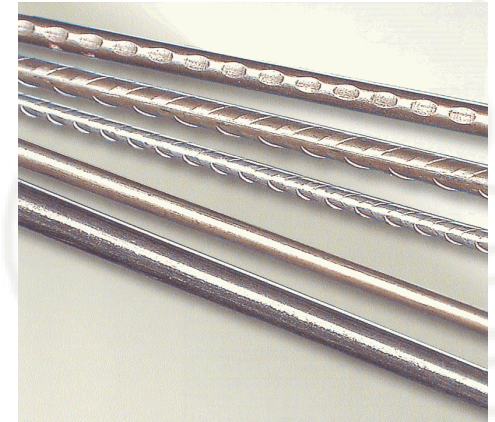
Betonářská výztuž (dle ČSN EN 10 080)

Výrobky:

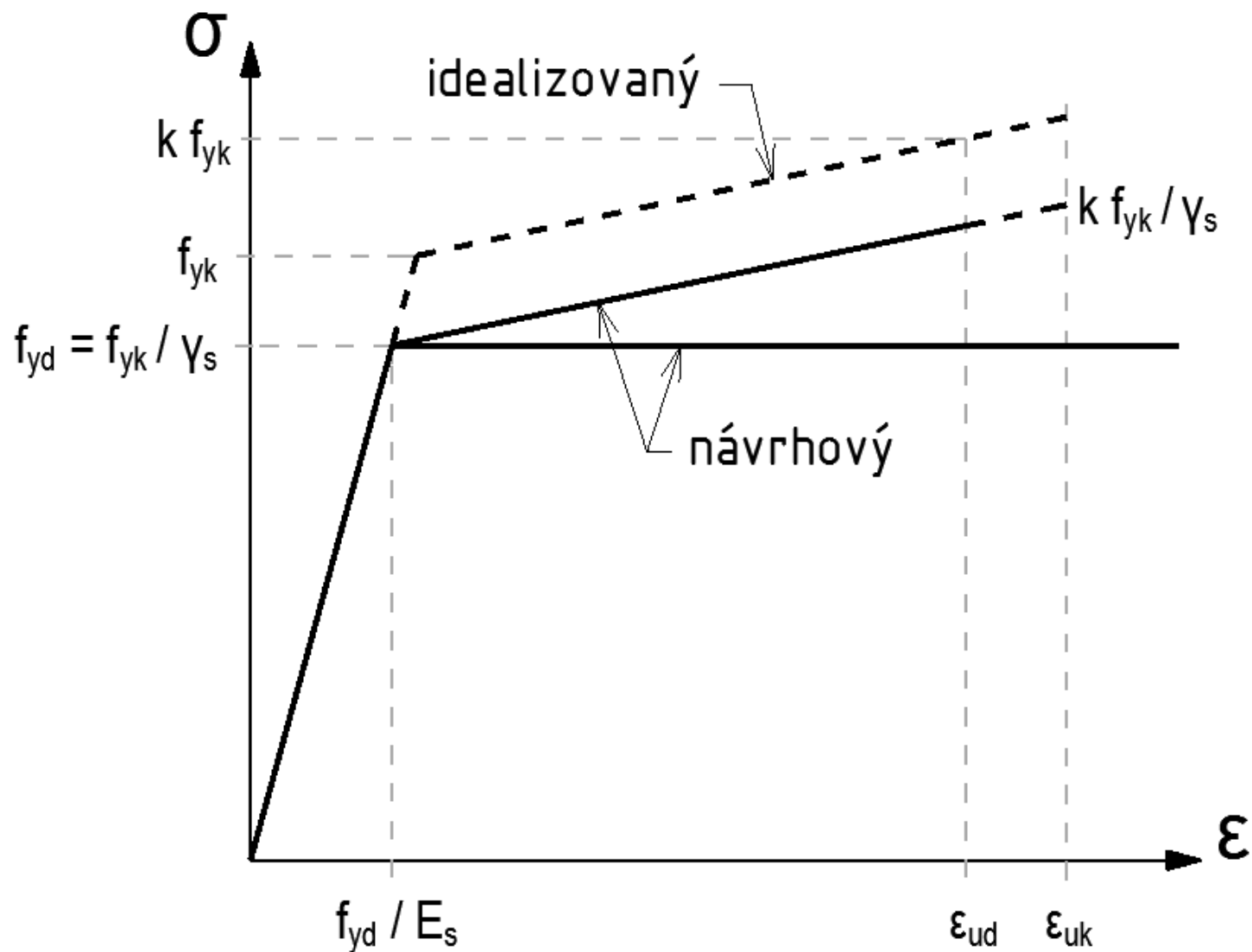
- **Pruty** - výztuž s upraveným povrchem, $\varnothing > 8$ mm
- **Dráty** - svitky, $\varnothing \leq 14$ mm
- **Svařované sítě**

