133PSBZ

Požární spolehlivost betonových a zděných konstrukcí

Přednáška B5

ČVUT v Praze, Fakulta stavební
katedra betonových a zděných konstrukcí

Předpjatý beton
2. část – návrh předpětí

Obsah:

- Navrhování konstrukcí z předpjatého betonu - MSP
- Hodnoty předpínací síly
- Stádia vyšetřování předpjatých prvků
- Návrh předpínací síly a její výstřednosti
- Ekvivalentní zatížení od předpětí
- Přípustná zóna pro umístění předpínací výztuže
- Staticky neurčité konstrukce

Navrhování konstrukcí

- **Mezní stavy**
  - MSÚ – únosnost – vyčerpání únosnosti, zřícení kce
  - MSP – použitelnost – splnění provozních požadavků
- **Železobetonové konstrukce**
  - MSÚ – návrh rozměrů a vyztužení
  - MSP – kontrola použitelnosti
  - splnění konstrukčních požadavků
- **Předpjatý beton**
  - MSP – návrh rozměrů a předpínací síly
  - MSÚ – kontrola mezní únosnosti
  - splnění konstrukčních požadavků

Mezní stavy použitelnosti (MSP)

- **Charakteristická kombinace**

$$\sum_{j\geq 1} G_{k,j} \,''+''\, \mathrm{P} \,''+''\, Q_{k,1} \,''+''\, \sum_{i>1} \psi_{0,i}\, Q_{k,i}$$

- **Častá kombinace**

$$\sum_{j\geq 1} G_{k,j} \,''+''\, \mathrm{P} \,''+''\, \psi_{1,1} Q_{k,1} \,''+''\, \sum_{i>1} \psi_{2,i}\, Q_{k,i}$$

- **Kvazi-stálá kombinace**

$$\sum_{j\geq 1} G_{k,j} \,''+''\, \mathrm{P} \,''+''\, \sum_{i\geq 1} \psi_{2,i}\, Q_{k,i}$$

G_k, Q_k – charakteristické hodnoty stálého a proměnného zatížení

Q_{k1} - dominantní hodnota proměnného zatížení

P - střední hodnota předpínací síly

MSP – (ČSN EN 1992-1-1)

a) Omezení napětí

- **Beton**
  - tlakové napětí při charakteristické kombinaci zatížení
    $\sigma_c \leq 0{,}6\ f_{ck}$
    $(0{,}45\ f_{ck} \leq \sigma_c \leq 0{,}6\ f_{ck}$ – nelineární dotvarování)
  - předem předpjaté prvky při transferu $\sigma_c \leq 0{,}7\ f_{ck}$
- **Výztuž**
  - tahové napětí při charakteristické kombinaci zatížení
    $\sigma_s \leq 0{,}8\ f_{yk}$
  - včetně omezených deformací $\sigma_s \leq 1{,}0\ f_{yk}$
- **Předpjatý beton**
  - tahové napětí při charakteristické kombinaci zatížení
    $\sigma_p \leq 1{,}0\ f_{pk}$

MSP – (ČSN EN 1992-1-1)

b) Šířka trhlin

- Bez šířky trhlin $\sigma_c \leq f_{ctm}$
- Šířka trhlin $w \leq w_{max}$

Doporučené hodnoty w_{max} [mm] pro předpjaté prvky se soudržností

Stupeň prostředí	Častá kombinace
X0, XC1	0,2
XC2, XC3, XC4	0,2 [1)]
XD1, XD2, XS1 XS2, XS3, XS4	Dekomprese [2)]

[1)] **Pro tyto stupně prostředí je třeba posoudit dekompresi při kvazi-stálé kombinaci zatížení**

[2)] **Předpjatá výztuž musí být v tlačené oblasti průřezu**

MSP – (ČSN EN 1992-1-1)

c) Kontrola přetvoření

- Průhyb při kvazi-stálé kombinaci zatížení $y_{max} \leq L / 250$
- Průhyby, které mohou poškodit přilehlé části konstrukce (křehké příčky apod.) $y_{max} \leq L / 500$

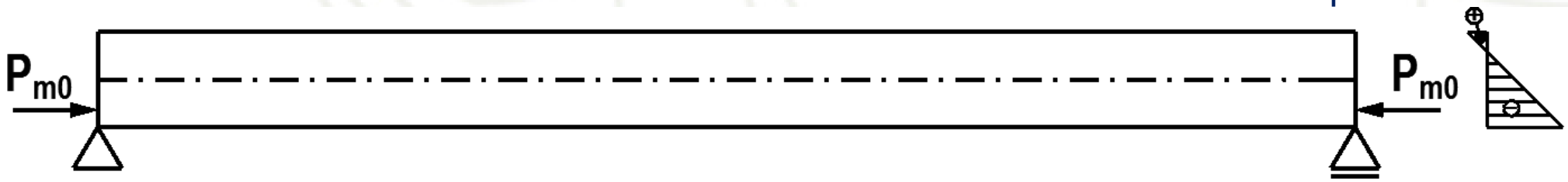
L … rozpětí

Stádia vyšetřování předpjatých prvků

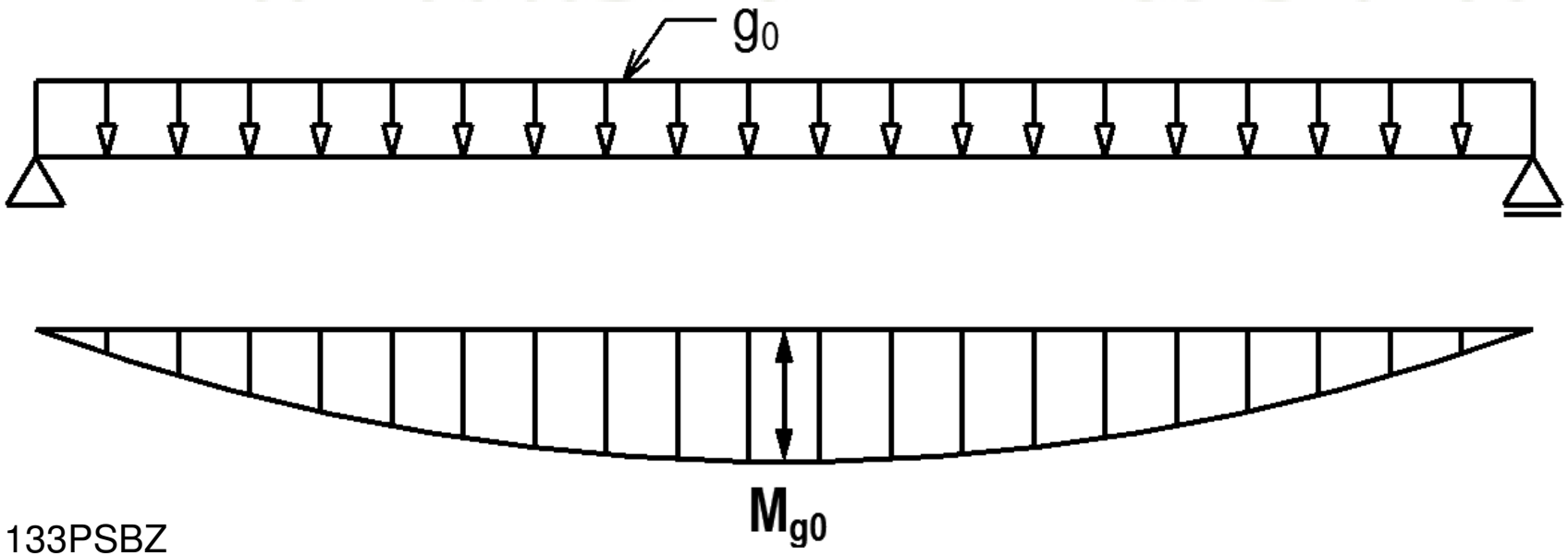
- **Stádium předpínání**
  - po vnesení předpětí (transferu) působí:
    - předpínací síla P_{m0}
    - většinou pouze vlastní tíha (třída betonu při transferu)
- **Stádium provozní**
  - předpínací síla po všech ztrátách
  - působí:
    - předpínací síla $P_{m\infty}$
    - provozní zatížení v předepsané kombinaci (návrhová třída betonu)

Vyšetřování stádií předpjatého prvku

- **Stádium předpínání**
  - po vnesení předpětí (transferu) působí:
    - předpínací síla P_{m0} v čase t_0 s výstředností e_p



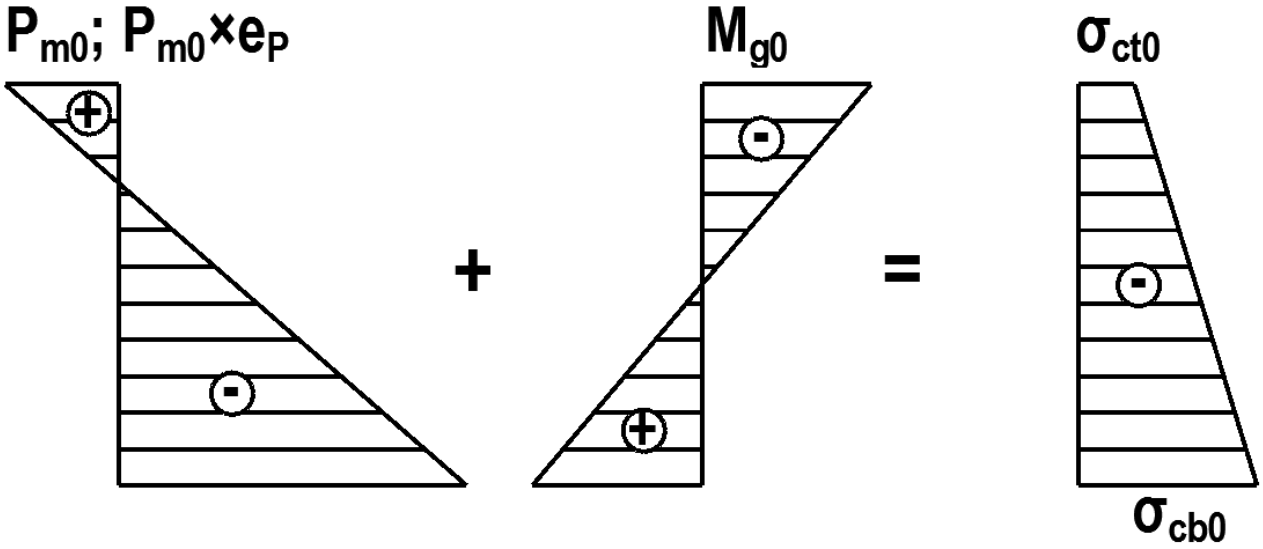
    - většinou pouze vlastní tíha (třída betonu při transferu)



Vyšetřování stádií předpjatého prvku

- **Stádium předpínání**

ve středu nosníku



σ_{ct0} - při předpínání:

plném $|\sigma_{ct0}| \leq 0$

omezeném $\sigma_{ct0} \leq f_{ctm}(t_0)$

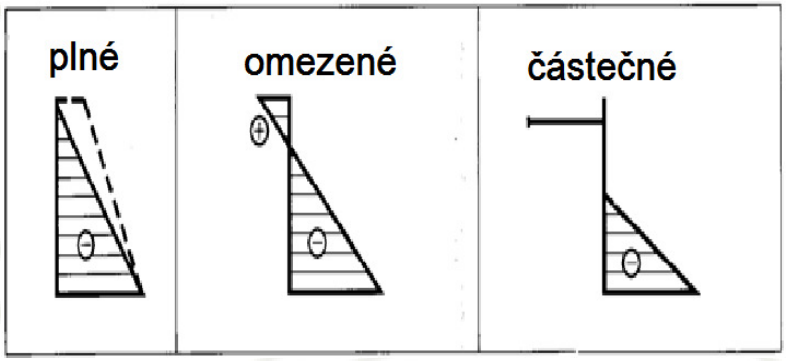
částečném $\sigma_{ct0} > f_{ctm}(t_0)$

σ_{cb0}

$|\sigma_{cb0}| \leq 0{,}6\, f_{ck}(t_0)$

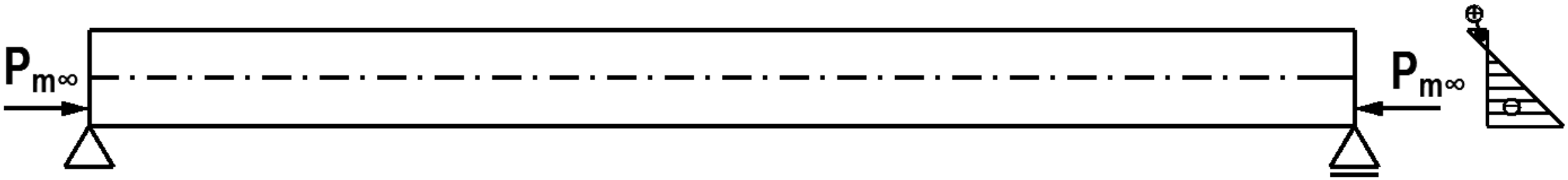
při předpínání předem

$|\sigma_{cb0}| \leq 0{,}7\, f_{ck}(t_0)$

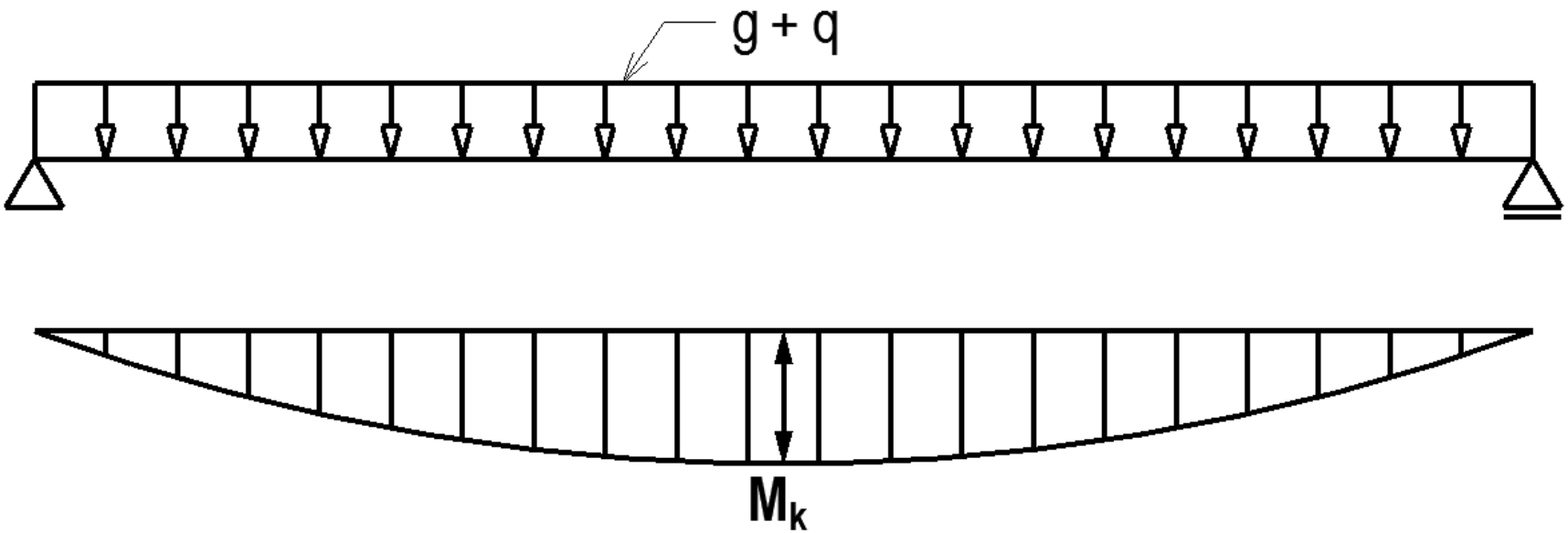


Stádia vyšetřování předpjatých prvků

- **Stádium provozní**
  - Po všech ztrátách předpínací síly – působí:
    - předpínací síla $P_{m\infty}$ v okamžiku t = ∞ s výstředností e_p
    - t ≈ 500 000 hodin (57 let)



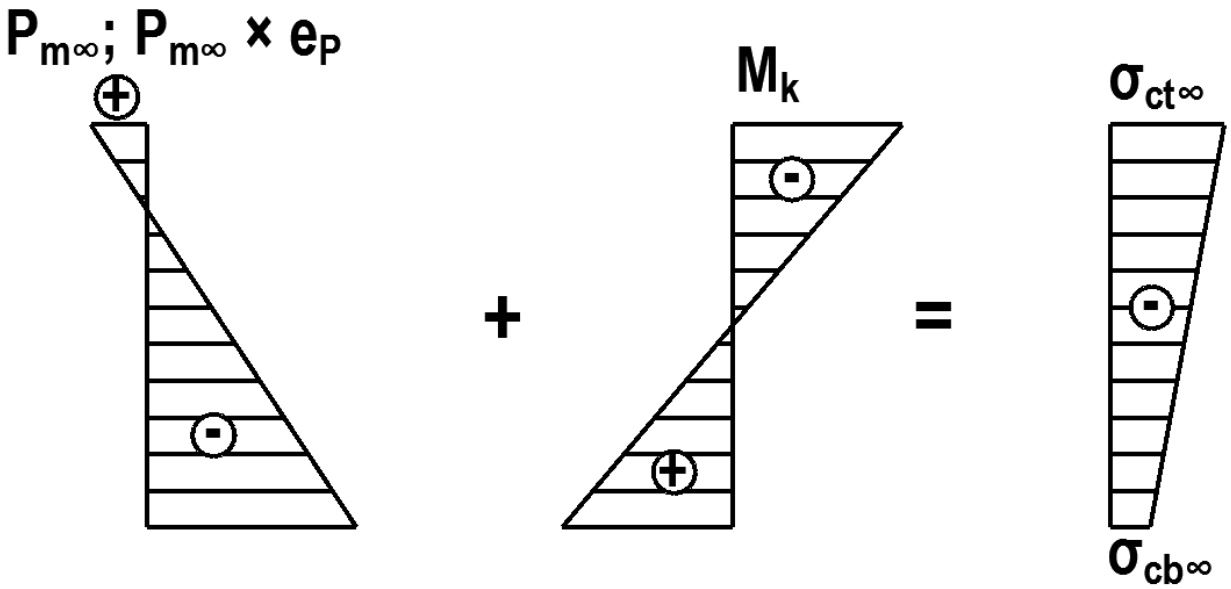
    - provozní zatížení v předepsané kombinaci (např. g+q)



Stádia vyšetřování předpjatých prvků

- **Stádium provozní**

ve středu nosníku



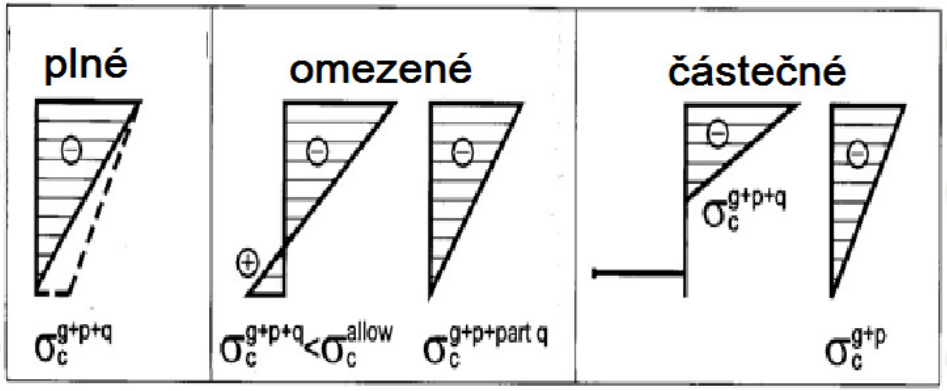
$\underline{\sigma_{ct\infty}}$

$|\sigma_{ct\infty}| \leq 0{,}6\, f_{ck}$

$\underline{\sigma_{cb\infty}}$

při předepnutí:

plném	$\lvert\sigma_{cb\infty}\rvert \leq 0$
omezeném	$\sigma_{cb\infty} \leq f_{ctm}$
částečném	$\sigma_{cb\infty} > f_{ctm}$



Hodnoty předpínací síly

- **Počáteční předpínací síla $P_{m0}(x)$ v okamžiku $t = t_0$**

bezprostředně po přenesení předpětí do betonu (transferu)

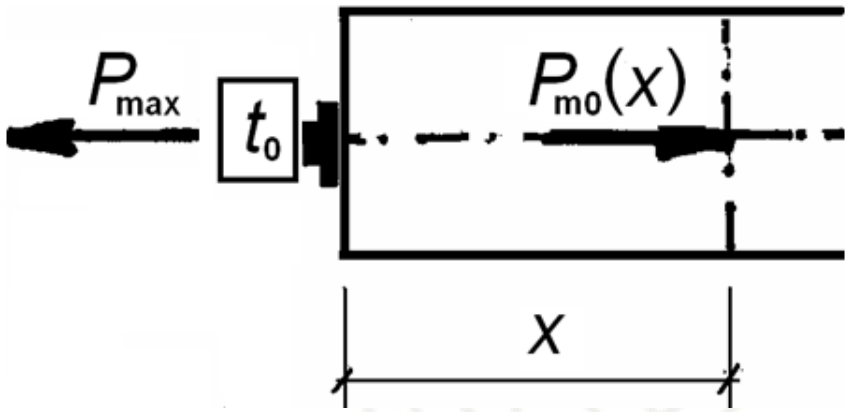
$$P_{m0}(x) = P_{max} - \sum \Delta P_i(x) \leq A_p \cdot \sigma_{pm0}(x)$$

$P_{max} \leq A_p \cdot \sigma_{pm,max}$ … síla na předpínaném konci při předpínání

$\Delta P_i(x)$ … krátkodobé ztráty předpětí

$$\sigma_{pm,max} \leq \min(0{,}8 f_{pk}; 0{,}9 f_{p0,1k})$$

$$\sigma_{pm0,max} \leq \min(0{,}75 f_{pk}; 0{,}85 f_{p0,1k})$$



Hodnoty předpínací síly

- **Střední hodnota předpínací síly v čase t**

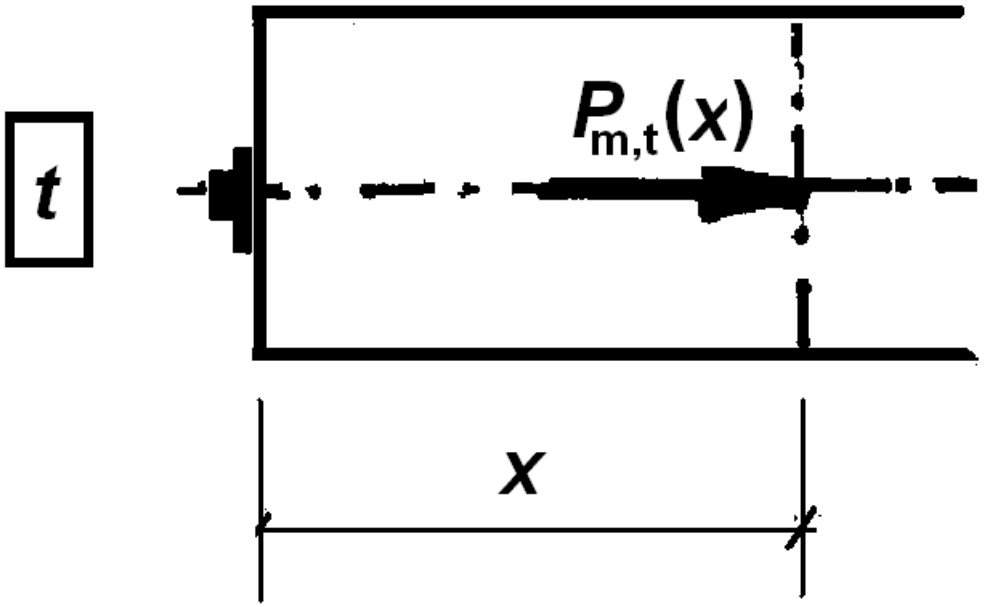
$$P_{m,t}(x) = P_{m0}(x) - A_p \Sigma \, |\sigma_{pi}(x)|$$

$P_{m0}(x)$ … počáteční hodnota předpínací síly v okamžiku t_0

A_p … průřezová plocha předpínací výztuže

$\Sigma \, |\sigma_{pi}(x)|$ … součet dlouhodobých ztrát předpětí

$P_{m,t}(x)$



Hodnoty předpínací síly

- **Účinek předpětí v MSP**

odchylky **možných změn předpětí** se vyjádří pomocí **dvou charakteristických hodnot předpínací síly**:

  - horní charakteristické hodnoty $P_{k,sup} = r_{sup}\, P_{m,t}\ (x)$
  - dolní charakteristické hodnoty $P_{k,inf} = r_{inf}\, P_{m,t}\ (x)$

- pro předem napínané nebo nesoudržné předpínací vložky:

  $r_{sup} = 1{,}05,\ r_{inf} = 0{,}95$

- pro dodatečně napínané soudržné předpínací vložky:

  $r_{sup} = 1{,}10,\ r_{inf} = 0{,}90$

- při provádění přímého předpětí lze uvažovat:

  $r_{sup} = r_{inf} = 1{,}0$

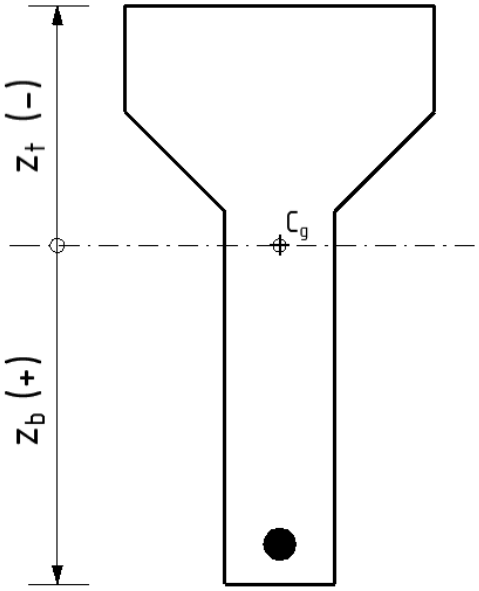
Návrh předpínací síly a její výstřednosti

- **Předpínací síla**

Třeba stanovit předpínací sílu a její výstřednost – uvažujme staticky určitou konstrukci

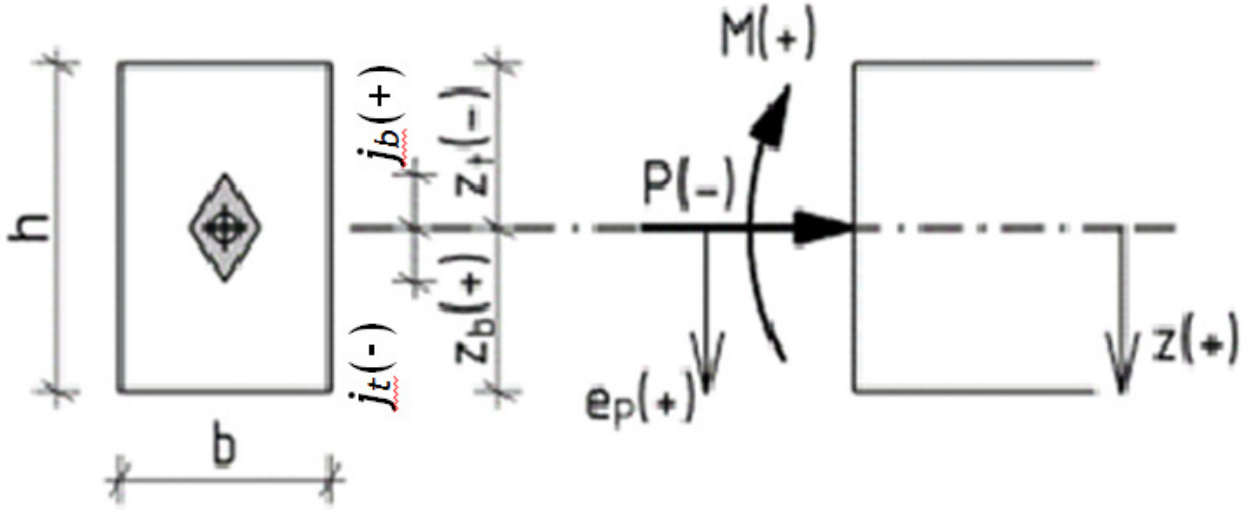
MSP – stanovíme napětí v betonových vláknech

$$\sigma_c = \frac{P}{A} + \frac{P e_p + M}{I_y} z$$



P … síla v předpínací výztuži
e_p … výstřednost síly P (obdobně jako z)
A … plocha průřezu
I_y … moment setrvačnosti průřezu
M … ohybový moment v MSÚ působící v průřezu
z … vzdálenost těžiště průřezu od krajních betonových vláken (+ ve směru k dolním vláknům průřezu)

Výpočet napětí v horních a dolních vláknech průřezu



$$W_t = \frac{I}{z_t}(-) \qquad W_b = \frac{I}{z_b}(+)$$

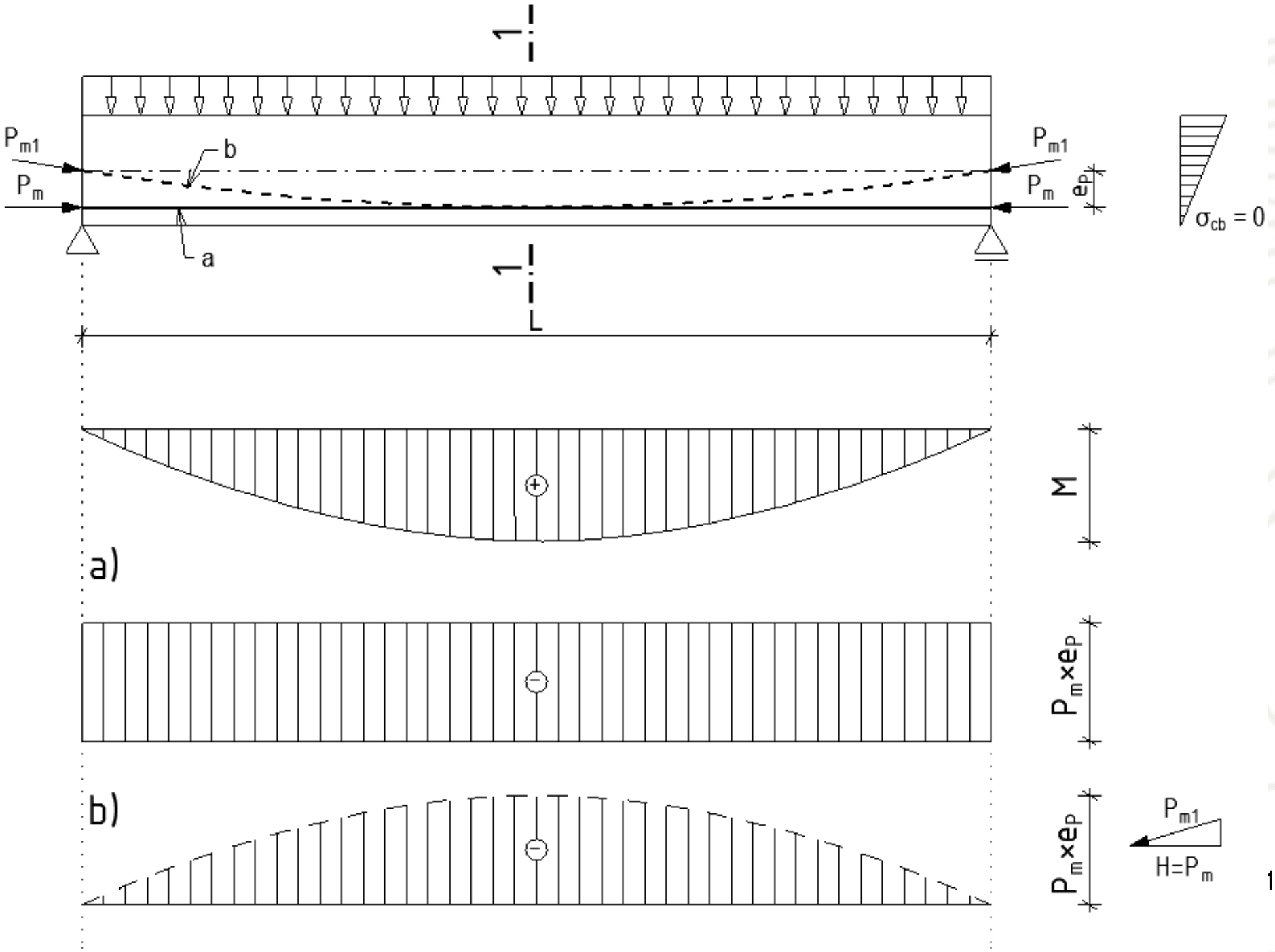
$$j_t = -\frac{I}{A \times z_t\,(-)} = \frac{W_t}{A}(-) \qquad j_b = -\frac{I}{A \times z_b\,(+)} = \frac{W_b}{A}(+)$$

$$\sigma_b = \frac{P}{A} + \frac{P \times e_P \times z_b}{I} + \frac{M \times z_b}{I} = \frac{P}{A} + \frac{P \times e_P}{W_b} + \frac{M}{W_b} = \frac{P}{W_b} \times \left(\frac{W_b}{A} + e_P\right) + \frac{M}{W_b}$$

$$= \frac{P}{W_b} \times (j_b + e_P) + \frac{M}{W_b}$$

$$\sigma_t = \frac{P}{A} + \frac{P \times e_P \times z_t}{I} + \frac{M \times z_t}{I} = \frac{P}{W_t} \times (j_t + e_P) + \frac{M}{W_t}$$

Návrh předpínací síly a její výstřednosti



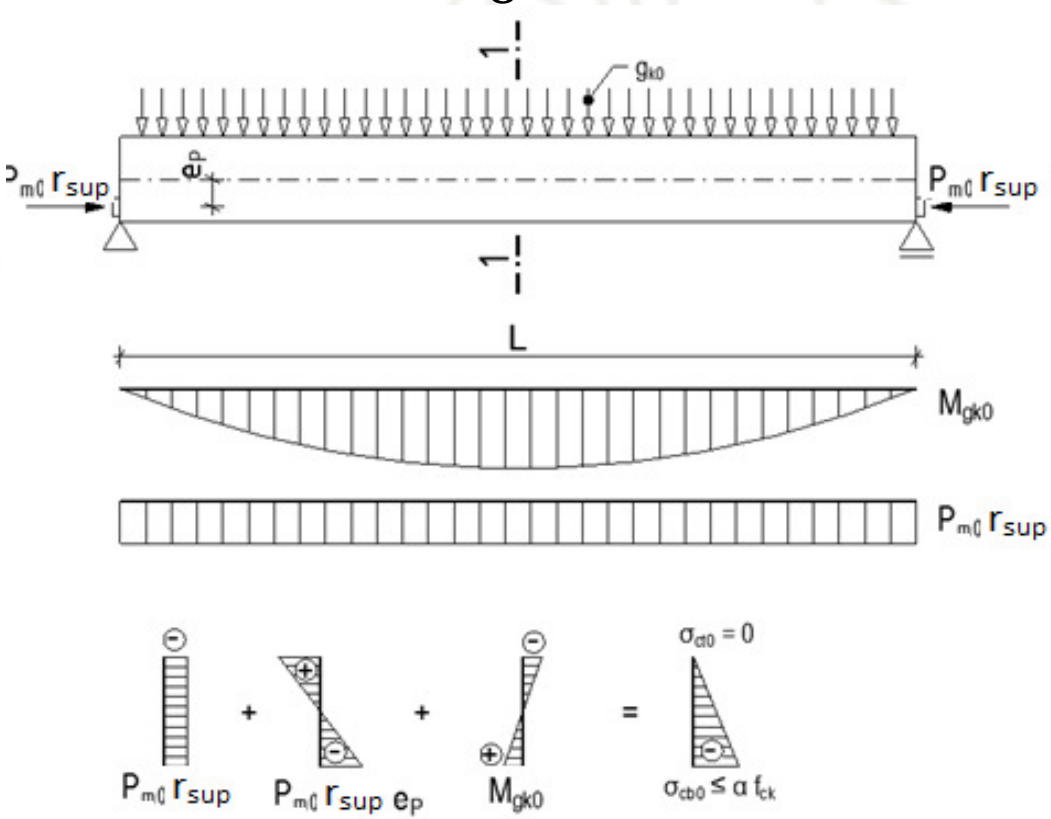
Návrh předpínací síly a její výstřednosti

