

Návrh a posouzení předpětí

- Návrh předpínací síly
- Návrh předpětí
 - Metodou vyrovnání napětí na průřezu
 - Metodou vyrovnání zatížení
- Posouzení předpětí
 - MSP
 - MSÚ
- Staticky neurčité konstrukce
- Podkotevní oblasti



Návrh a posouzení předpětí

- Návrh předpínací síly (ČSN EN 1992-1-1 ed.2; kap. 5.10)
 - Maximální napínací síla (síla při napínání; vztah 5.41)

$$P_{max} = A_p \cdot \sigma_{p,max}$$

$$\sigma_{p,max} = \min\{0,8 \cdot f_{pk}; 0,9 \cdot f_{p0,1k}\}$$

- Maximální síla v předpínací výztuži po předepnutí a zakotvení (po odečtení **krátkodobých** ztát; vztah 5.43)

$$P_{m0} = A_p \cdot \sigma_{pm0}$$

$$\sigma_{pm0} = \min\{0,75 \cdot f_{pk}; 0,85 \cdot f_{p0,1k}\}$$



Návrh a posouzení předpětí

- Návrh předpínací síly (ČSN EN 1992-1-1 ed.2; kap. 5.10)
 - Omezení napětí v betonu (v okamžiku zavedení předpětí; vztah 5.42)
 - Zabránění místnímu rozdrčení, nebo rozštěpení betonu

- Dodatečně předpjatý beton:

$$\sigma_c \leq 0,6 \cdot f_{ck}(t)$$

- Předem předpjatý beton:

$$\sigma_c \leq 0,7 \cdot f_{ck}(t)$$



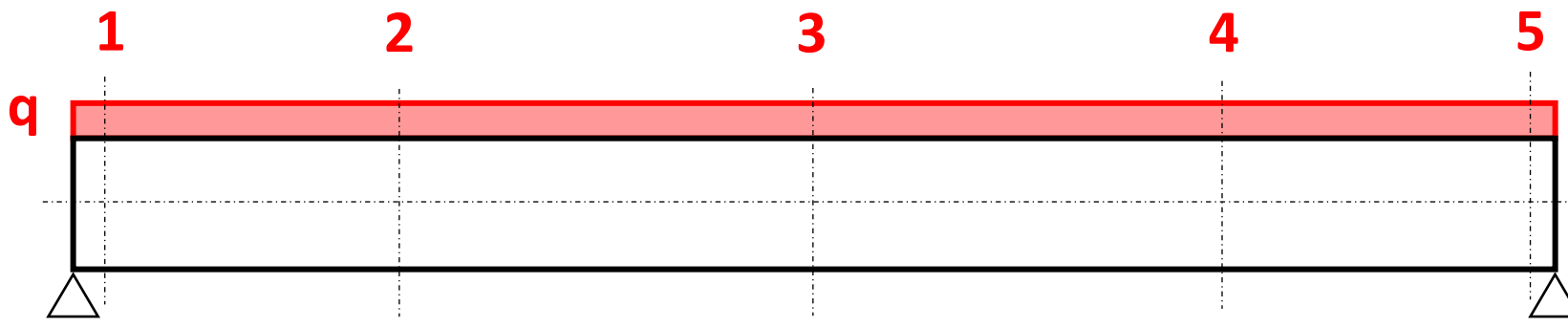
Návrh a posouzení předpětí

- Návrh předpětí
 - Na účinky MSP
 - Rozhodující průřezy
 - Odhad ztrát předpětí
 - Metodou vyrovnání napětí na průřezu
 - Metodou vyrovnání zatížení



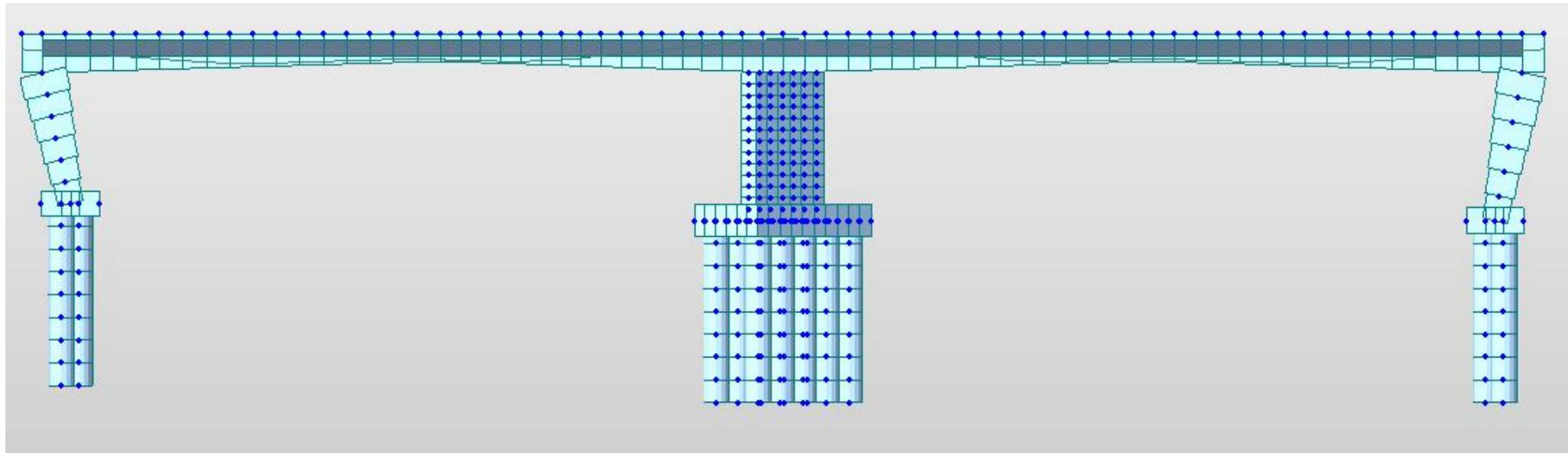
Návrh a posouzení předpětí

- Metoda vyrovnání napětí na průřezu
 - Jednoduchá metoda
 - Často nelogické vedení kabelů
 - Lokální řešení problému bez zohlednění globálního působení (minimální vliv na svislé deformace – problémy s dlouhodobými průhyby konstrukcí)
 - Tahová napětí od stálých a proměnných zatížení v hledaném průřezu se vyrovnají tlakovým napětím od předpětí
 - Tlakové napětí nesmí překročit povolené tlakové napětí