Značka oceli

- **B** betonářská ocel f_{yk} ($f_{0,2k}$) v MPa
- **A, B, C** třída tažnosti, např. B 500 B



Idealizovaný a návrhový pracovní diagram oceli



$$k = (f_t / f_y)_k$$

$$\epsilon_{ud} = 0,9 \times \epsilon_{uk}$$

Předpínací výztuž (dle EN 10 138)

Výrobky:

- **Dráty** - předpínací prvky dodávané ve svitcích, $\varnothing \leq 10$ mm
- **Lana**
- **Pruty**

Označení:

- **Y** předpínací ocel
 - charakteristická tahová pevnost (f_{pk})- eg. Y 1860

Předpínací výztuž (dle EN 10 138)

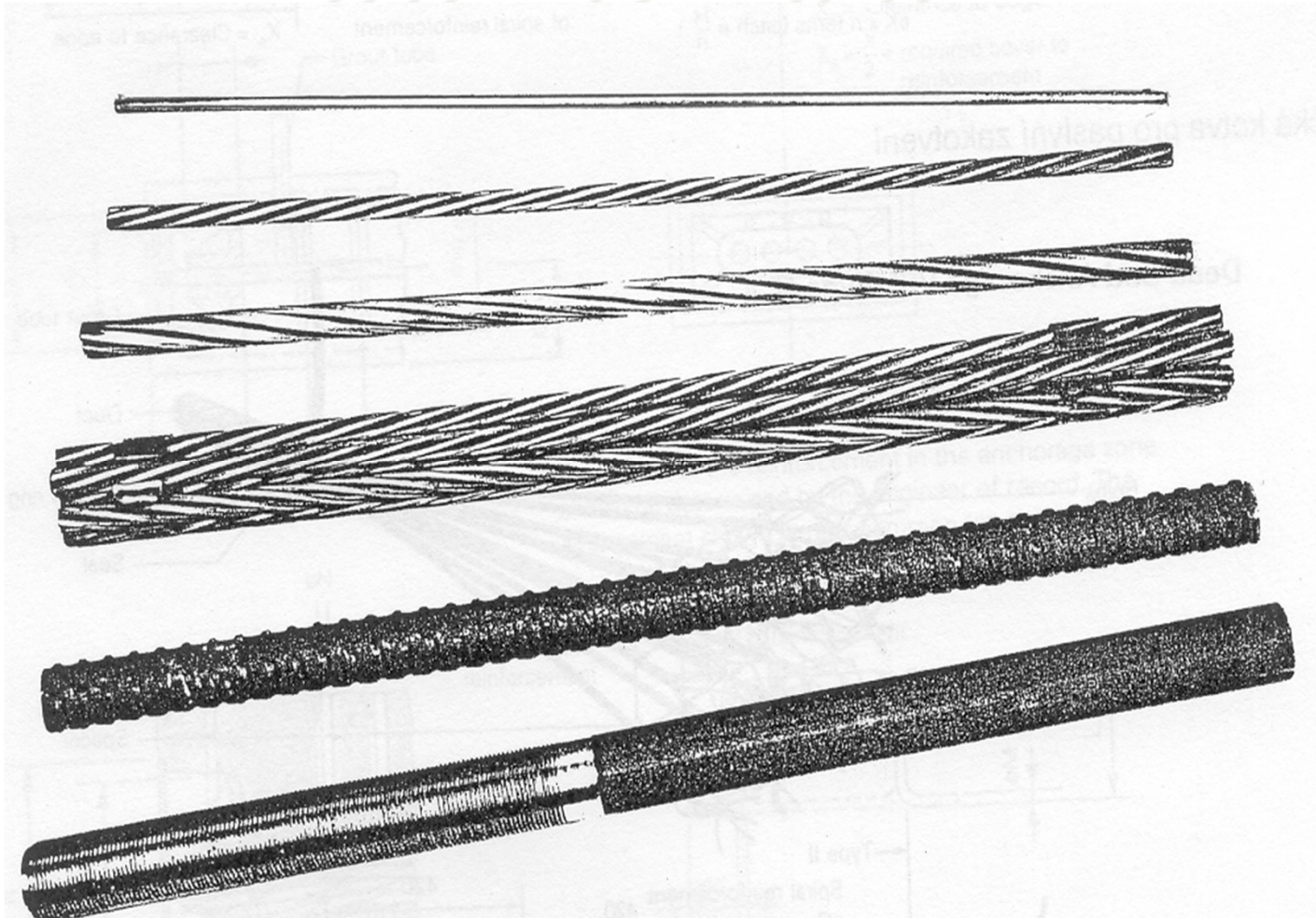
Spojení s betonem:

- **předp. výztuž se soudržností**
- **předp. výztuž bez soudržnosti** (lana v ochranném PE obalu vyplněném vazelínou - např. monostrand)

Umístění v konstrukci:

- **vnitřní předpínací výztuž**
(uvnitř betonu, se soudržností / bez soudržnosti)
- **vnější předpínací výztuž**
(vně betonu, spojení v čelech a místech deviátorů)
- **kombinovaná předpínací výztuž**

Druhy předpínací výztuže



Dráty

Spletence

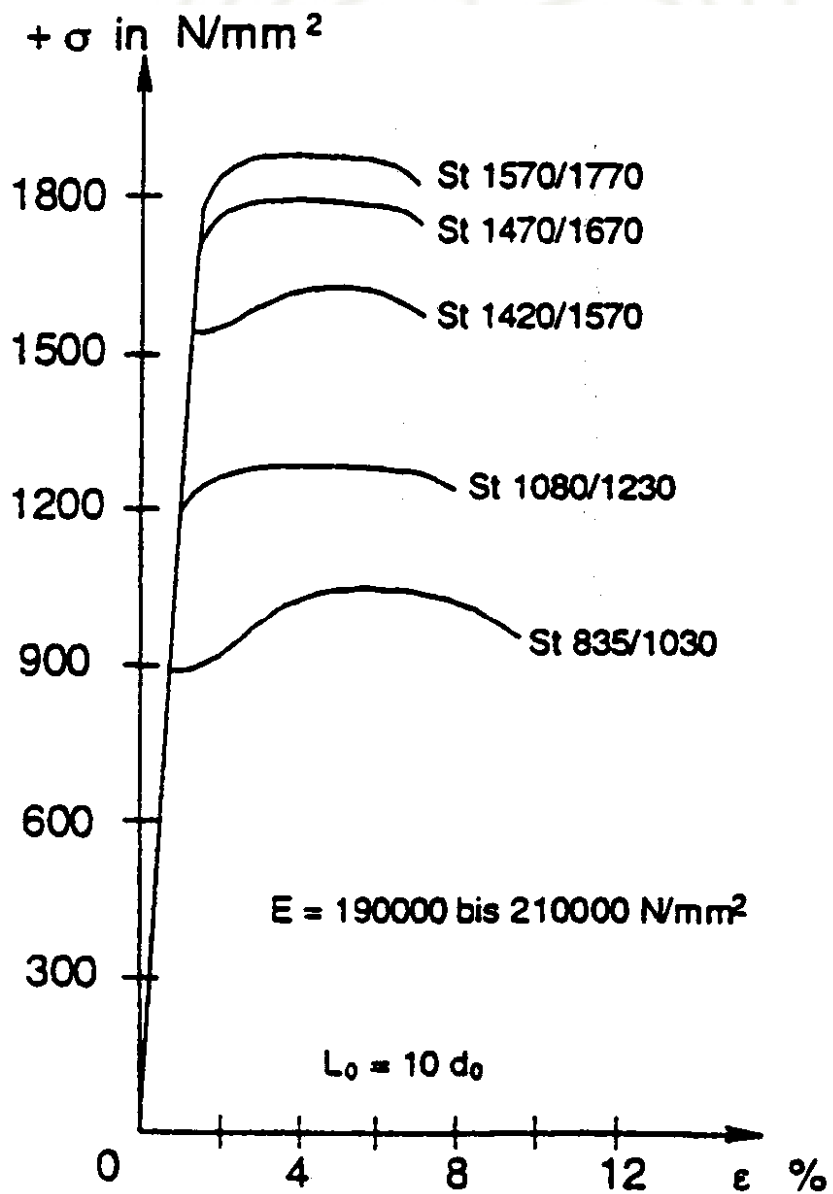
Slaněné spletence

Sedmidrátové lano

**Tyč Dividag
(žebrovaná)**

Tyč Macalloy

Dráty



Dráty: \emptyset

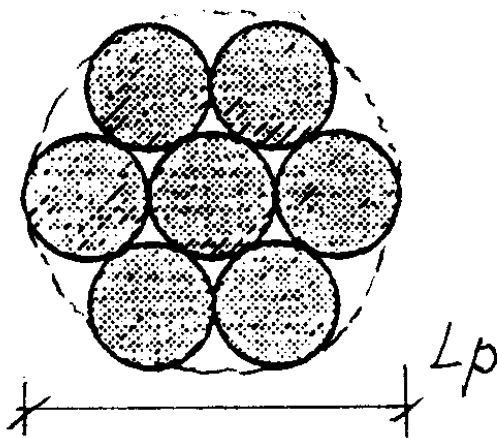
3,0; 3,5; 4,0; 4,5; 4,7; 5,0

6,0; 6,3; 6,5; 7,0; 7,5; 8,0;