- **Zjednodušený návrh předpínací síly P a její výstřednosti e_p**

Plné předpětí – řez 1-1 prostý nosník rovnoměrně zatížený

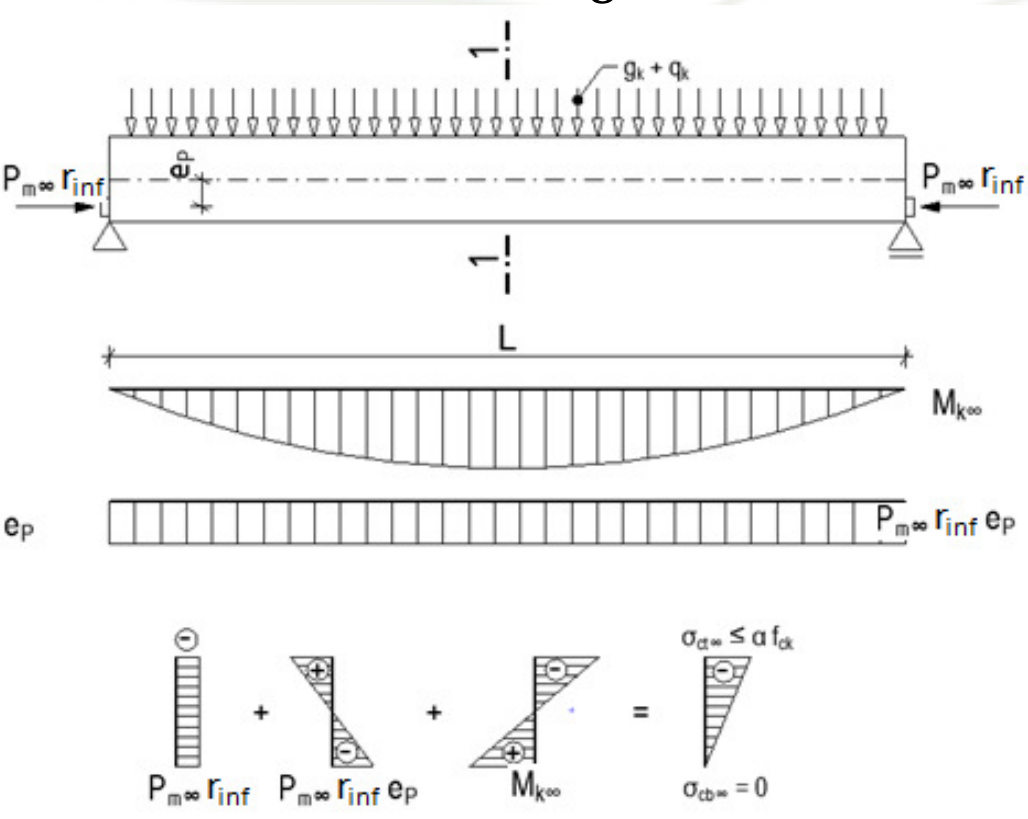
Stádium předpínání $P_{m0} r_{sup}$

$$M_{gk0} = \frac{g_{k0} \times L^2}{8}$$



Stádium provozní $P_{m\infty} r_{inf}$

$$M_{k\infty} = \frac{(g_k + q_k) \times L^2}{8}$$



Návrh předpínací síly P a její výstřednosti e_p

podmínky pro napětí v betonu

Stadium předpínání

$$(B)\ \sigma_{ct0} = \frac{P_{m0} r_{sup}}{W_t}\left(j_t + e_p\right) + \frac{M_{gk0}}{W_t} = 0$$

$$\sigma_{cb0} = \left|\frac{P_{m0} r_{sup}}{W_b}\left(j_b + e_p\right) + \frac{M_{gk0}}{W_b}\right| \leq \alpha_P\, f_{ck,P}$$

Stadium provozní

$$\sigma_{ct\infty} = \left|\frac{P_{m\infty} r_{inf}}{W_t}\left(j_t + e_p\right) + \frac{M_{k\infty}}{W_t}\right| \leq \alpha_S\, f_{ck}$$

$$(A)\ \sigma_{cb\infty} = \frac{P_{m\infty} r_{inf}}{W_b}\left(j_b + e_p\right) + \frac{M_{k\infty}}{W_b} = 0$$

z (A):

$$P_{m\infty} = -\frac{M_{k\infty}}{(j_b + e_P) r_{inf}};\ P_{m\infty} \cong 0{,}8\, P_{m0}$$

$$j_b + e_p = -\frac{M_{k\infty}}{0{,}8\, P_{m0} r_{inf}} \quad (1)$$

z (B):

$$j_t + e_p = -\frac{M_{gk0}}{P_{m0} r_{sup}} \quad (2)$$

Návrh předpínací síly P a její výstřednosti e_p

z (A):

$$j_b + e_p = -\frac{M_{k\infty}}{0{,}8 P_{m0} r_{inf}} \quad (1)$$

z (B):

$$j_t + e_p = -\frac{M_{gk0}}{P_{m0} r_{sup}} \quad (2)$$

$$\frac{j_t + e_P}{j_b + e_P} = \frac{\frac{M_{gk0}}{P_{m0} r_{sup}}}{\frac{M_{k\infty}}{0{,}8 P_{m0} r_{inf}}} = 0{,}8 \frac{M_{gk0} r_{inf}}{M_{k\infty} r_{sup}} \; ; \; K = 0{,}8 \frac{M_{gk0} r_{inf}}{M_{k\infty} r_{sup}} \quad (3)$$

$$\boldsymbol{e_P = \frac{-j_t + K\, j_b}{1 - K}}$$

z (1):

$$j_b + e_P = -\frac{M_{k\infty}}{0{,}8 P_{m0} r_{inf}} \rightarrow \boldsymbol{P_{m0} = -\frac{M_{k\infty}}{0{,}8\,(j_b + e_P) r_{inf}}} \qquad P_{m0} = 0{,}95\, P_{max}$$

$$A_P \cong \frac{P_{m0}}{0{,}95 \sigma_{p,max}}$$

Návrh předpínací síly P a její výstřednosti e_p

Předpokládáme:

a) $P_{m\infty} = 0{,}8\ P_{m0}$ (20% dlouhodobé ztráty)

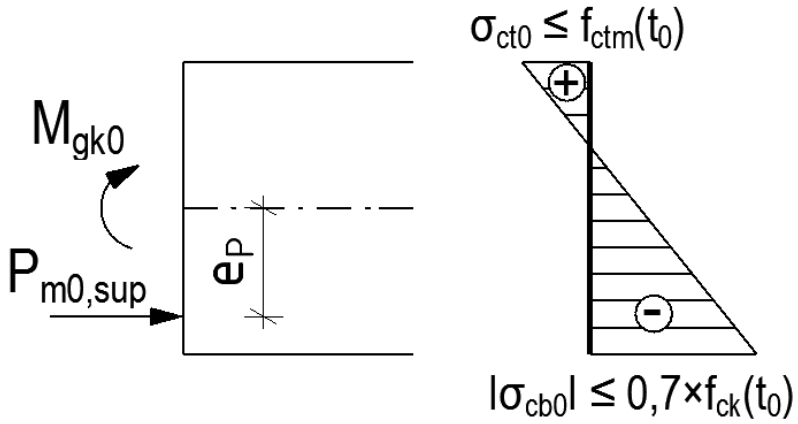
b) MSP: limitní hodnoty napětí betonu, např. pro předem předpjatý prvek

stadium předpínání: omezené předpětí

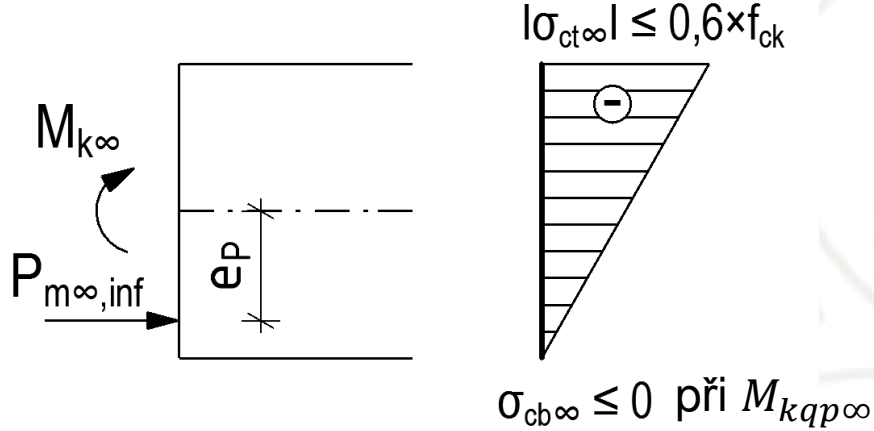
provozní stadium: plné předpětí

- horní betonová vlákna $\sigma_{ct0} \le f_{ctm}(t_0)$; $|\sigma_{ct\infty}| \le 0{,}6\ f_{ck}$; $|\sigma_{cb\infty}| \le 0$ při $M_{kqp\infty}$
- dolní betonová vlákna $|\sigma_{cb0}| \le 0{,}7\ f_{ck}\ (t_0)$; $\sigma_{cb\infty} \le 0$

Stadium předpínání



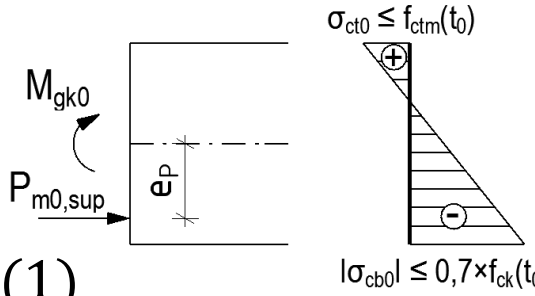
Stadium provozní



c) MSÚ: požadovaná kombinace zatěžovacích účinků

Podmínky pro mezní hodnoty napětí v krajních vláknech betonu

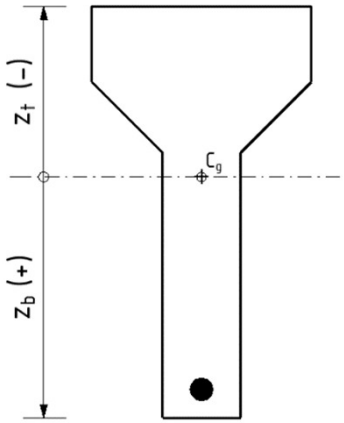
stadium předpínání: omezené předpětí



$$\sigma_{ct0} = \frac{-P_{m0,sup}}{A} + \frac{-P_{m0,sup}\, e_P + M_{gk0}}{I_y} z_t \leq f_{ctm}(t_0) \quad (1)$$

$$\sigma_{cb0} = \frac{-P_{m0,sup}}{A} + \frac{-P_{m0,sup}\, e_P + M_{gk0}}{I_y} z_b \leq -0{,}7 f_{ck}(t_0) \quad (2)$$

provozní stadium: plné předpětí



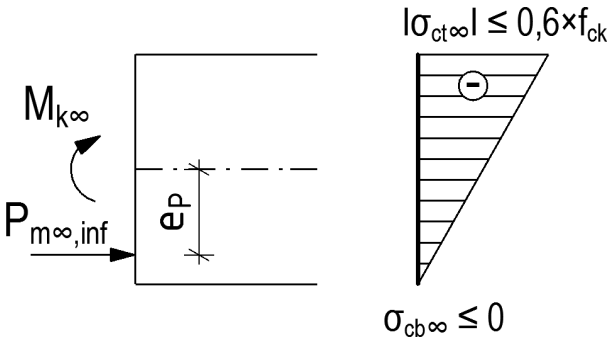
$$\sigma_{ct\infty} = \frac{-P_{m\infty,inf}}{A} + \frac{-P_{m\infty,inf}\, e_P + M_{k\infty}}{I_y} z_t \geq -0{,}6 f_{ck} \quad (3)$$

$$\sigma_{cb\infty} = \frac{-P_{m\infty,inf}}{A} + \frac{-P_{m\infty,inf}\, e_P + M_{kqp\infty}}{I_y} z_b \leq 0 \quad (4)$$

kde

$$P_{m0,sup} = r_{sup}\, P_{m0}$$

$$P_{m\infty,inf} = P_{m\infty} = r_{inf}\, 0{,}8\, P_{m0}$$



Podmínky pro mezní hodnoty napětí v krajních vláknech betonu

Z nerovnosti (1) obdržíme

$$\frac{r_{sup}}{A}+\frac{r_{sup}\,e_P\,z_t}{I_y}\geq\left(-f_{ctm}(t_0)+\frac{M_{gk0}\,z_t}{I_y}\right)\frac{1}{P_{m0}}$$

vztah lze graficky znázornit přímkou – osy: *e;* $1/P_{m0}$;body, kde přímky protínají osu *e* obdržíme za předpokladu $(1/P_{m0})= 0$

$$e_1=-\frac{I_y}{A\,z_t};\ e_2=-\frac{I_y}{A\,z_b};e_3=-\frac{I_y}{A\,z_t};e_4=-\frac{I_y}{A\,z_b}$$

$$e_1=e_3;\ e_2=e_4$$

za předpokladu *e* = 0 obdržíme body, kde přímky protínají osu $(1/P_{m0})$

$$\frac{1}{P_{m01}}=\frac{r_{sup}}{A}\left(\frac{1}{-f_{ctm}(t_0)+\frac{M_{g0}\,z_t}{I_y}}\right);\quad\frac{1}{P_{m02}}=\frac{r_{sup}}{A}\left(\frac{1}{0{,}7f_{ck}(t_0)+\frac{M_{g0}\,z_b}{I_y}}\right)$$

$$\frac{1}{P_{m03}}=\frac{0{,}8\,r_{inf}}{A}\left(\frac{1}{0{,}6f_{ck}+\frac{M_{k\infty}\,z_t}{I_y}}\right);\quad\frac{1}{P_{m04}}=\frac{0{,}8\,r_{inf}}{A}\left(\frac{1}{\frac{M_{k\infty}\,z_b}{I_y}}\right)$$

Podmínky pro mezní hodnoty napětí v krajních vláknech betonu

Z nerovností (1) až (4) můžeme obdržet možná řešení pro předpínací síly s jejich výstřednosti.
Každá z nerovností reprezentuje lineární vztah pro *e* a $1/P_{mo}$.