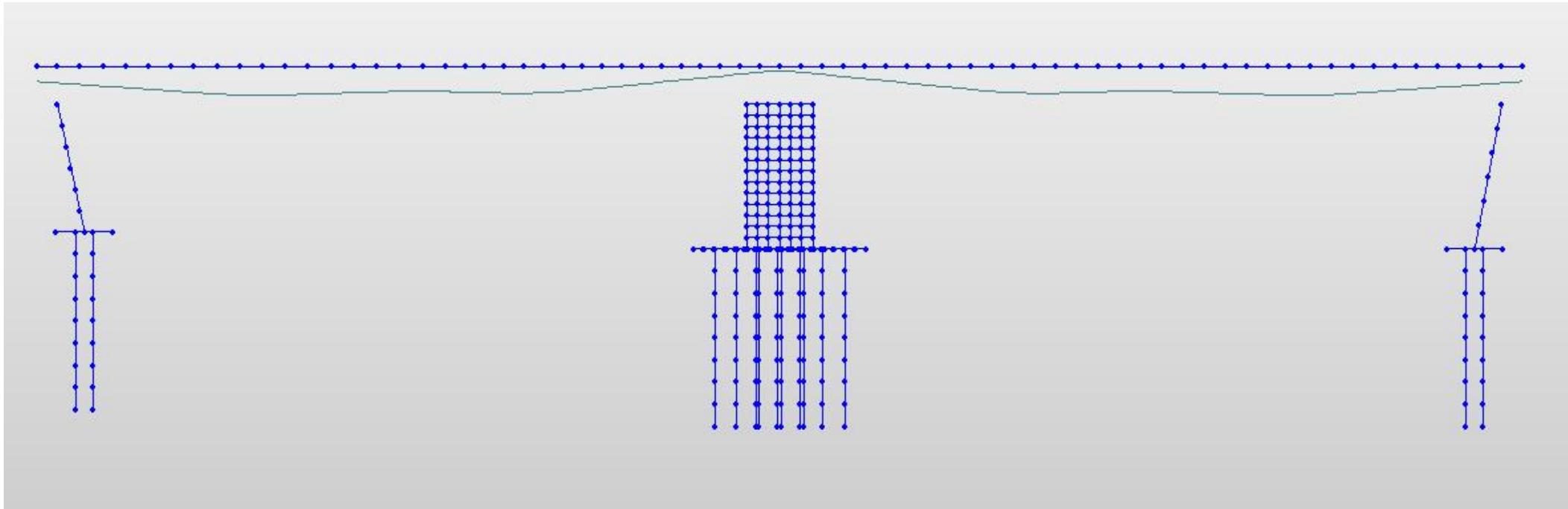
Návrh a posouzení předpětí

- Metoda vyrovnání napětí na průřezu
 - Často nelogické vedení kabelů



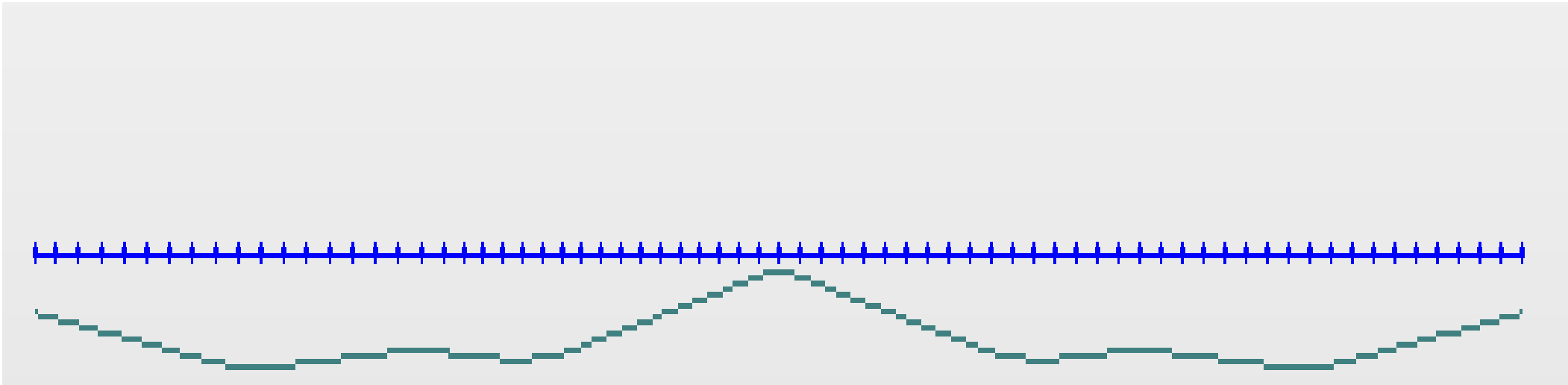
Návrh a posouzení předpětí

- Metoda vyrovnání napětí na průřezu
 - Často nelogické vedení kabelů



Návrh a posouzení předpětí

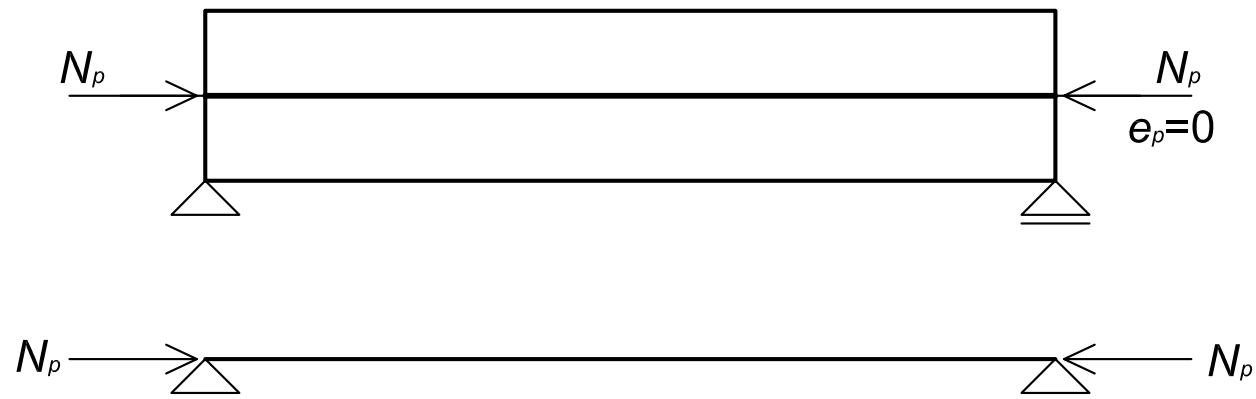
- Metoda vyrovnání napětí na průřezu
 - Často nelogické vedení kabelů



Návrh a posouzení předpětí

- Metoda vyrovnání zatížení
- Proti účinkům vnějšího zatížení
- 80-100% stálých zatížení

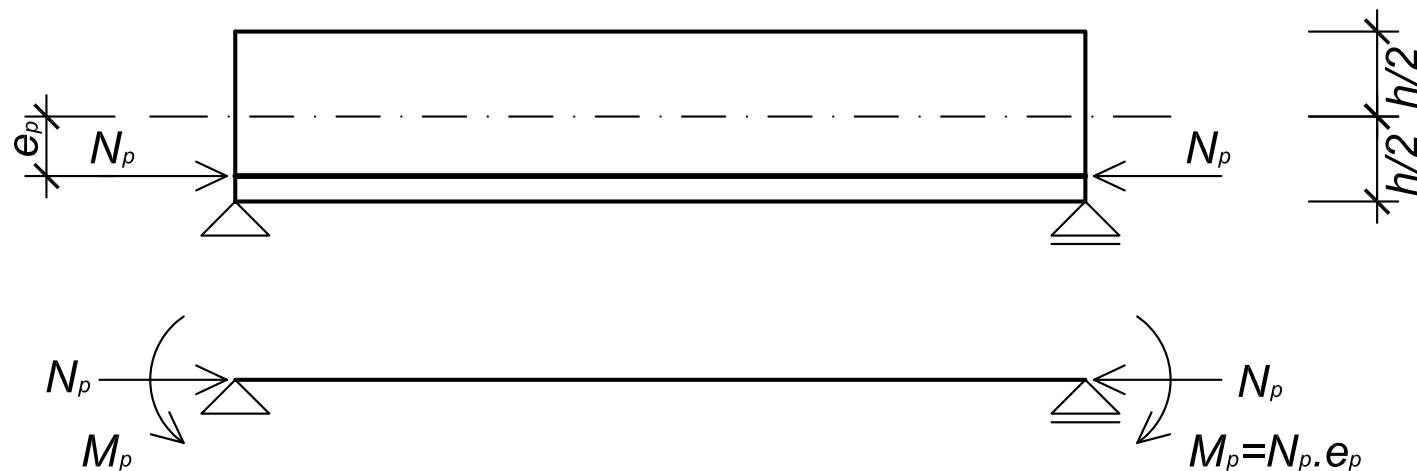
A - PŘÍMÁ DRÁHA BEZ EXCENTRICITY



Návrh a posouzení předpětí

- Metoda vyrovnání zatížení
- Proti účinkům vnějšího zatížení
- 80-100% stálých zatížení

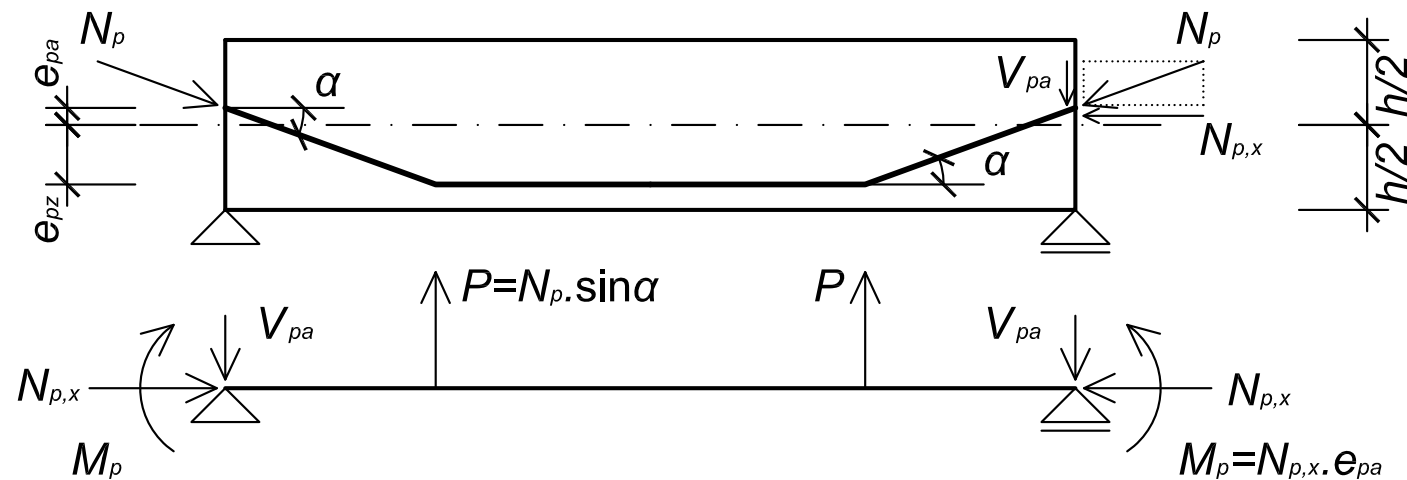
B - PŘÍMÁ DRÁHA S EXCENTRICITOU



Návrh a posouzení předpětí

- Metoda vyrovnání zatížení
- Proti účinkům vnějšího zatížení
- 80-100% stálých zatížení

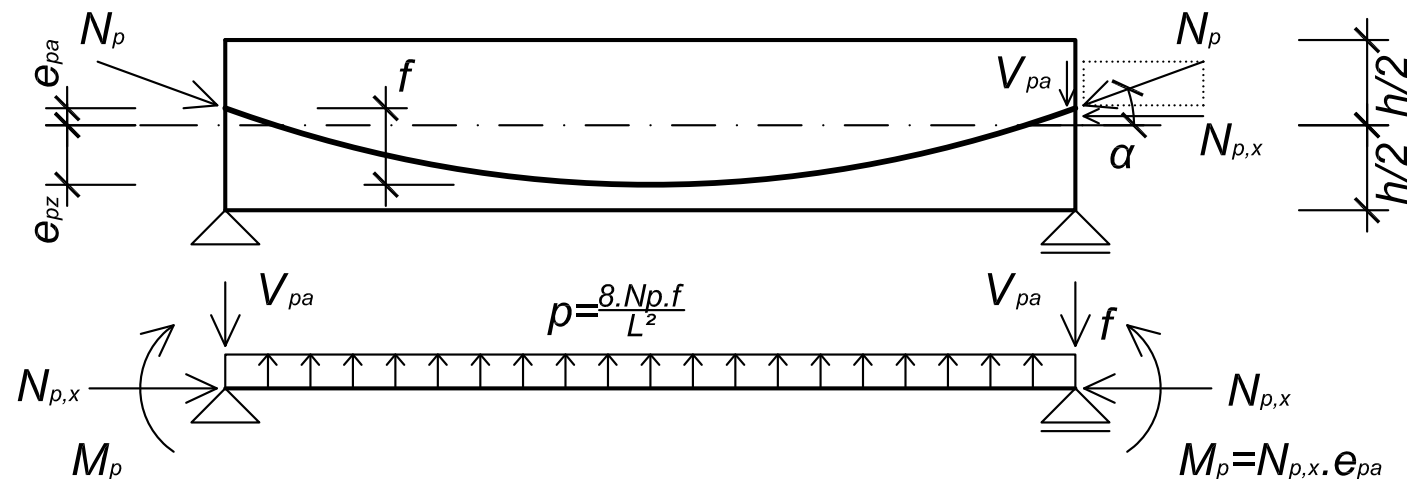
C - DRÁHA VE TVARU POLYGONU



Návrh a posouzení předpětí

- Metoda vyrovnání zatížení
- Proti účinkům vnějšího zatížení
- 80-100% stálých zatížení

D - PARABOLICKÁ DRÁHA



Návrh a posouzení předpětí

- MSP (ČSN EN 1992-1-1 ed. 2)