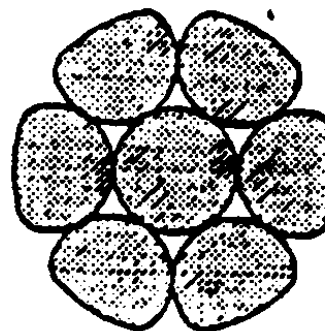
9,0; 10,0

Drátové lano

7-mi drátové lano



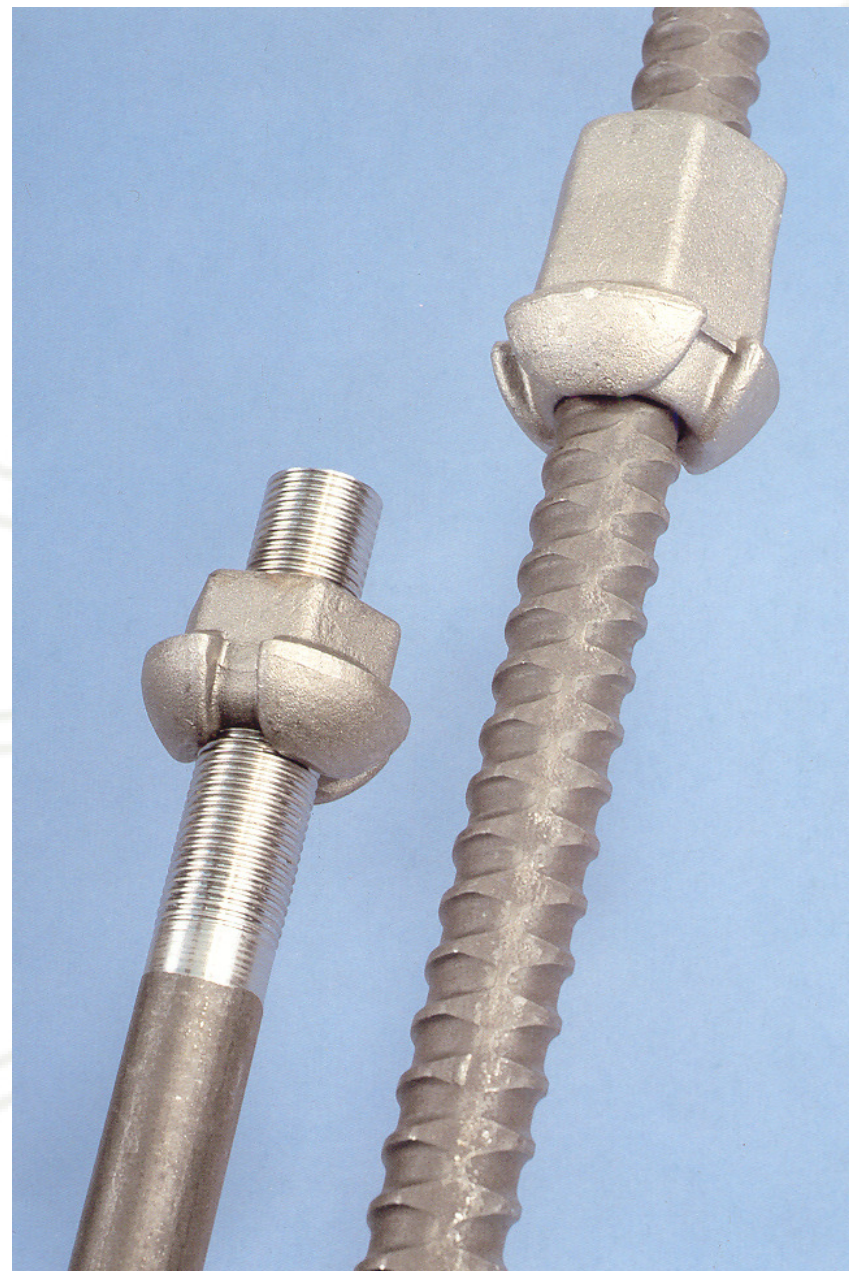
kompaktní 7-mi drátové lano

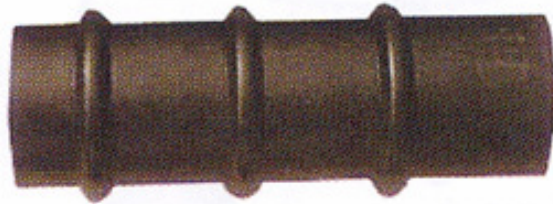