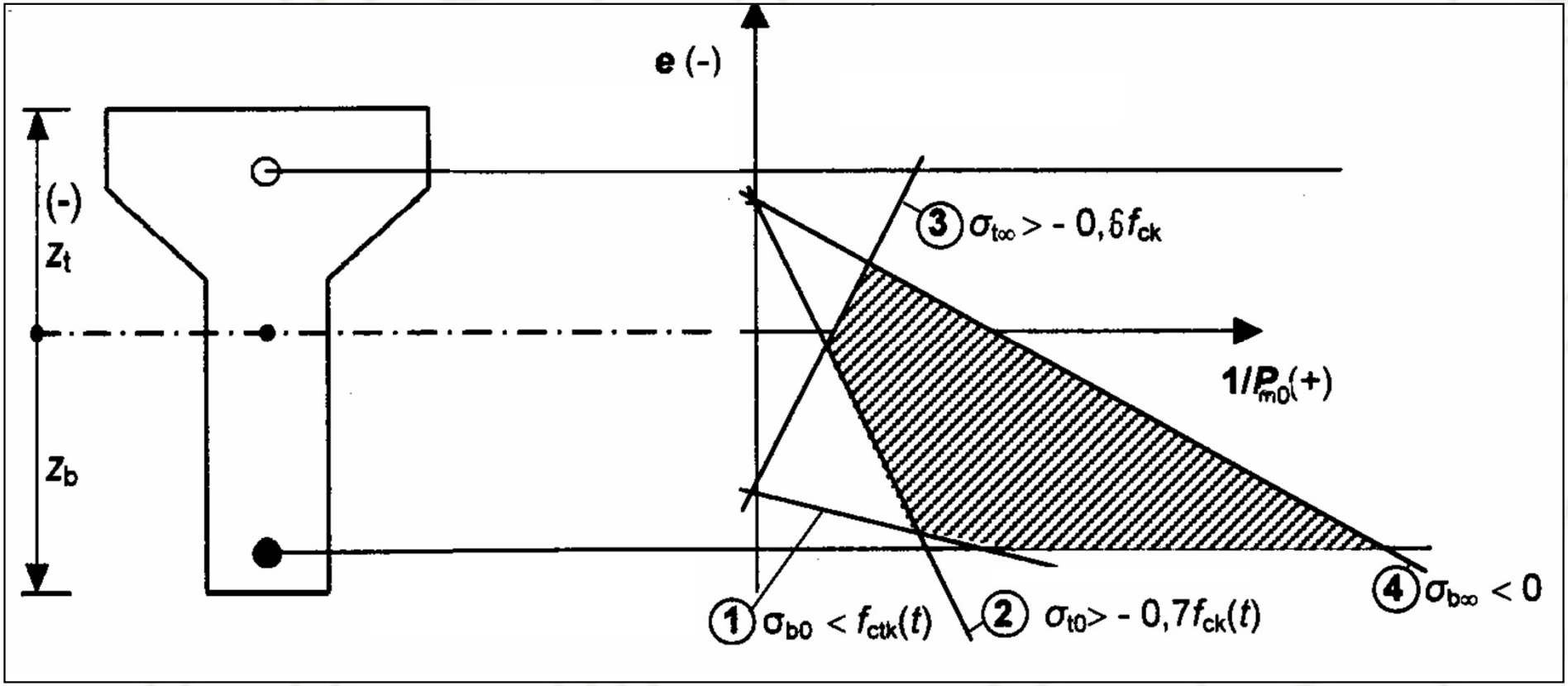


Diagram ($1/P_{m0}$, *e*) se čtyřmi přímkami určuje soubor bodů bezpečně splňujících limitní hodnoty v betonových vláknech

Omezující podmínky:

$$\sigma_{ct} = \frac{(-)P_{sup}}{A_c} + \frac{(-)P_{sup}(+)e_p + M_{g1k,min}}{(-)W_{ct}} \leq (+)f_{ctm}(t_0) \qquad (1)$$

$$\sigma_{cb} = \frac{(-)P_{sup}}{A_c} + \frac{(-)P_{sup}(+)e_p + M_{g1k,min}}{(+)W_{cb}} \geq 0{,}7(-)f_{ck}(t_0) \qquad (2)$$

$$\sigma_{ct} = \frac{(-)P_{inf}}{A_c} + \frac{P_{inf}(+)e_p + M_{Ek,max}}{(-)W_{ct}} \leq 0{,}6(-)f_{ck} \qquad (3)$$

$$\sigma_{cb} = \frac{P_{inf}}{A_c} + \frac{(-)P_{inf}(+)e_p + M_{Eqp}}{(+)W_{cb}} \geq 0 \qquad (4)$$

kde $P_{sup} = r_{sup}\, P_{m0} \cong 1{,}05\, P_{m0}$

$P_{inf} = r_{inf}\, \lambda P_{m0} \cong 0{,}95.0{,}8\, P_{m0}$

Každá z těchto nerovností představuje lineální vztah pro *e* a $1/P_{m0}$

Z předchozích vztahů po úpravě obdržíme:

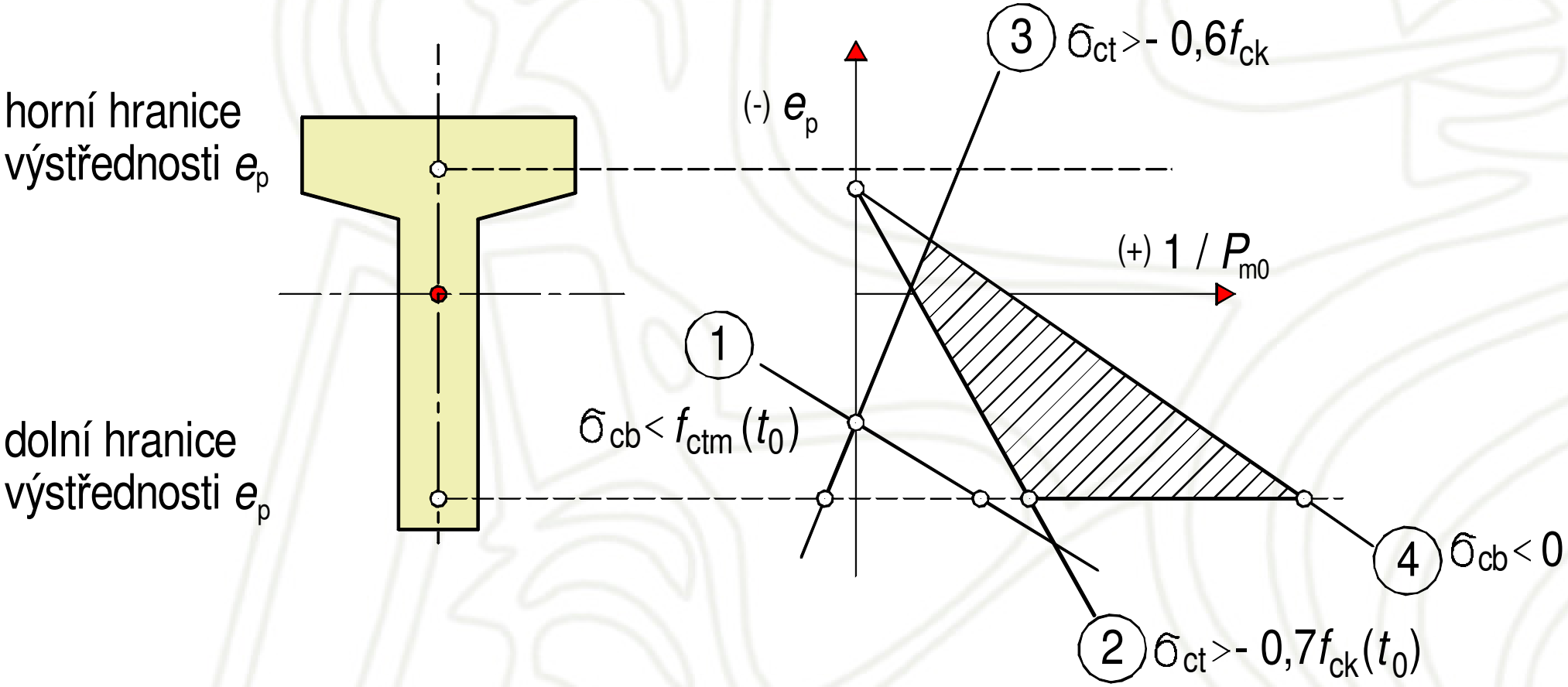
$$\frac{1}{P_{m0}} \geq r_{sup}\left(\frac{\frac{1}{A_c}+\frac{(+)e_p}{(-)W_{ct}}}{(-)f_{ctm}(t_0)+\frac{M_{g1k,min}}{(-)W_{ct}}}\right) \qquad (1)$$

$$\frac{1}{P_{m0}} \geq r_{sup}\left(\frac{\frac{1}{A_c}+\frac{(+)e_p}{(+)W_{cb}}}{(+)0{,}7f_{ck}(t_0)+\frac{M_{g1k,min}}{(+)W_{cb}}}\right) \qquad (2)$$

$$\frac{1}{P_{m0}} \geq r_{inf}0{,}8\left(\frac{\frac{1}{A_c}+\frac{(+)e_p}{(-)W_{ct}}}{(+)0{,}6f_{ck}+\frac{M_{Ek}}{(-)W_{ct}}}\right) \qquad (3)$$

$$\frac{1}{P_{m0}} \geq r_{inf}0{,}8\left(\frac{\frac{1}{A_c}+\frac{(+)e_p}{(+)W_{cb}}}{0+\frac{M_{Eqp}}{(+)W_{cb}}}\right) \qquad (4)$$

Obdobně lze postupovat pro průřez poblíže podpory



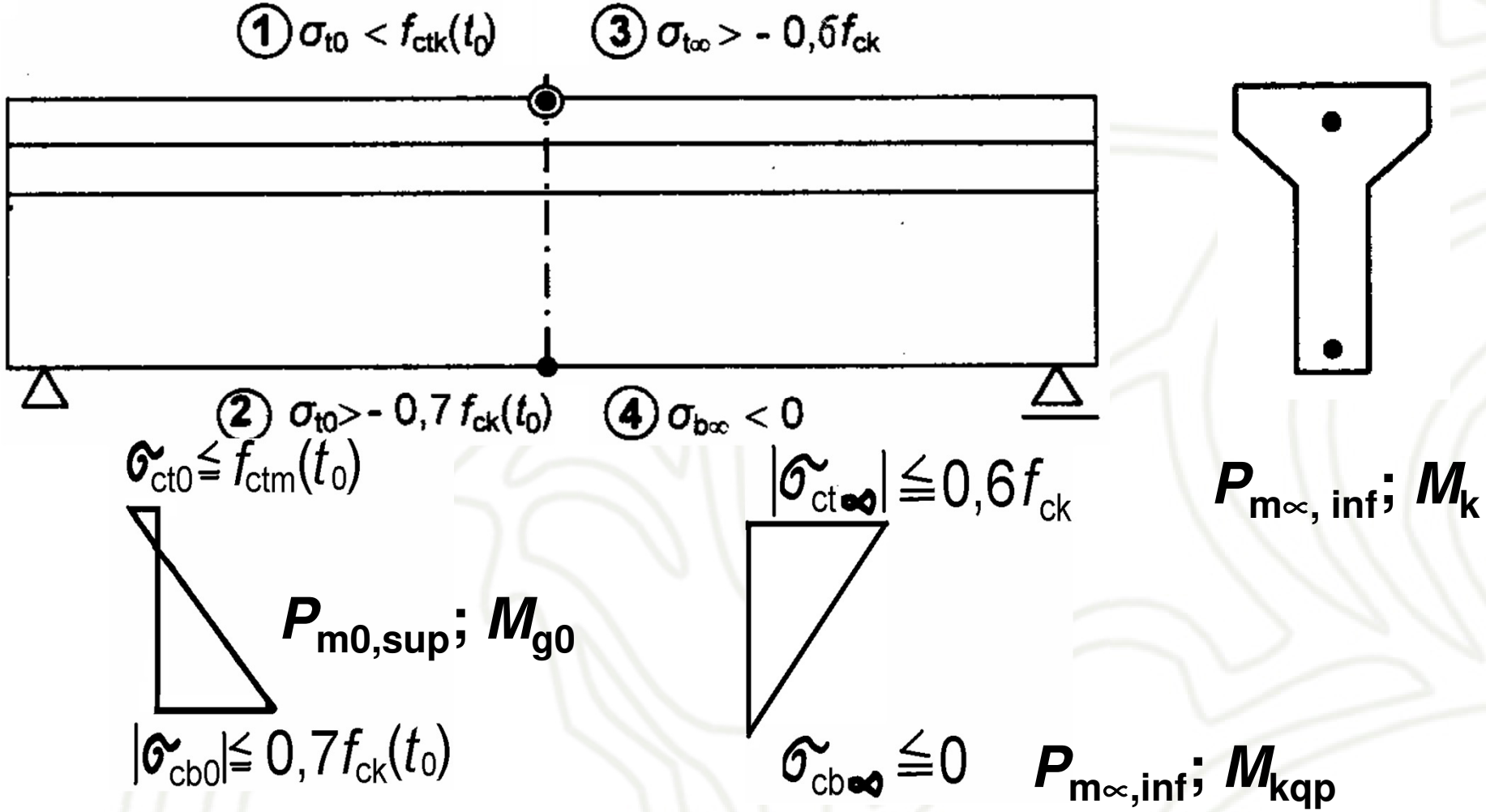
Příklad

Předem předpjatý panel TT průřezu

C40/50; A=0,325 m^2; I= 0,0173 m^4; z_t=-0,229 m; z_b=0,511 m

předpětí: C35/45; 0,7 $f_{ck}(t_0)\cong$ 25 Mpa, $f_{ctm}(t_0) \cong$ 3,1 Mpa

M_{g0}=0,329 MNm; M_k=0,565 MNm; M_{qp}=0,413 MNm (f_{ctm}=0)