- $P_{k,sup}$

- předem napínané a nesoudržné vložky $1,05 \cdot P_k$*

- dodatečně napínané vložky $1,1 \cdot P_k$*

- $P_{k,inf}$

- předem napínané a nesoudržné vložky $0,95 \cdot P_k$*

- dodatečně napínané vložky $0,9 \cdot P_k$*

- Omezení napětí (kap 7.2)

- Omezení trhlin (kap 7.3)

- Omezení průhybů (kap 7.4)

- V okamžiku uvedení do provozu (krátkodobé ztráty)

- Na konci životnosti (krátkodobé a dlouhodobé ztráty)

Návrh a posouzení předpětí

- MSP (ČSN EN 1992-1-1 ed. 2)
 - 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
 - $\sigma_s < 0,8 f_{yk}$
 - $\sigma_p < 0,75 f_{pk}$
 - Omezení trhlin
 - Omezení průhybů



Návrh a posouzení předpětí

MAXIMÁLNÍ NAPÍNACÍ NAPĚTÍ

$$\sigma_{p,max} = \min\{0,8 \cdot f_{pk}; 0,9 \cdot f_{p0,1k}\}$$

OKAMŽIK PŘEDEPNUTÍ

MAXIMÁLNÍ SÍLA VE VÝZTUŽI PO ZAKOTVENÍ

$$\sigma_{pm0} = \min\{0,75 \cdot f_{pk}; 0,85 \cdot f_{p0,1k}\}$$

MAXIMÁLNÍ SÍLA V BETONU PO ZAKOTVENÍ

Dodatečně $\sigma_{cc} \leq 0,6 \cdot f_{ck}(t)$ Předem $\sigma_{cc} \leq 0,7 \cdot f_{ck}(t)$

UVEDENÍ DO PROVOZU

CHARAKTERISTICKÁ KOMBINACE

Beton $\sigma_{cc} \leq 0,6 \cdot f_{ck}(t)$ Ocel $\sigma_{st} \leq 0,8 \cdot f_{yk}$ $\sigma_{pt} \leq 0,75 \cdot f_{pk}$

KVAZISTÁLÁ KOMBINACE

$$\sigma_{cc} \leq 0,45 \cdot f_{ck}(t)$$

KONEC ŽIVOTNOSTI

CHARAKTERISTICKÁ KOMBINACE

Beton $\sigma_{cc} \leq 0,6 \cdot f_{ck}(t)$ Ocel $\sigma_{st} \leq 0,8 \cdot f_{yk}$ $\sigma_{pt} \leq 0,75 \cdot f_{pk}$

KVAZISTÁLÁ KOMBINACE

$$\sigma_{cc} \leq 0,45 \cdot f_{ck}(t)$$

Návrh a posouzení předpětí

- MSP (ČSN EN 1992-1-1 ed. 2)
 - Omezení napětí
 - Omezení trhlin (kap 7.3)
 - Omezení průhybů



Návrh a posouzení předpětí

- Dekomprese
 - **Beton ve vzdálenosti 100 mm od předpínací výztuže (nebo kanálku) bude tlačný**

| 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.

Návrh a posouzení předpětí

- MSP (ČSN EN 1992-1-1 ed. 2)

- Omezení napětí
- Omezení trhlin
- Omezení průhybů

(kap 7.3)

| | | Stupeň protikorozní ochrany předpínací výztuže $PL^g)$ pro konstrukční ochranná opatření | | |
|------------------------------------|-----------------------|--|-----------|---------------------|
| | | vysoká ^{e)} | střední | nížká ^{f)} |
| Agresivita prostředí ^{a)} | Vysoká ^{b)} | PL2 | PL2 – PL3 | PL3 |
| | Střední ^{c)} | PL1 – PL2 | PL2 | PL2 – PL3 |
| | Nížká ^{d)} | PL1 | PL1 – PL2 | PL2 |

a) Agresivita prostředí je dána chemickými vlivy (např. účinky chloridů), vlivem únavy a účinky bludných proudů.

b) Stupeň vlivu prostředí XC4, XD3, XF4, XA3 podle ČSN EN 206-1 a/nebo prostředí podle ČSN 73 6214:2014, článek 12(9).

c) Stupeň vlivu prostředí XC2 a XC3, XD2, XF2 a XF3, XA2 podle ČSN EN 206-1 a/nebo prostředí podle ČSN 73 6214:2014, článek 12(9).

d) Maximální stupeň vlivu prostředí XC1, XD1, XF1, XA1 podle ČSN EN 206-1 a/nebo prostředí podle ČSN 73 6214:2014, článek 12(9).

e) Např. předpínací výztuž v konstrukci spolehlivě chráněné vodotěsnou izolací.

f) Např. předpínací výztuž v parapetním nosníku vystupujícím nad vozovku.

g) Stupeň protikorozní ochrany předpínací výztuže – viz tabulka NA.3.

Návrh a posouzení předpětí

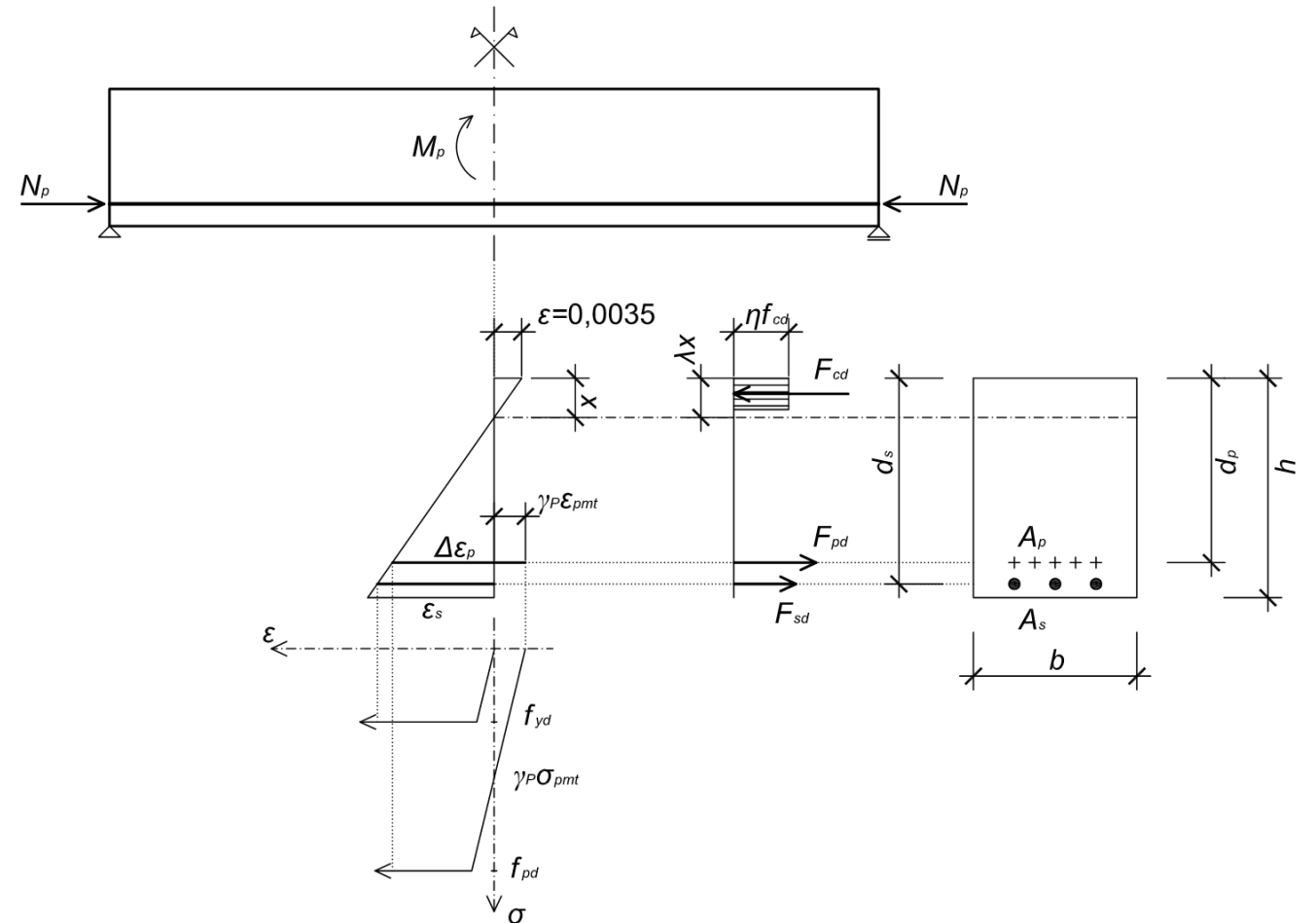
- MSP (ČSN EN 1992-1-1 ed. 2)
 - Omezení napětí
 - Omezení trhlin (kap 7.3)
 - Omezení průhybů

| Stupeň protikorozní ochrany předpínací výztuže (<i>Protection Level</i>) | Výztuž pro dodatečně předpjatý beton | Výztuž pro předem předpjatý beton |
|--|---|--|
| PL1 | Předpínací výztuž zainjektovaná v kovovém kanálku. | Výztuž chráněná dostatečnou krycí vrstvou betonu. |
| PL2 | Předpínací výztuž zainjektovaná v plastovém ^{a)} kanálku. Kovová povlakovaná výztuž. Nekovová předpínací výztuž. | Kovová povlakovaná výztuž s ochranou konců. Nekovová předpínací výztuž. |
| PL3 | Předpínací výztuž podle PL2 doplněná o kompletní elektrickou izolaci (u kovové výztuže) a monitoring stavu výztuže. | Předpínací výztuž podle PL2 doplněná o monitoring stavu výztuže. |

^{a)} S plastovými kanálky je možno dosáhnout vyšší vodotěsnosti i vyšší únavové odolnosti.