Lano: např. Y S1770S7 15,2
jádro $\emptyset P 5,2 + 6 \times \emptyset P 5,0$

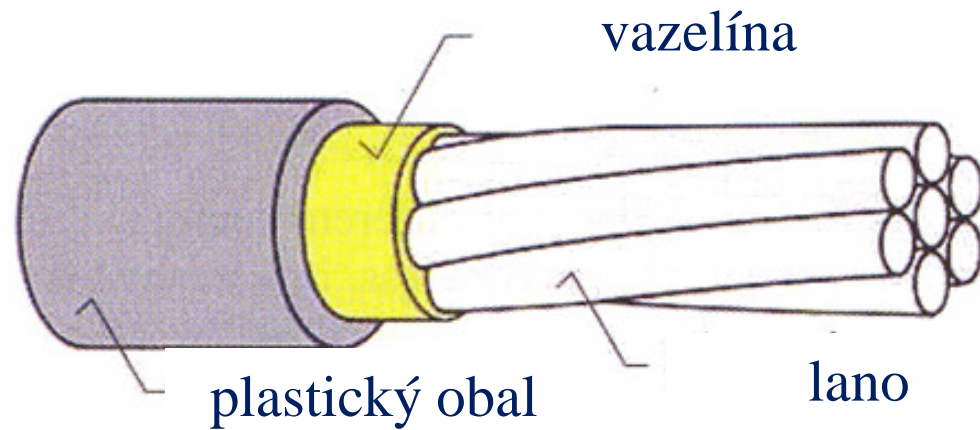
Tyče

- např. Ø 20, 32

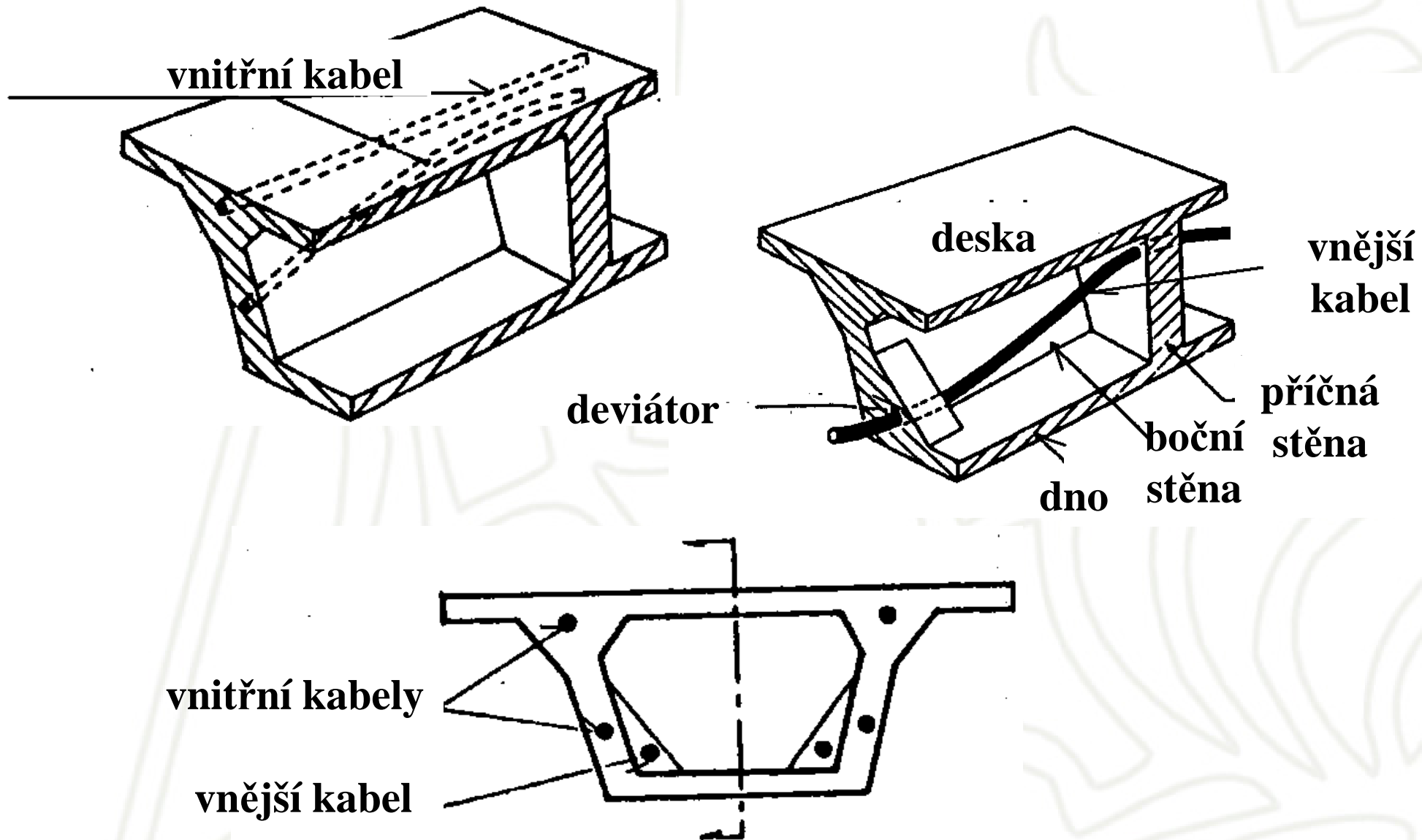