Příklad

- **Body, kde přímky protínají osu e, obdržíme za předpokladu $(1/P_{m0})=0$**

$$e_1 \leq -\frac{I_y}{A\, z_t} = -\frac{0{,}0173}{0{,}325\ (-0{,}229)} = 0{,}232$$

$$e_2 \leq -\frac{I_y}{A\, z_b} = -\frac{0{,}0173}{0{,}325 \times\ 0{,}511} = -0{,}104$$

$$e_3 \geq -\frac{I_y}{A\, z_t} = -\frac{0{,}0173}{0{,}325\ (-0{,}229)} = 0{,}232$$

$$e_4 \geq -\frac{I_y}{A\, z_b} = -\frac{0{,}0173}{0{,}325 \times 0{,}511} = -0{,}104$$

Příklad

- Za předpokladu e_p=0 obdržíme body, kde přímky protínají osu ($1/P_{m0}$)

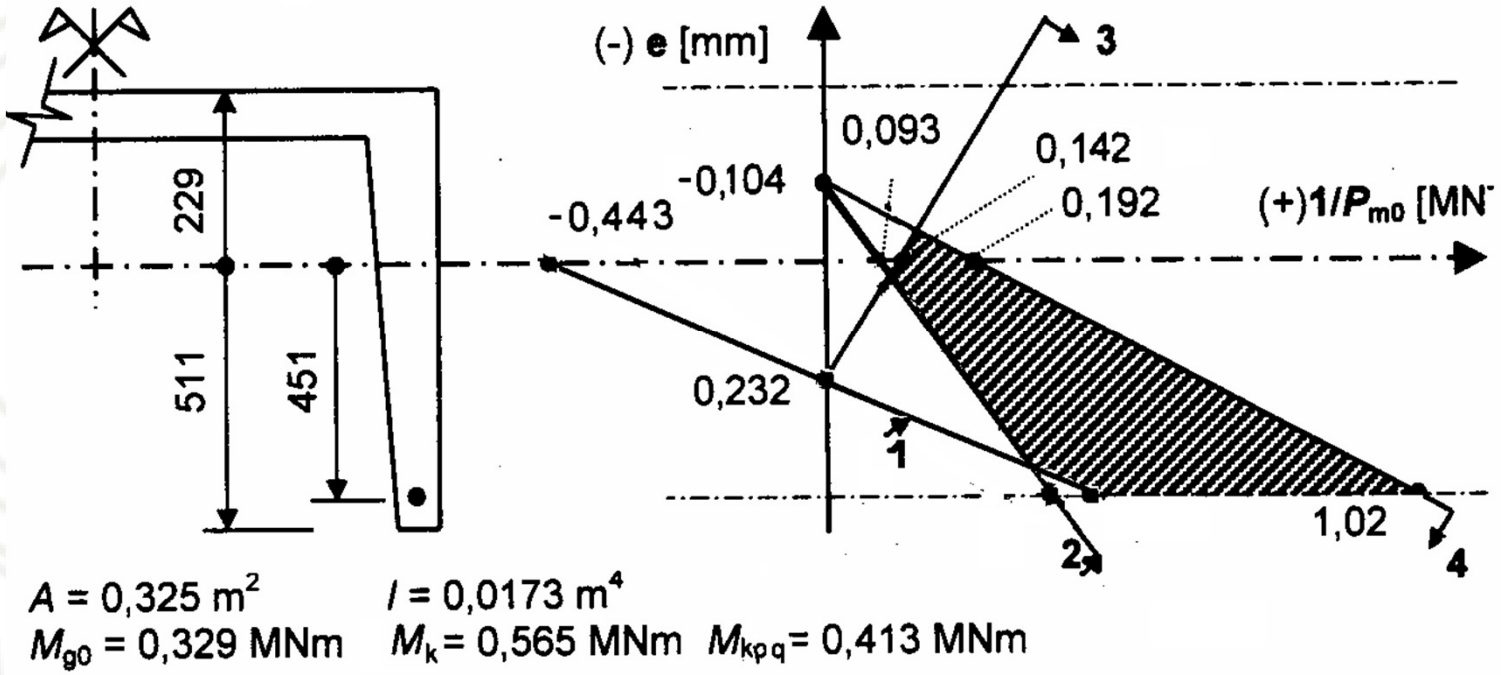
$$\frac{1}{P_{m01}} = \frac{r_{sup}}{A}\left(\frac{1}{-f_{ctm}(t_0) + \frac{M_{g0}\, z_t}{I_y}}\right) = \frac{1{,}05}{0{,}325}\left(\frac{1}{-3{,}1 + \frac{0{,}329 \times (-0{,}229)}{0{,}0173}}\right) = -0{,}433\ MN$$

$$\frac{1}{P_{m02}} = \frac{r_{sup}}{A}\left(\frac{1}{0{,}7 f_{ck}(t_0) + \frac{M_{g0}\, z_b}{I_y}}\right) = \frac{1{,}05}{0{,}325}\left(\frac{1}{25 + \frac{0{,}329 \times 0{,}511}{0{,}0173}}\right) = 0{,}093\ MN$$

$$\frac{1}{P_{m03}} = \frac{0{,}8 r_{inf}}{A}\left(\frac{1}{0{,}6 f_{ck}(t_0) + \frac{M_k\, z_t}{I_y}}\right) = \frac{0{,}8 \times 0{,}95}{0{,}325}\left(\frac{1}{24 + \frac{0{,}565 \times (-0{,}229)}{0{,}0173}}\right) = 0{,}142\ MN$$

$$\frac{1}{P_{m04}} = \frac{0{,}8 r_{inf}}{A}\left(\frac{1}{\frac{M_{qp}\, z_b}{I_y}}\right) = \frac{0{,}8 \times 0{,}95}{0{,}325}\left(\frac{1}{\frac{0{,}413 \times 0{,}511}{0{,}0173}}\right) = 0{,}192\ MN$$

Příklad



Pro zvolenou výstřednost*e* = 451 mm obdržíme minimální sílu ze vztahu $1/P_{m0}=1,02 \Rightarrow P_{m0}=0,98$ MN.

Předpokládáme-li lano Ø Lp 15,5: $A_{p1}=0,000141$ m², σ_{pm0} 1350 MPa; P_{m01}= 190 MPa, n = 0,98/0,19= 5,1; $\Rightarrow$ 6 Ø Lp 15,5;

P_{m0}= 6.0,000141.1350=1,142 MN, $1/P_{m0}=1/1,142=0,876$ leží v intervalu <0,496; 1,02> $\Rightarrow$ OK!

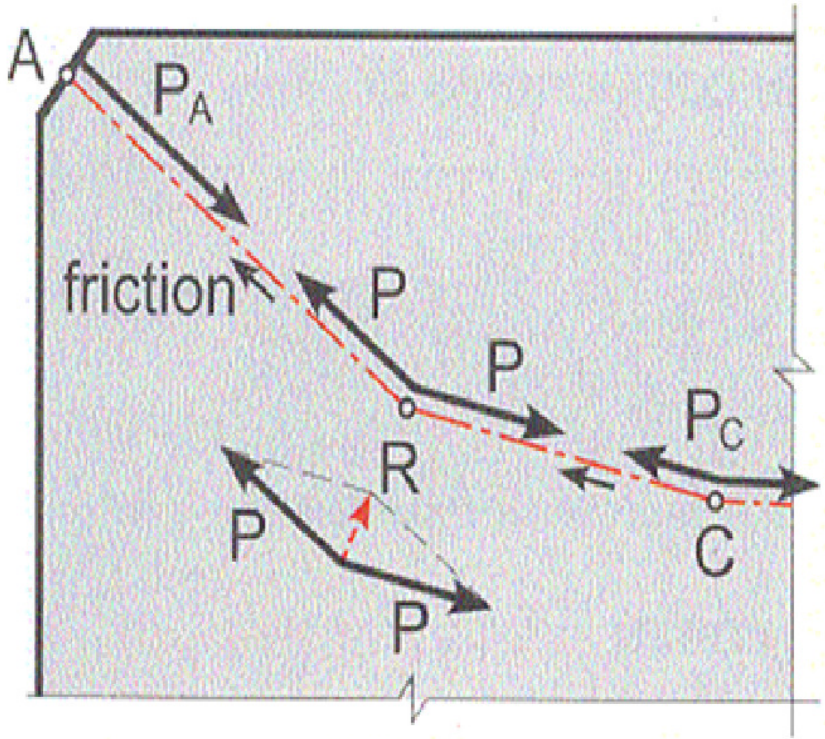
Kontrola napětí v dolních vláknech:

$$\sigma_{cb,\infty} = \frac{-P_{m\infty,inf}}{A} + \frac{-P_{m\infty,inf}\, e_p + M_{qp}}{I_y} z_b =$$

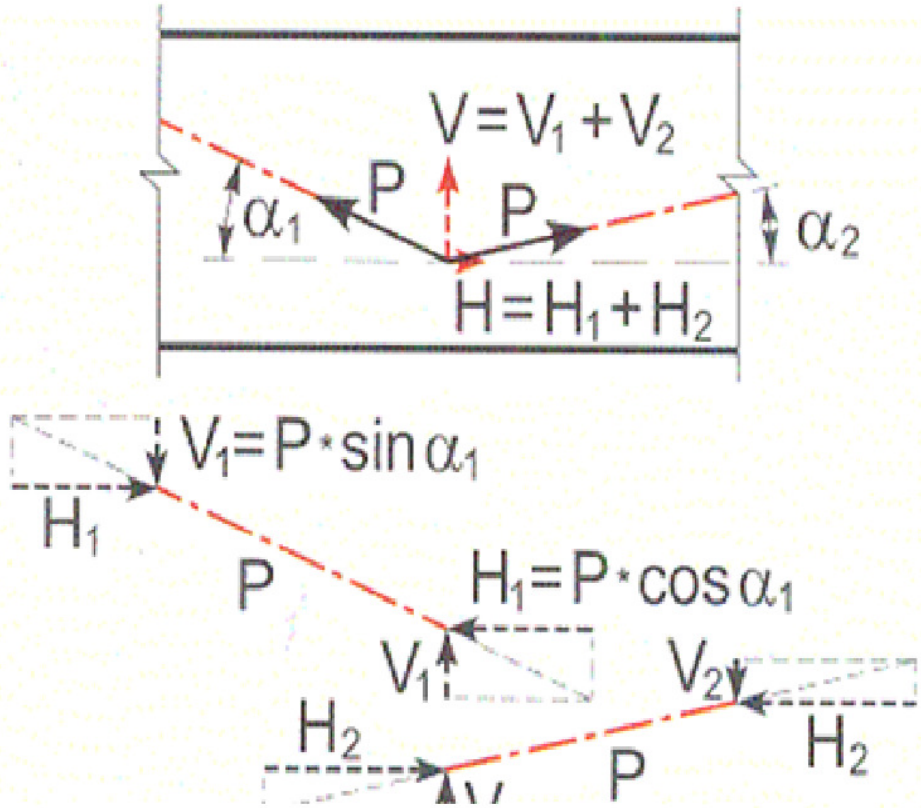
$$= \frac{-1,142 \times 0,8 \times 0,95}{0,325} + \frac{-1,142 \times 0,8 \times 0,95 \times 0,451 \times 0,413}{0,173} 0,511$$