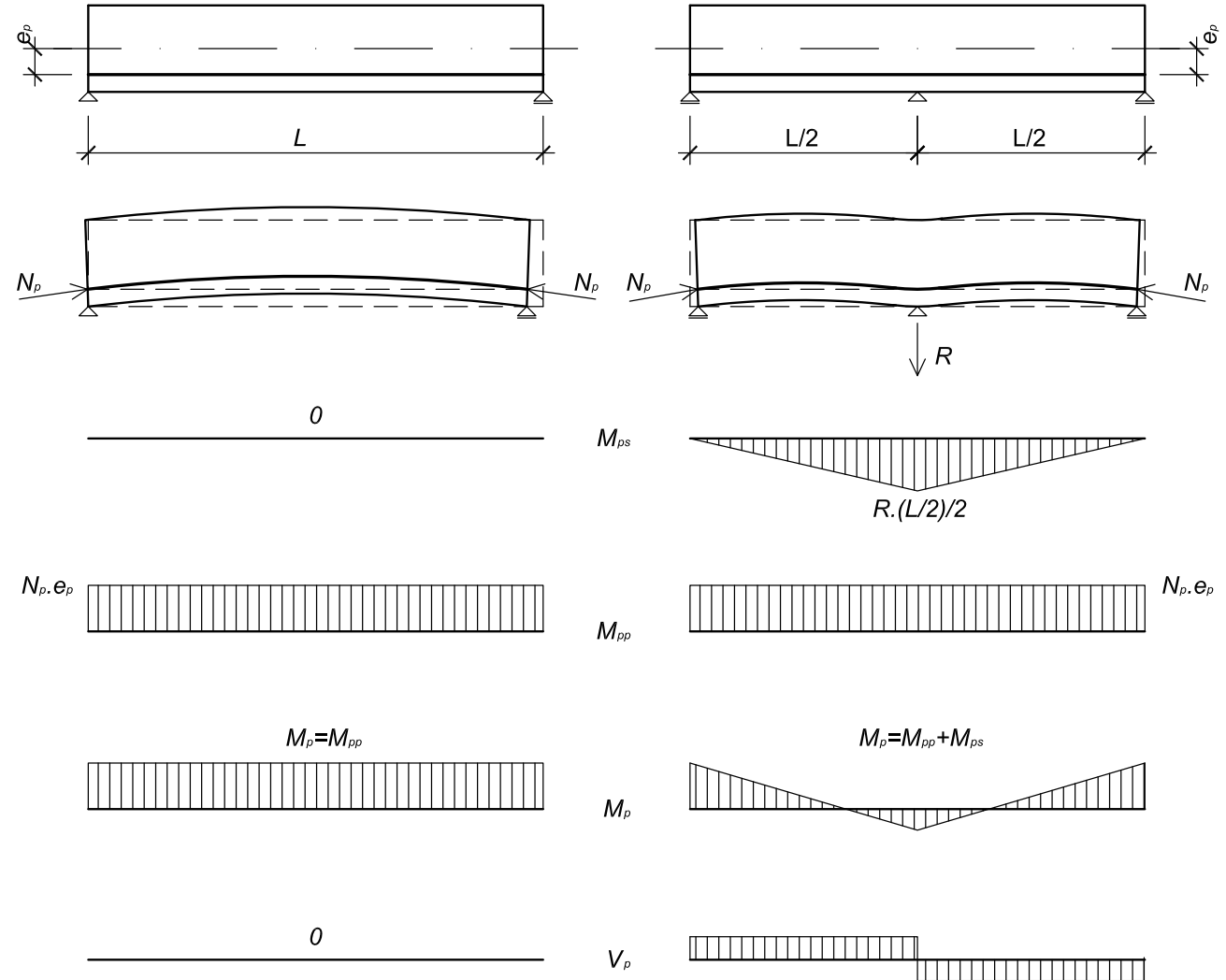
Návrh a posouzení předpětí

- MSÚ (ČSN EN 1992-1-1 ed. 2)
 - Soudržná
 - Nesoudržná výztuž



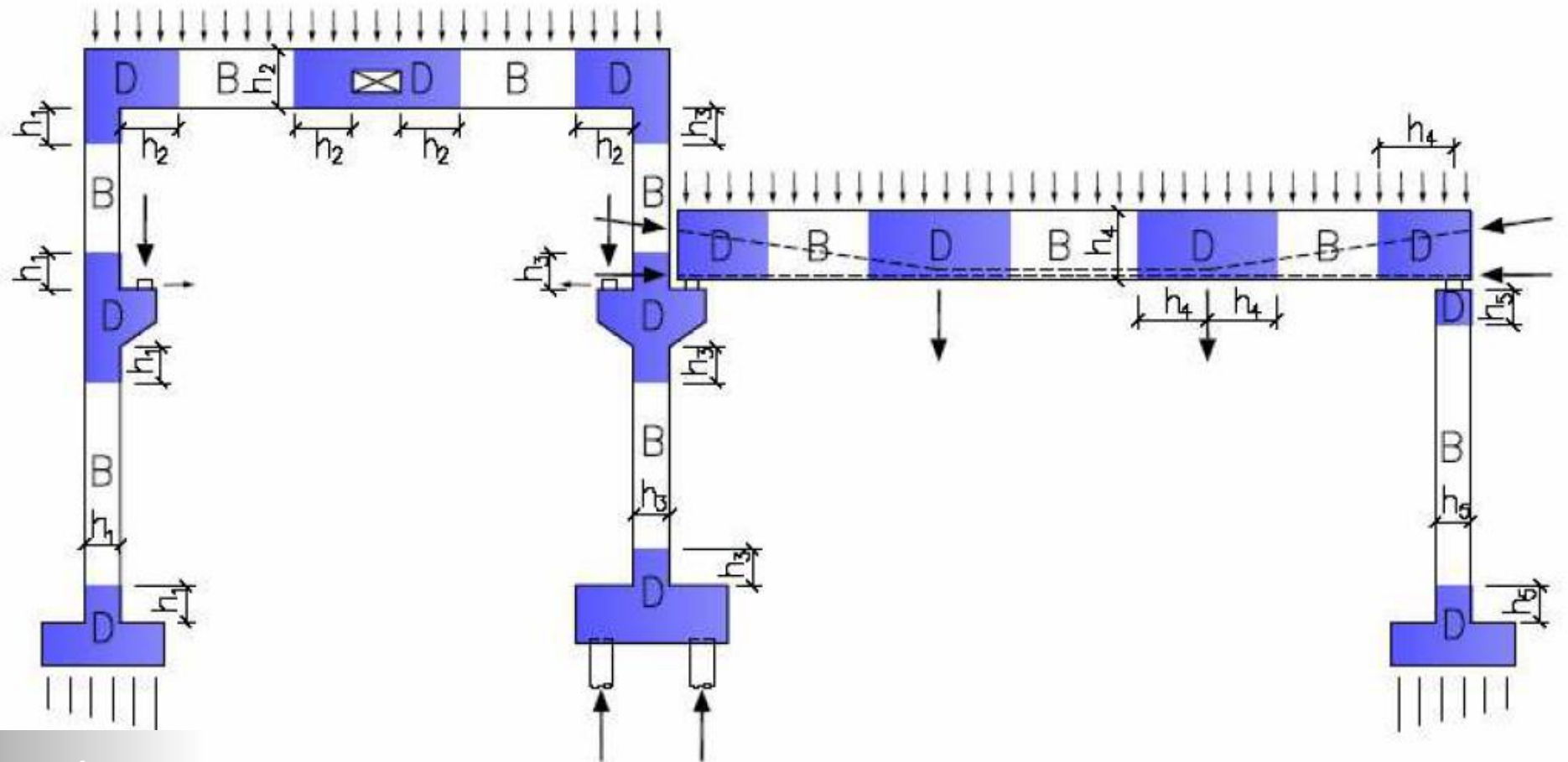
Návrh a posouzení předpětí

- Staticky neurčitá konstrukce
 - Konkordantní kabel



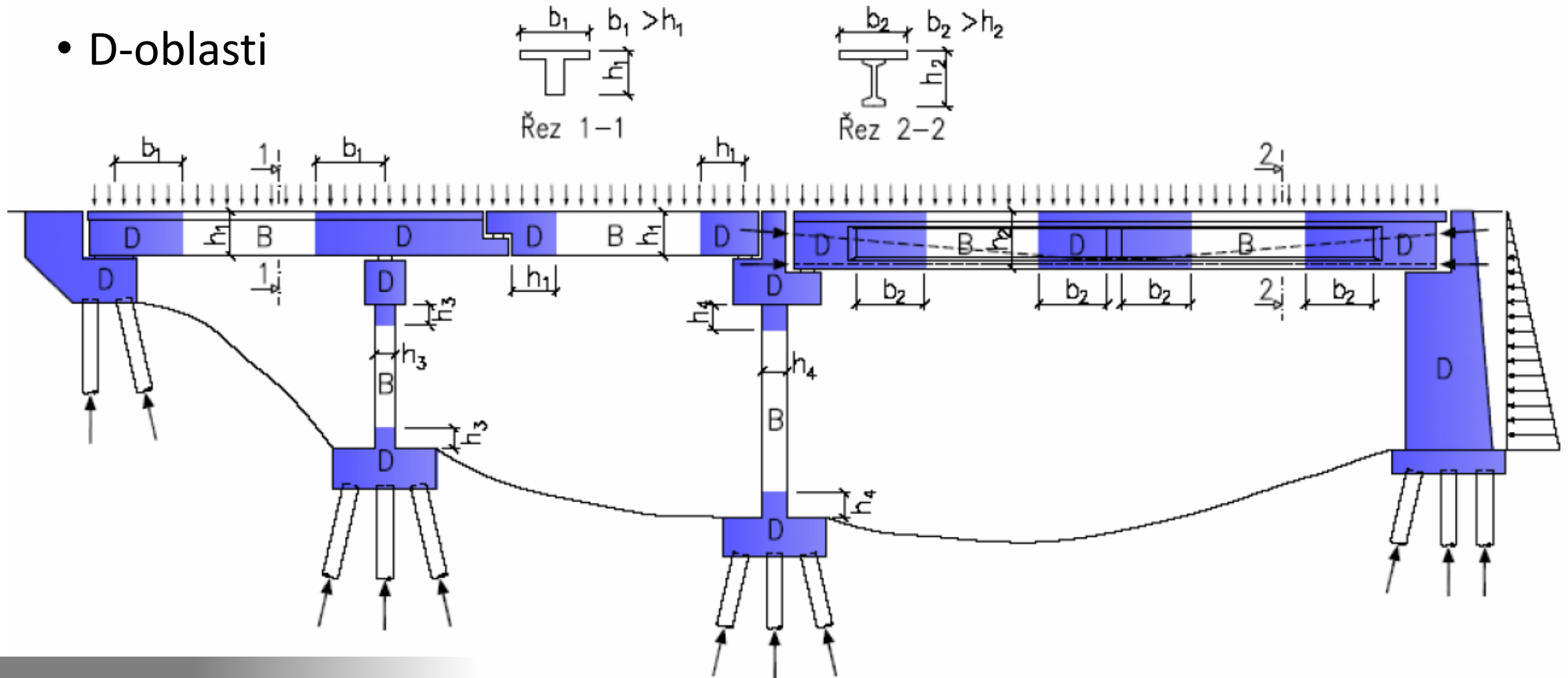
Návrh a posouzení předpětí

- D-oblasti



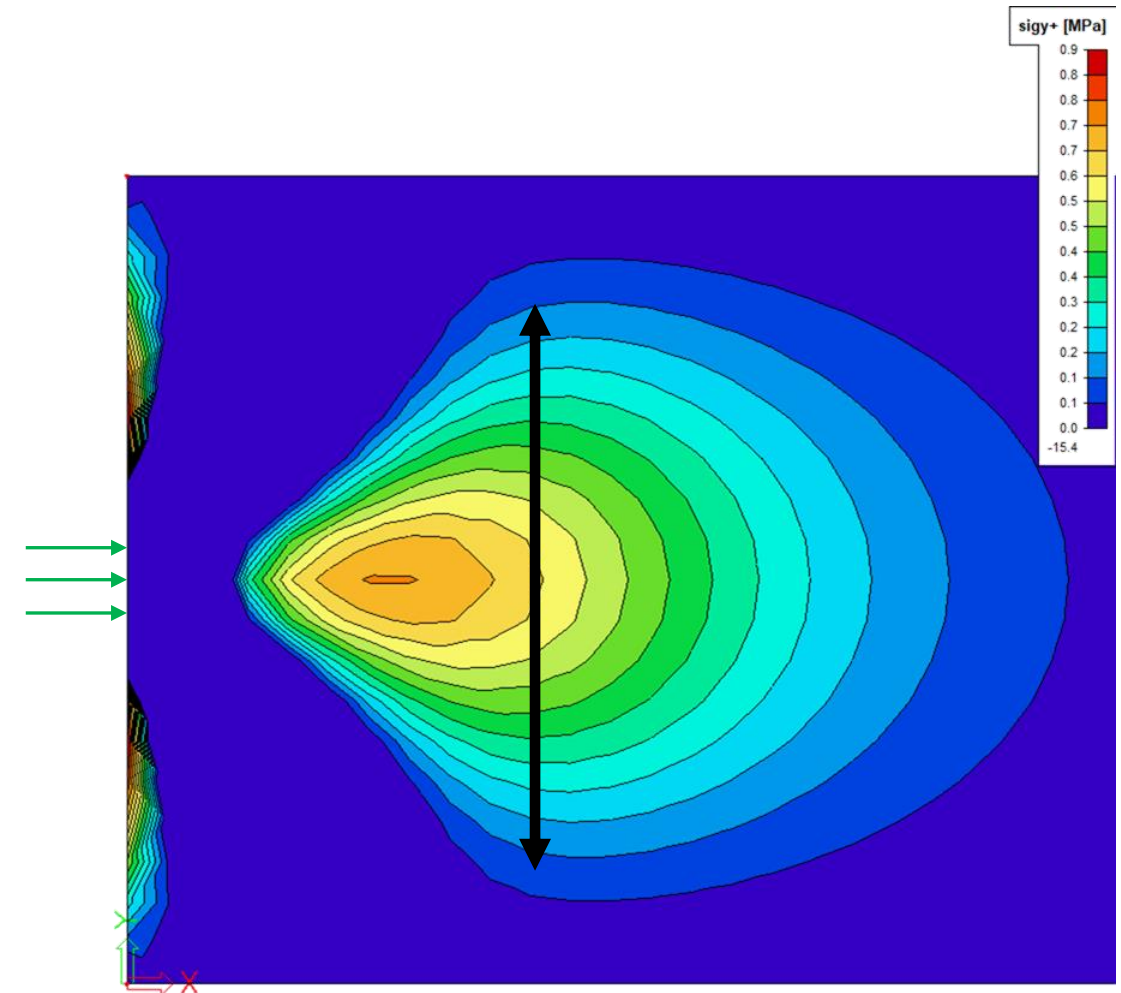