Kabelové kanálky



Monostrand - lano bez soudržnosti



Vnější kabely



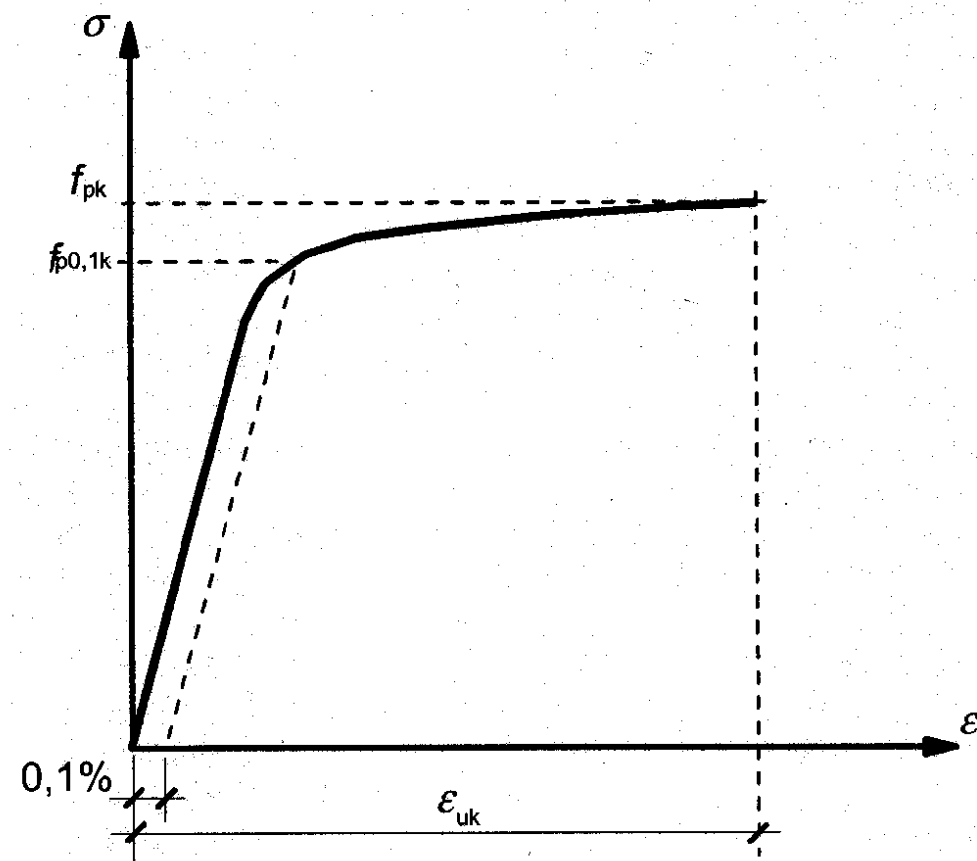
Trend u mostů

- volné vnější předpínací vložky bez soudržnosti
 - **výhody:**
 - možnost výměny nebo zvětšení počtu předp. prvků
 - možnost dopínání
 - jednoduché spolehlivé kotvení
 - usnadnění zpracování betonu
 - zjednodušení vedení kabelů
 - ochrana proti korozi