$$= -2 < 0$$

Zakřivená předpínací výztuž



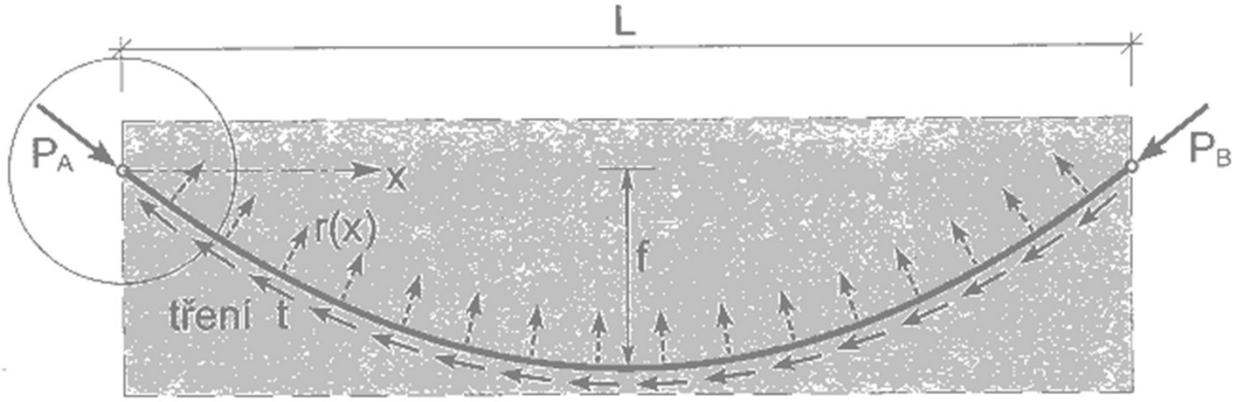
(a) radiální síly



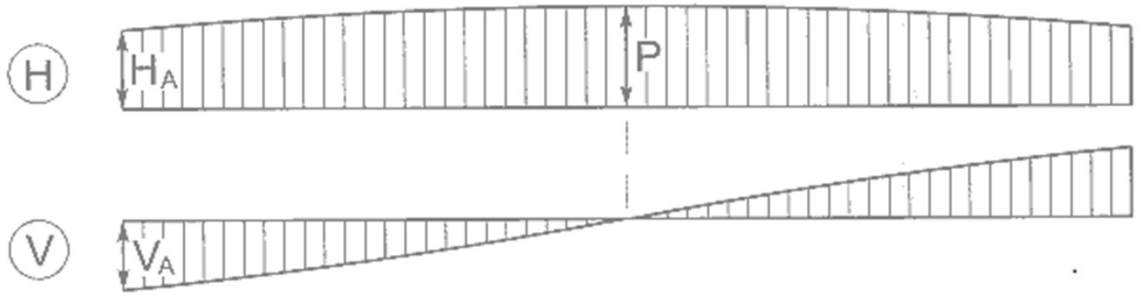
(b)

Síly vyvozené působením předpětí na beton

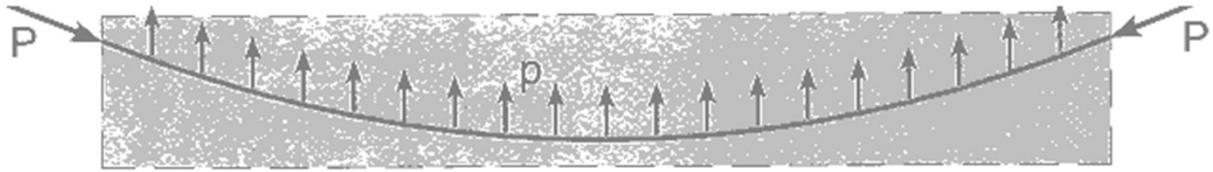
Zakřivená předpínací výztuž



a) skutečné silové působení předpjaté výztuže na beton



b) průběh vodorovné s svislé složky předpínací síly pro P=konst

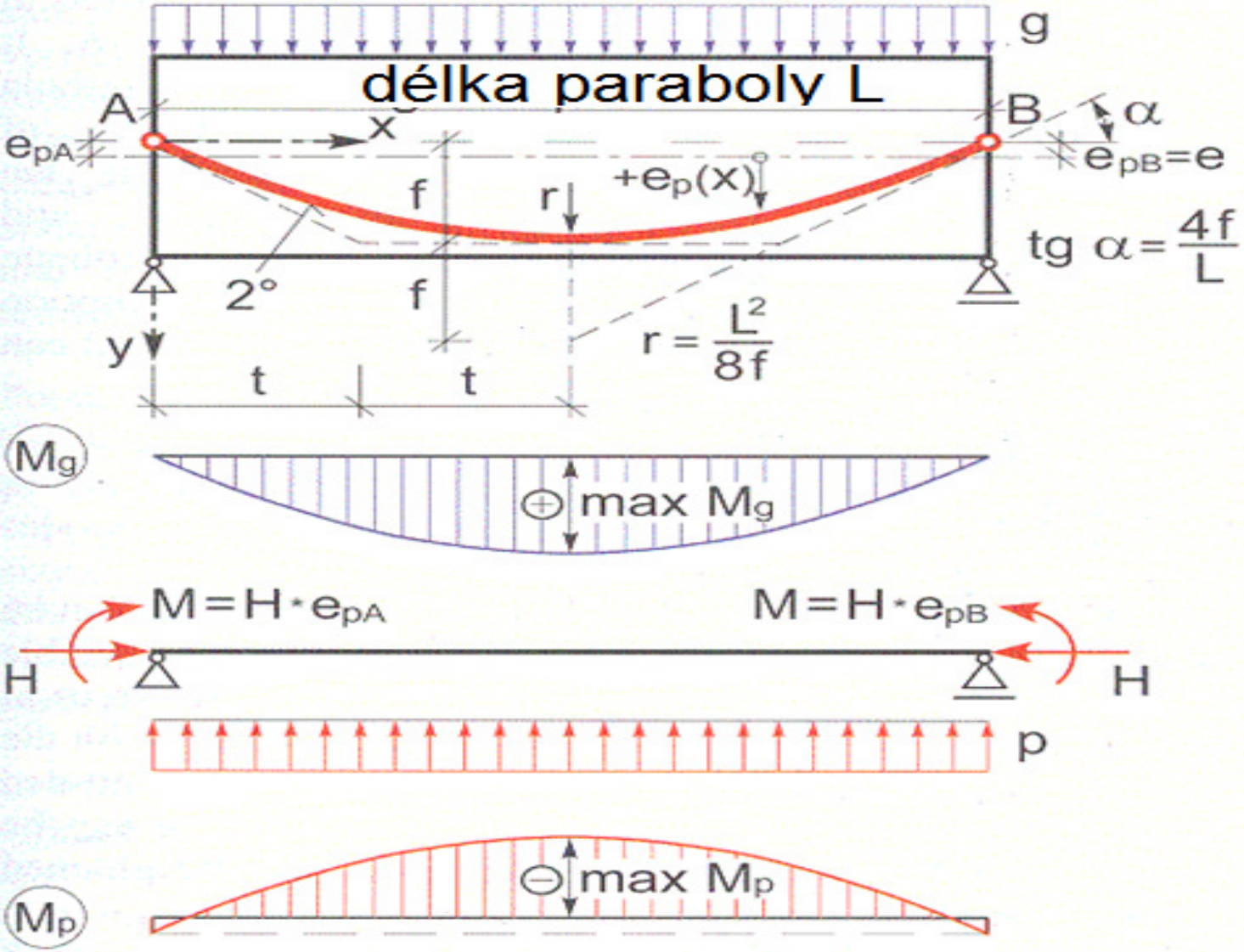


c) ekvival. zatížení pro $\frac{f}{L} \leq \frac{1}{15}$ (H = P =konst)

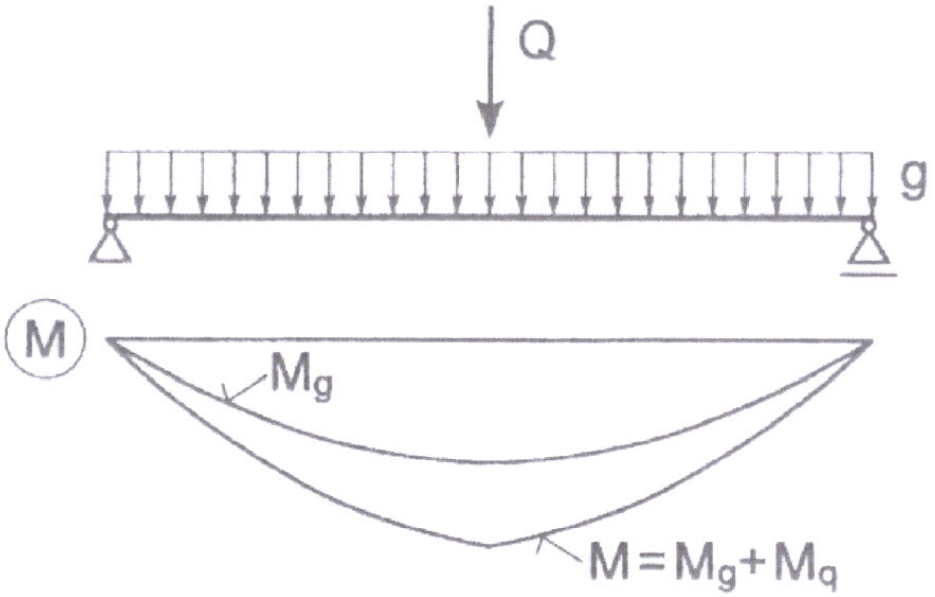
Ekvivalentní zatížení od předpětí pro parabolický tvar kabelu

Nosník s parabolickým kabelem

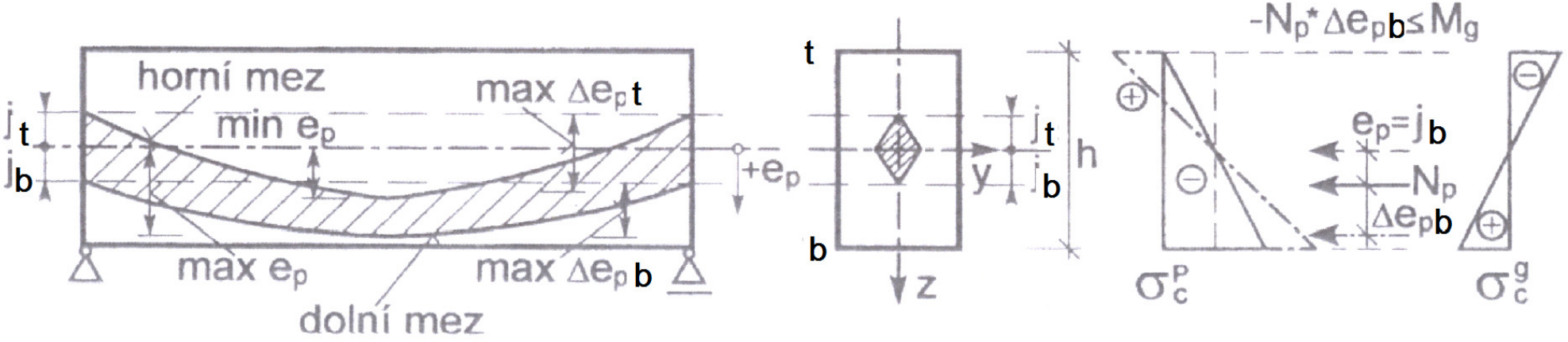
$$p = -\frac{d^2 M_p(x)}{dx^2} = -H\frac{d^2 e_p(x)}{dx^2} = H\frac{8f}{L^2}$$



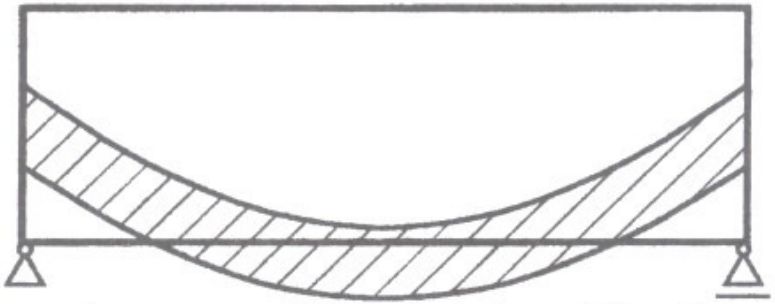
Přípustná zóna umístění těžiště předpínací výztuže