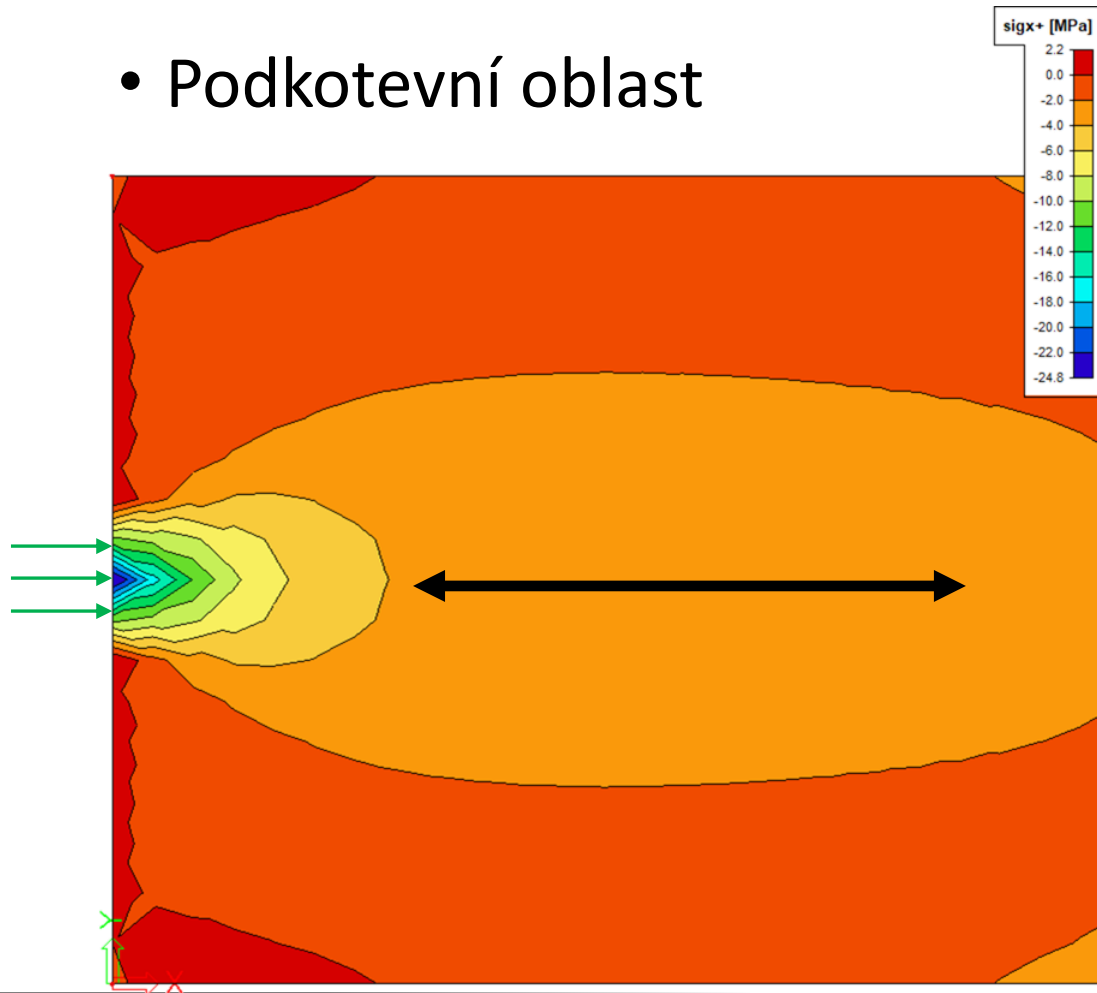
Návrh a posouzení předpětí

- D-oblasti



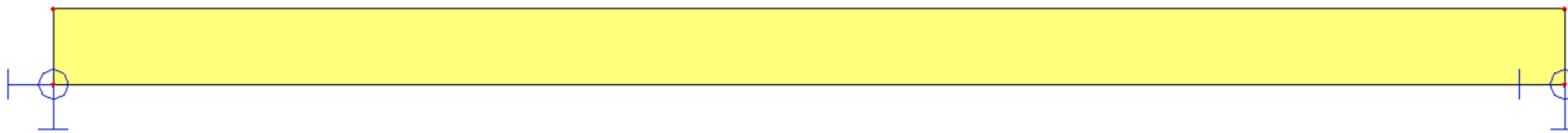
Návrh a posouzení předpětí

- Podkotevní oblast

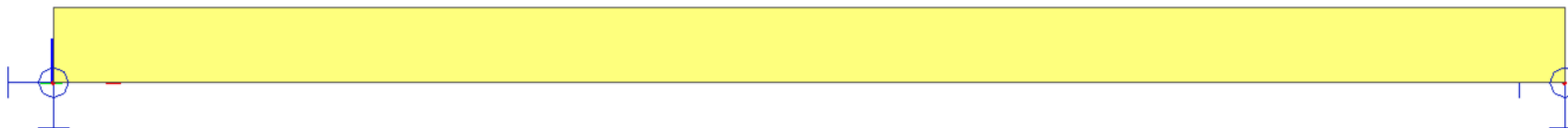


Návrh a posouzení předpětí

- Podkotevní oblast
 - Prostý nosník
 - $L = 10,0$ m
 - $B = 0,3$ m; $H = 0,5$ m
 - **Stěnový model**