Pracovní diagram předpínací oceli

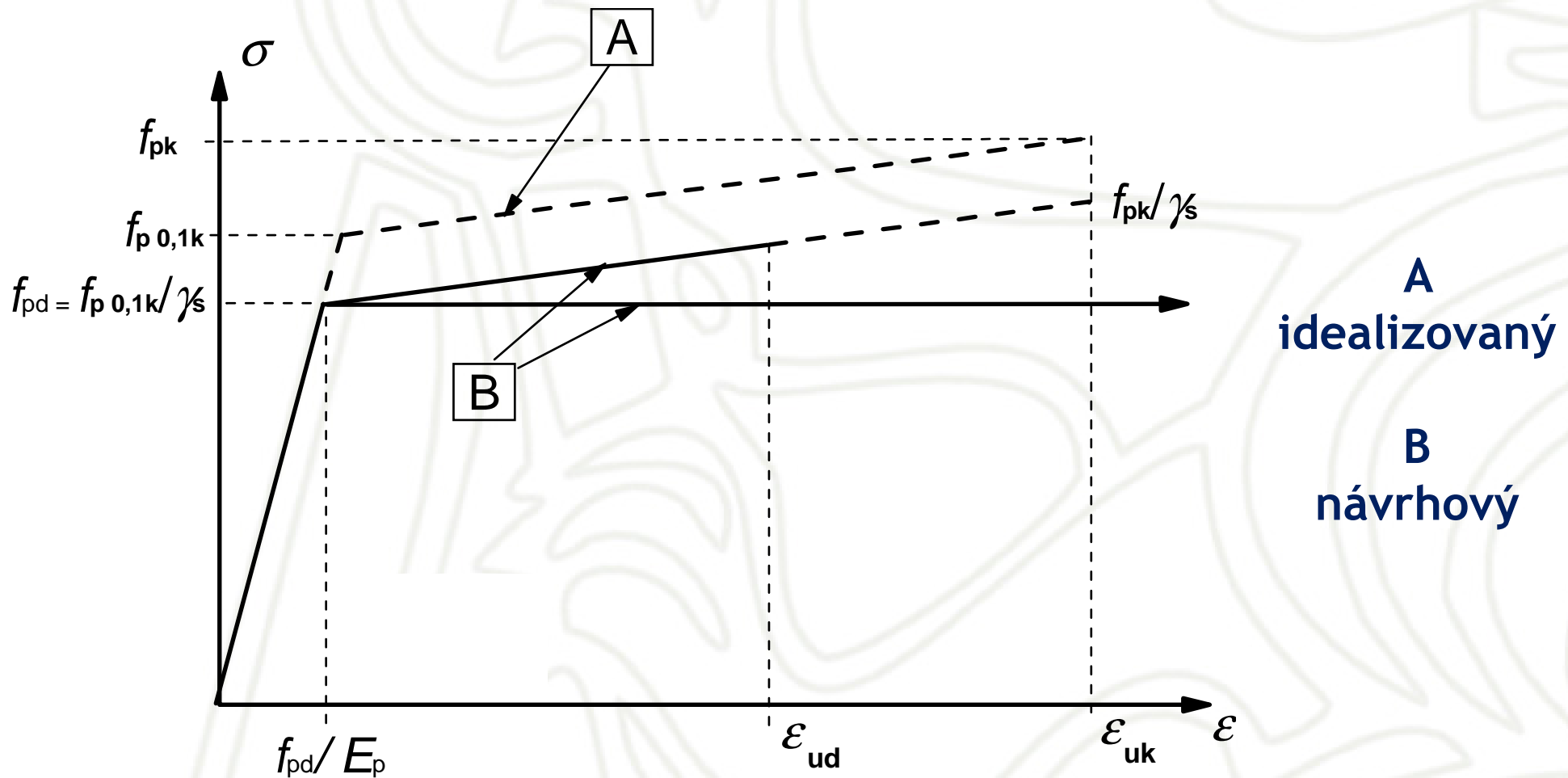
Předpínací ocel

- charakteristická pevnost (f_{pk})
- smluvní mez kluzu ($f_{p0,1k}$)
- poměr ($f_{pk}/f_{p0,1k}$)
- charakteristické poměrné přetvoření při maximálním zatížení (ϵ_{uk})



Idealizovaný a návrhový pracovní diagram předp. výztuže

(napětí v tahu a přetvoření jsou uvedeny v absolutních hodnotách)





Děkuji za pozornost!

Seznam použitých zdrojů

Procházka J, a kol.: Navrhování betonových konstrukcí podle norem ČSN EN 1992 (Eurokódu 2)

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

© Jaroslav Procházka, Radek Štefan 2015

Poslední úprava: 14. 10. 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!