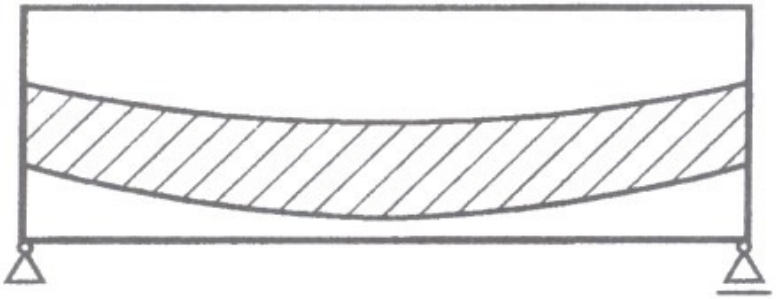
Návrh přibližné hodnoty N_p pomocí ekvivalentního napětí



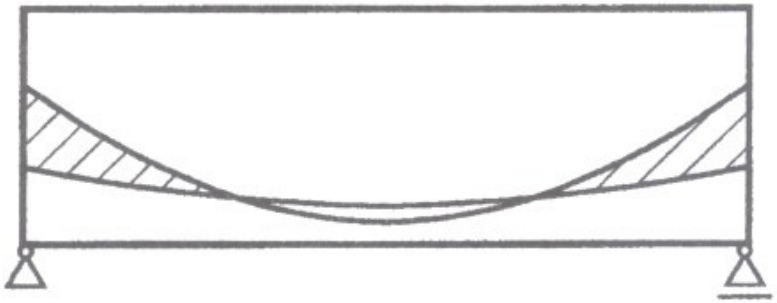
Nežádoucí polohy přípustné zóny



(a) horní mez se blíží dolním vláknům



(b) horní mez se vzdaluje dolním vláknům



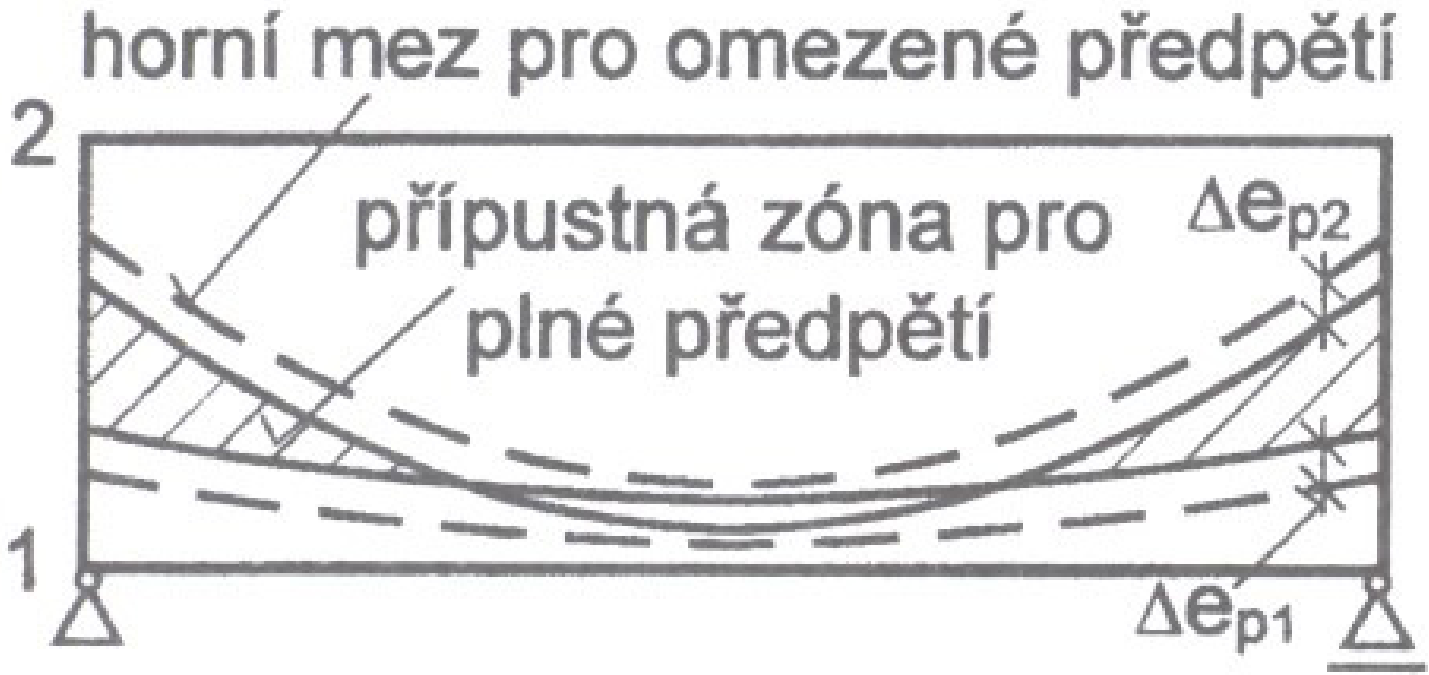
(c) horní a dolní mez se kříží

a) - zvětšit předpínací sílu, nebo
- zvětšit výšku nosníku

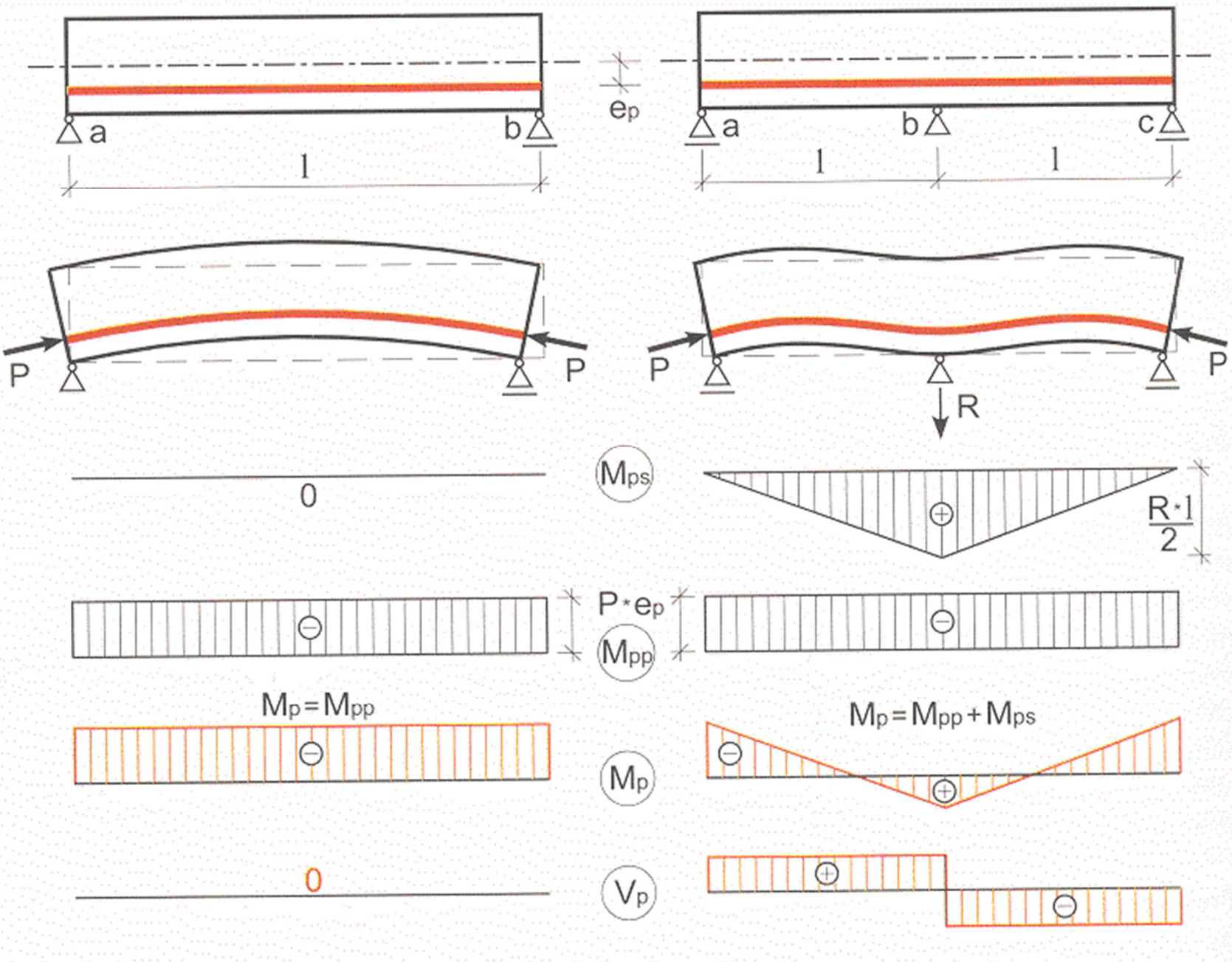
b) - zmenšit předpínací sílu,nebo
- zmenšit výšku nosníku

c) ve střední zóně není k dispozici žádná přípustná zóna polohy těžiště kabelu, proto třeba:
- zvětšit předpínací sílu, nebo
- zvětšit výšku nosníku

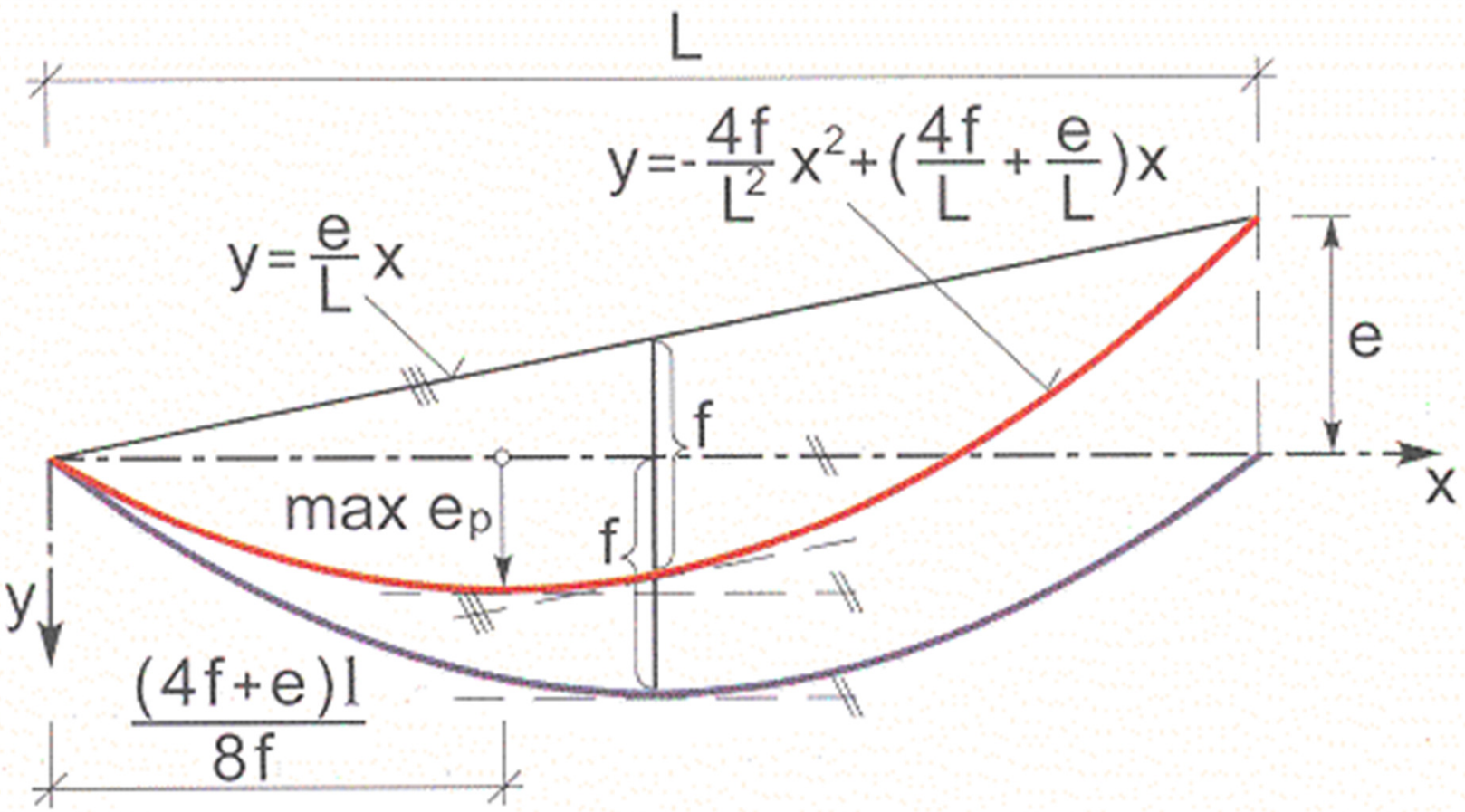
Přípustná zóna pro plné a omezené předpětí



Staticky neurčité účinky předpětí



Geometrické vlastnosti parabolického kabelu



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 2015-2017

Poslední úprava: 26. 10. 2017

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!