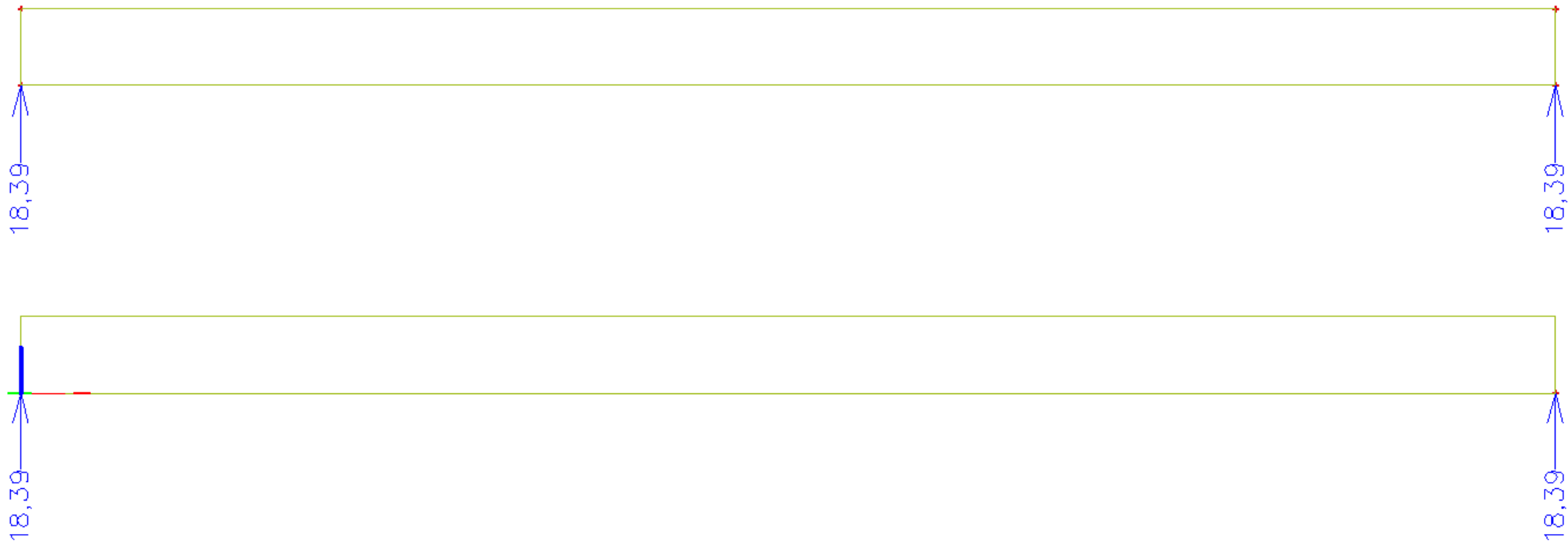


- **Prutový model**



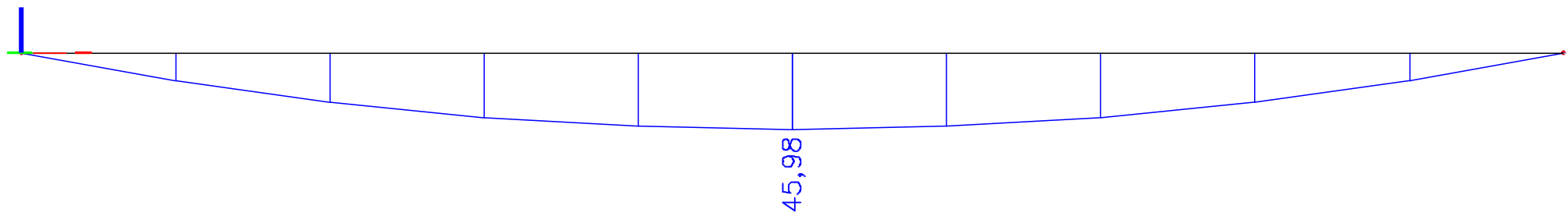
Návrh a posouzení předpětí

- Podkotevní oblast
 - Prostý nosník



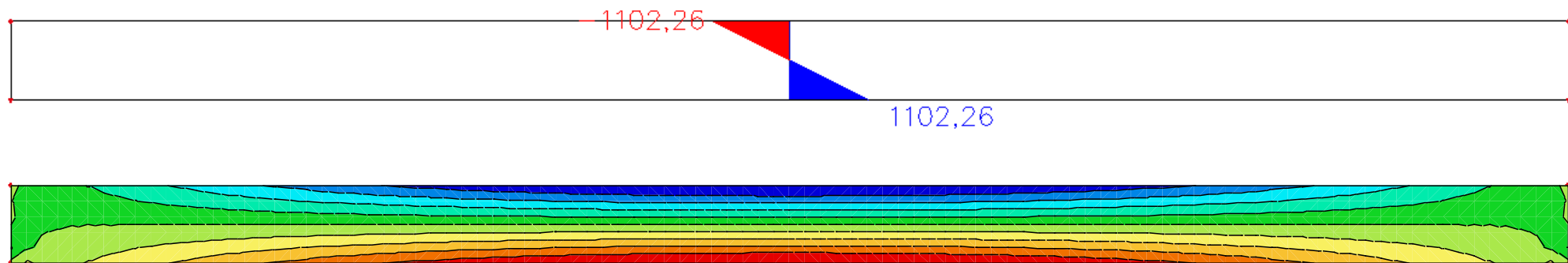
Návrh a posouzení předpětí

- Podkotevní oblast
 - Prostý nosník
 - $M_{g0} = 45,98$ kNm



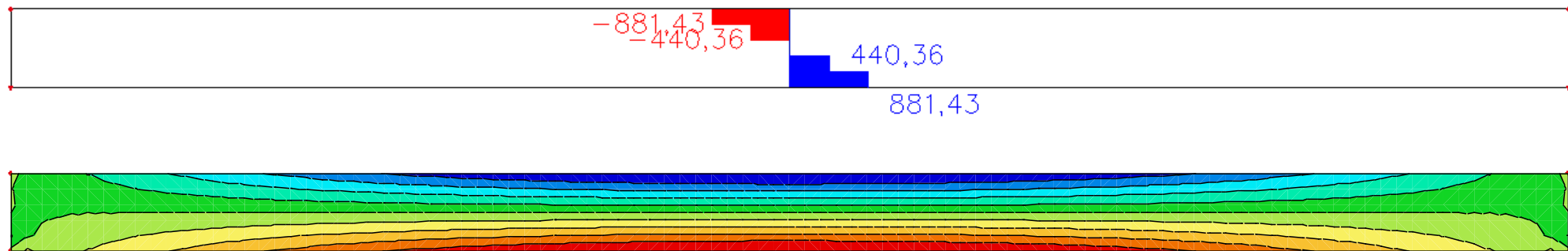
Návrh a posouzení předpětí

- Podkotevní oblast
 - Prostý nosník
 - n_x [kN/m]
 - $F_c = F_t = 1\,102,26 \cdot 0,25 = \mathbf{137,78}$ kN
 - $M_{g0} = 2 \cdot 137,78 \cdot 2/3 \cdot 0,25 = \mathbf{45,93}$ kNm $\approx \mathbf{45,98}$ kNm



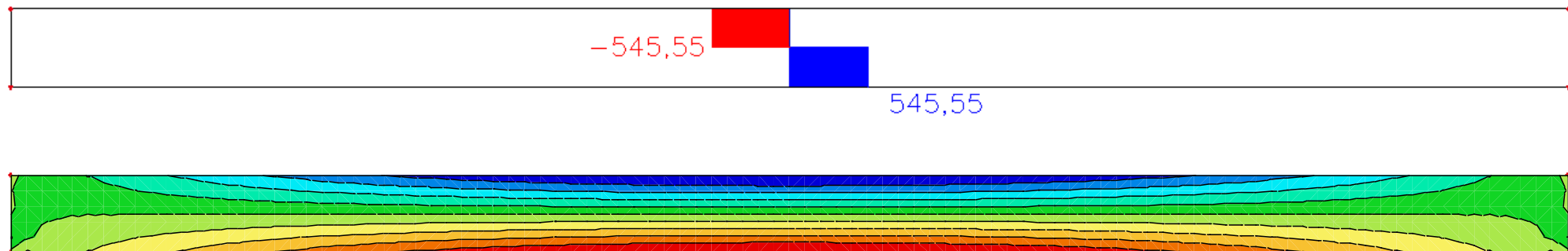
Návrh a posouzení předpětí

- Podkotevní oblast
 - Prostý nosník
 - n_x [kN/m]
 - $F_c = F_t = 881,43 \cdot 0,1 + 440,36 \cdot 0,1 = \mathbf{132,18}$ kN $\approx \mathbf{137,78}$ kN
 - $M_{g0} = \mathbf{44,06}$ kNm $\approx \mathbf{45,98}$ kNm



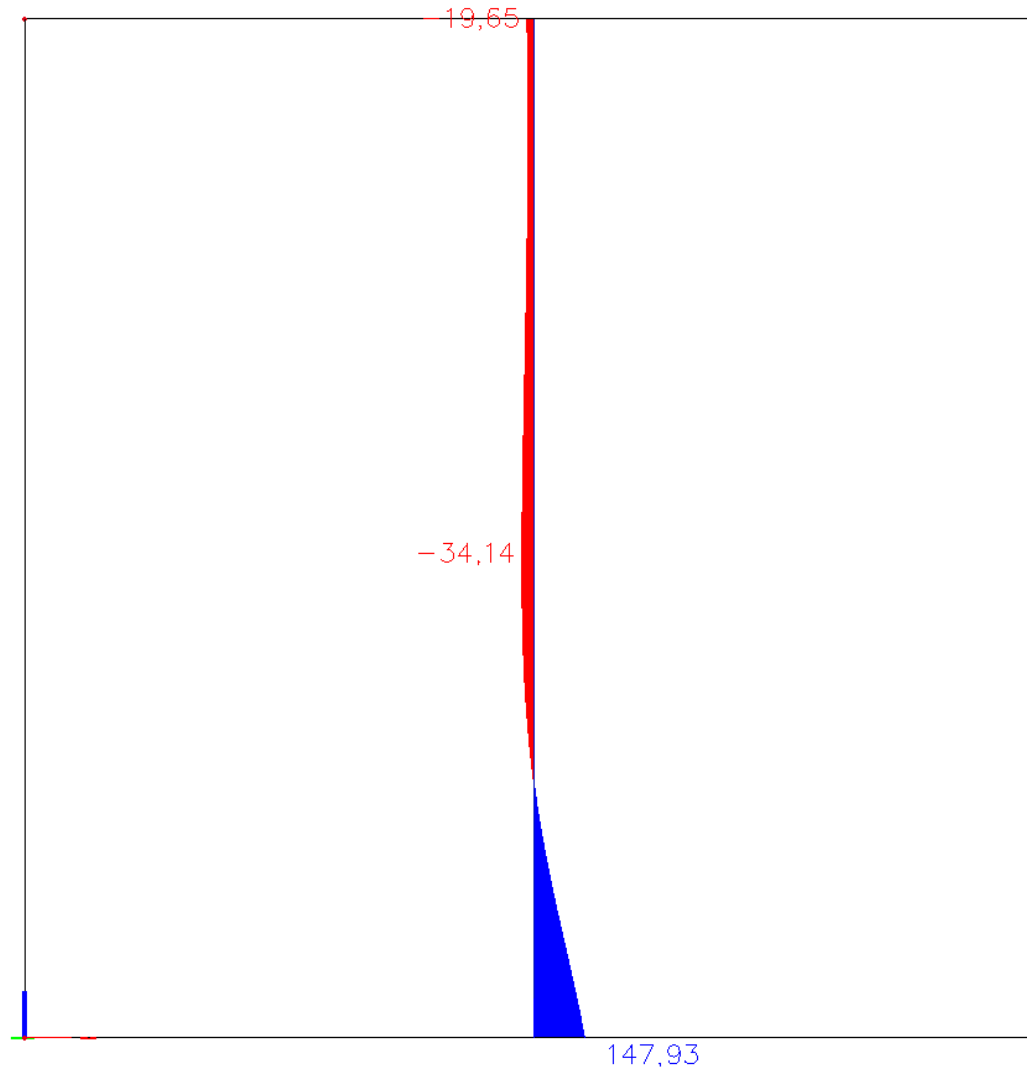
Návrh a posouzení předpětí

- Podkotevní oblast
 - Prostý nosník
 - n_x [kN/m]
 - $F_c = F_t = 545,55 \cdot 0,25 = 136,39$ kN $\approx 137,78$ kN
 - $M_{g0} = 34,10$ kNm $\neq 45,98$ kNm



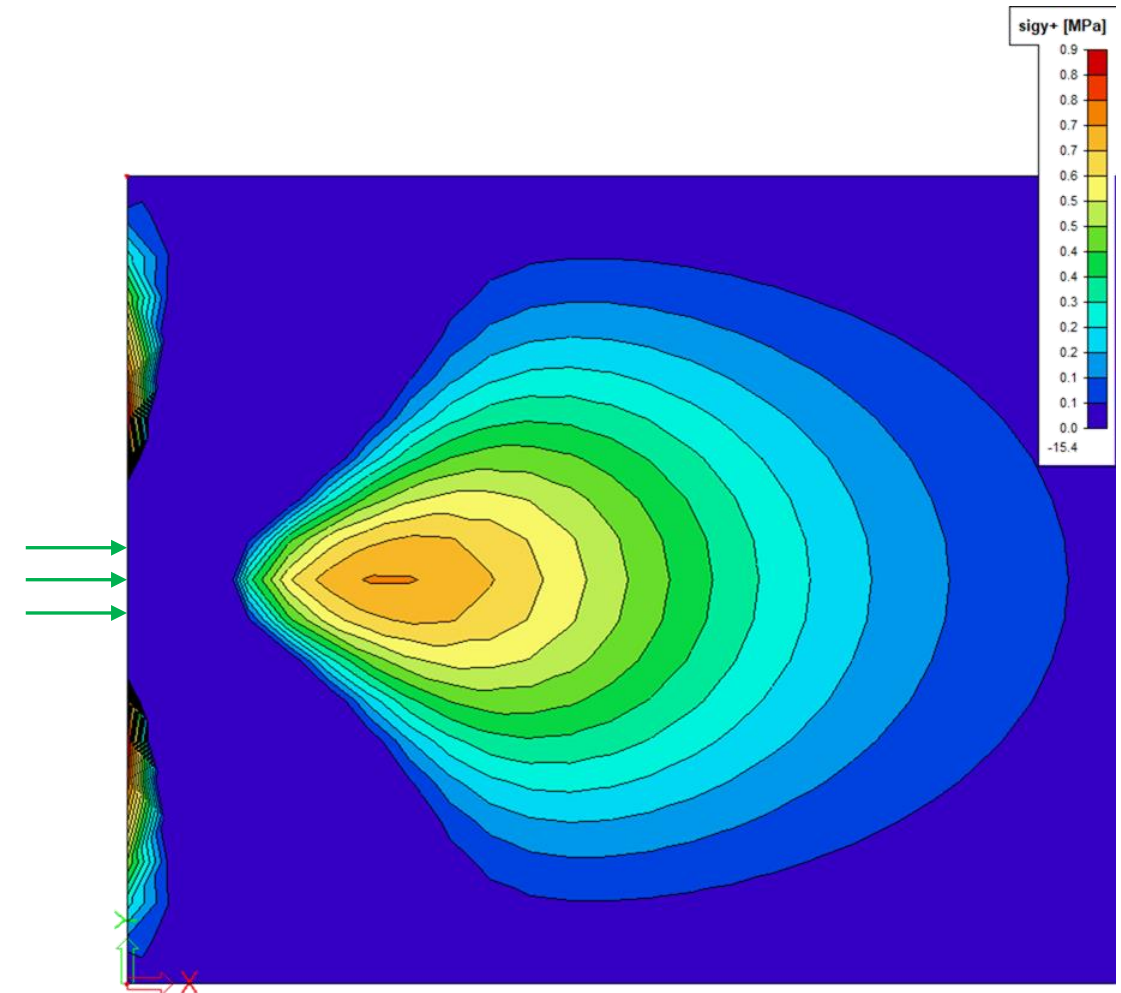
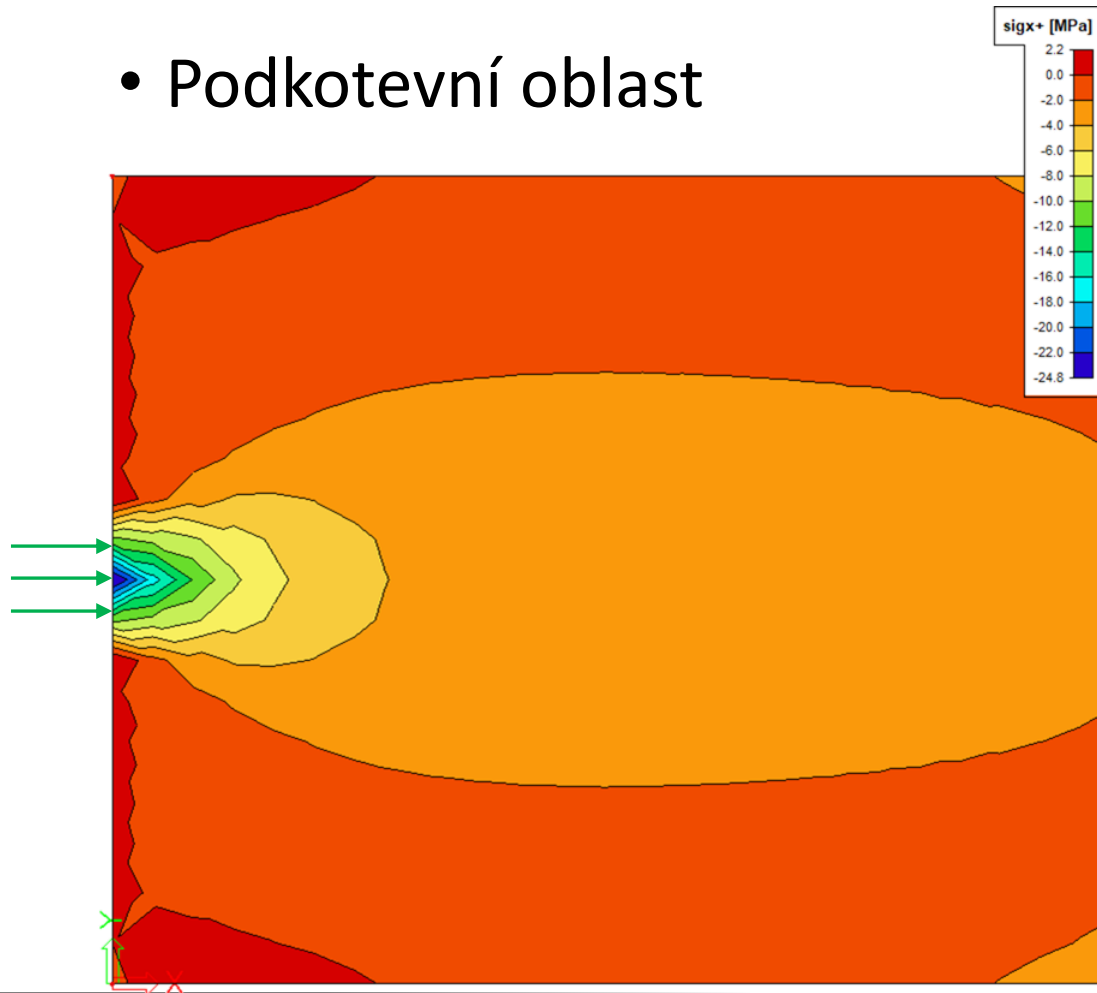
Návrh a posouzení předpětí

- Podkotevní oblast
 - Stěnový nosník



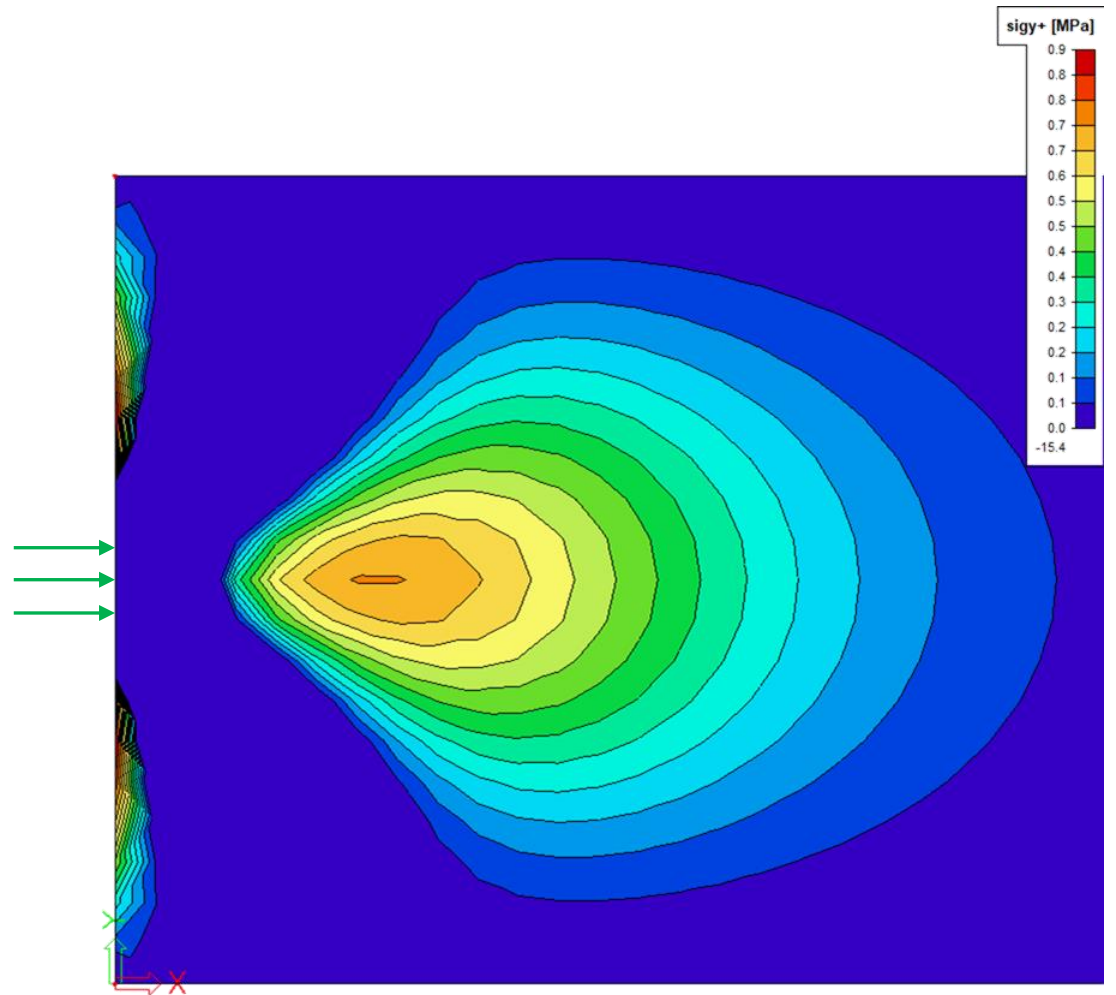
Návrh a posouzení předpětí

- Podkotevní oblast



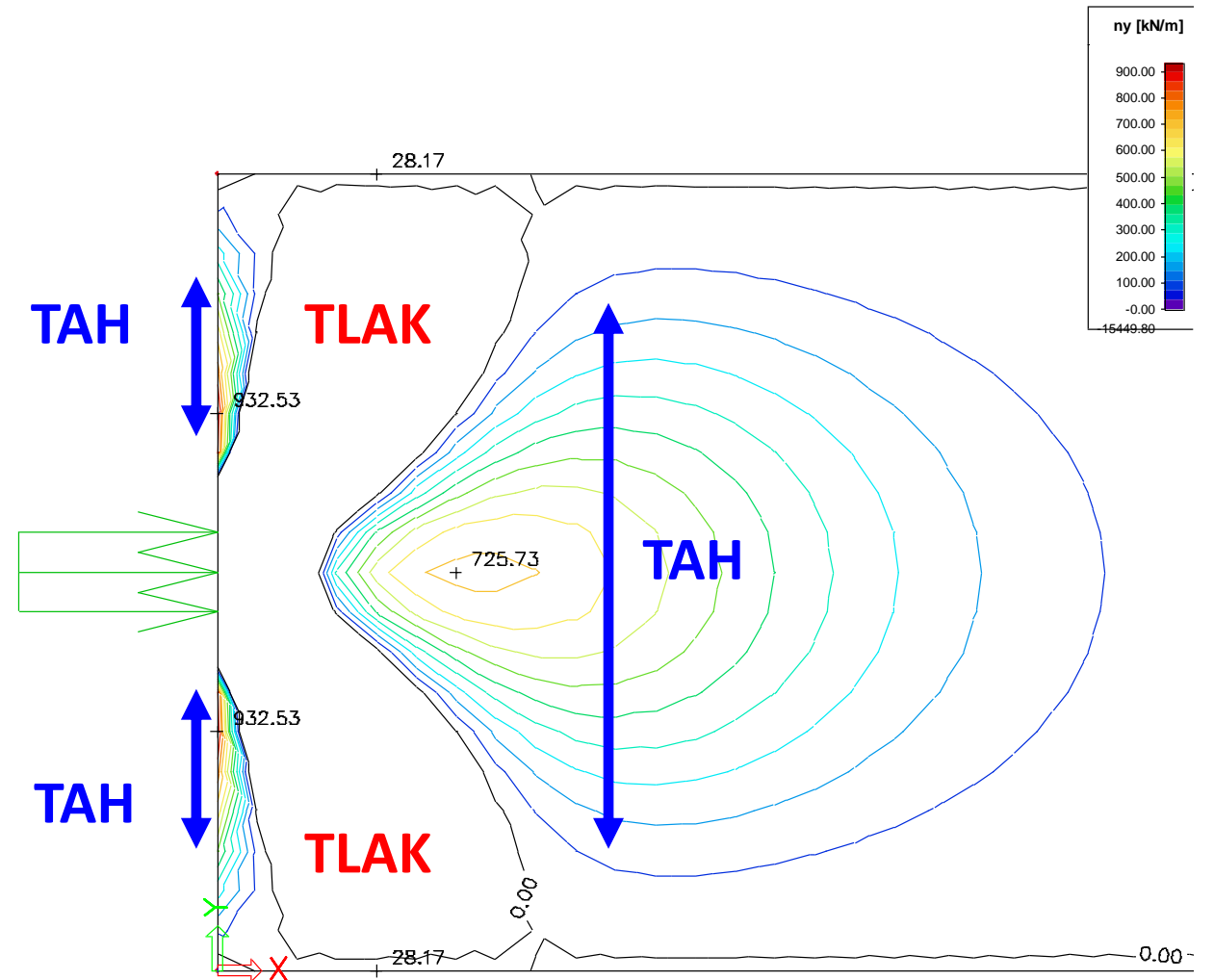
Návrh a posouzení předpětí

- Podkotevní oblast
- Příčné tahy



Návrh a posouzení předpětí

- Podkotevní oblast
- Příčné tahy

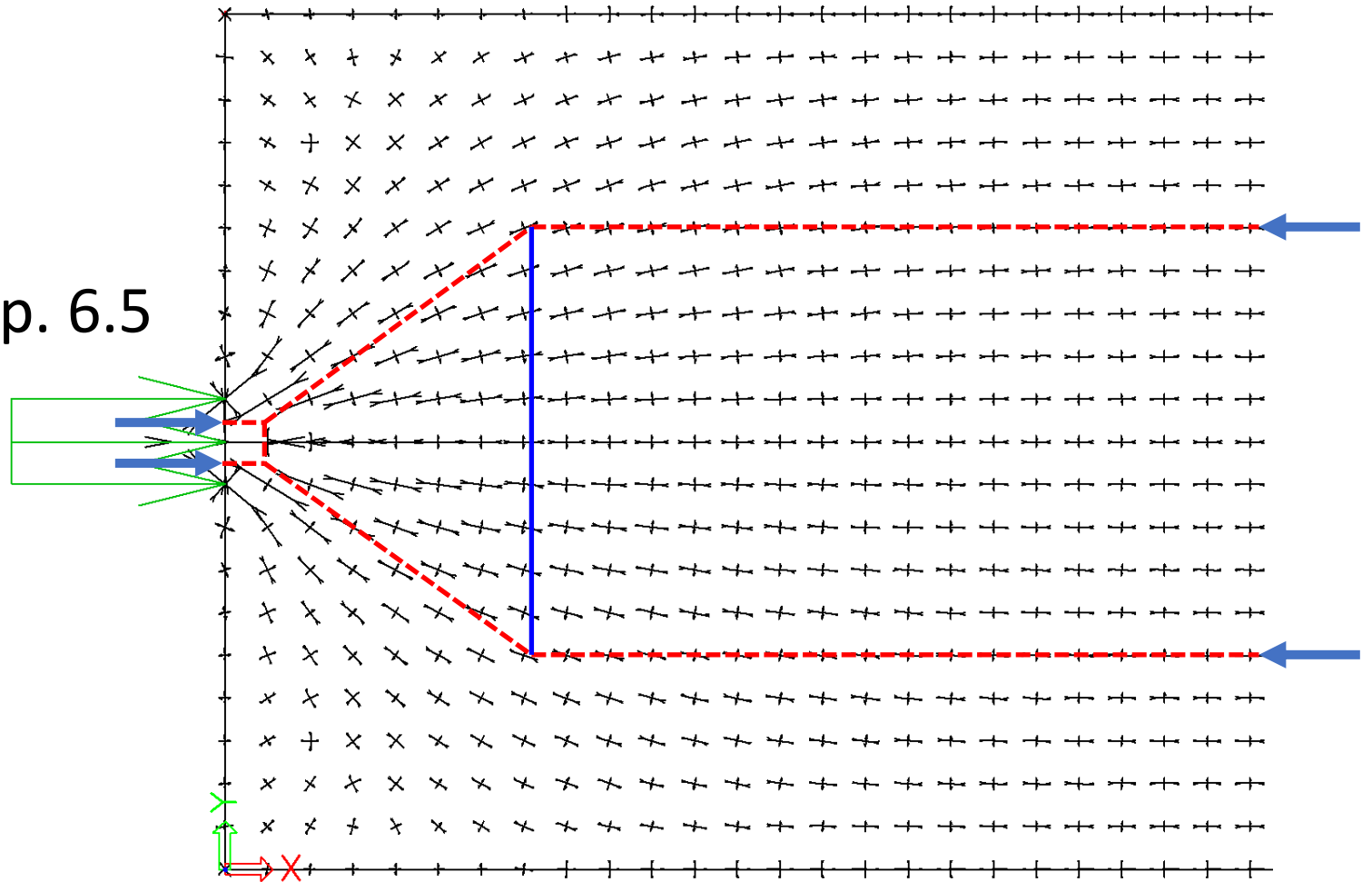


Návrh a posouzení předpětí

- Podkotevní oblast
- STM
 - **Základní předpoklady výpočtu pomocí příhradové analogie**
 - Zachování rovnováhy sil
 - Idealizace chování konstrukce – plastické chování
 - Síly v táhlech a vzpěrách jsou uvažovány jednoosé
 - Působení betonu v tahu se zanedbává
 - Vnější síly jsou vnášeny do výpočetního modelu pouze v uzlech (i vlastní tíha konstrukce je uvažována vnesením vnějšího zatížení v uzlech, popřípadě se vlastní tíha zanedbává)
 - Předpětí je uvažováno jako vnější zatížení

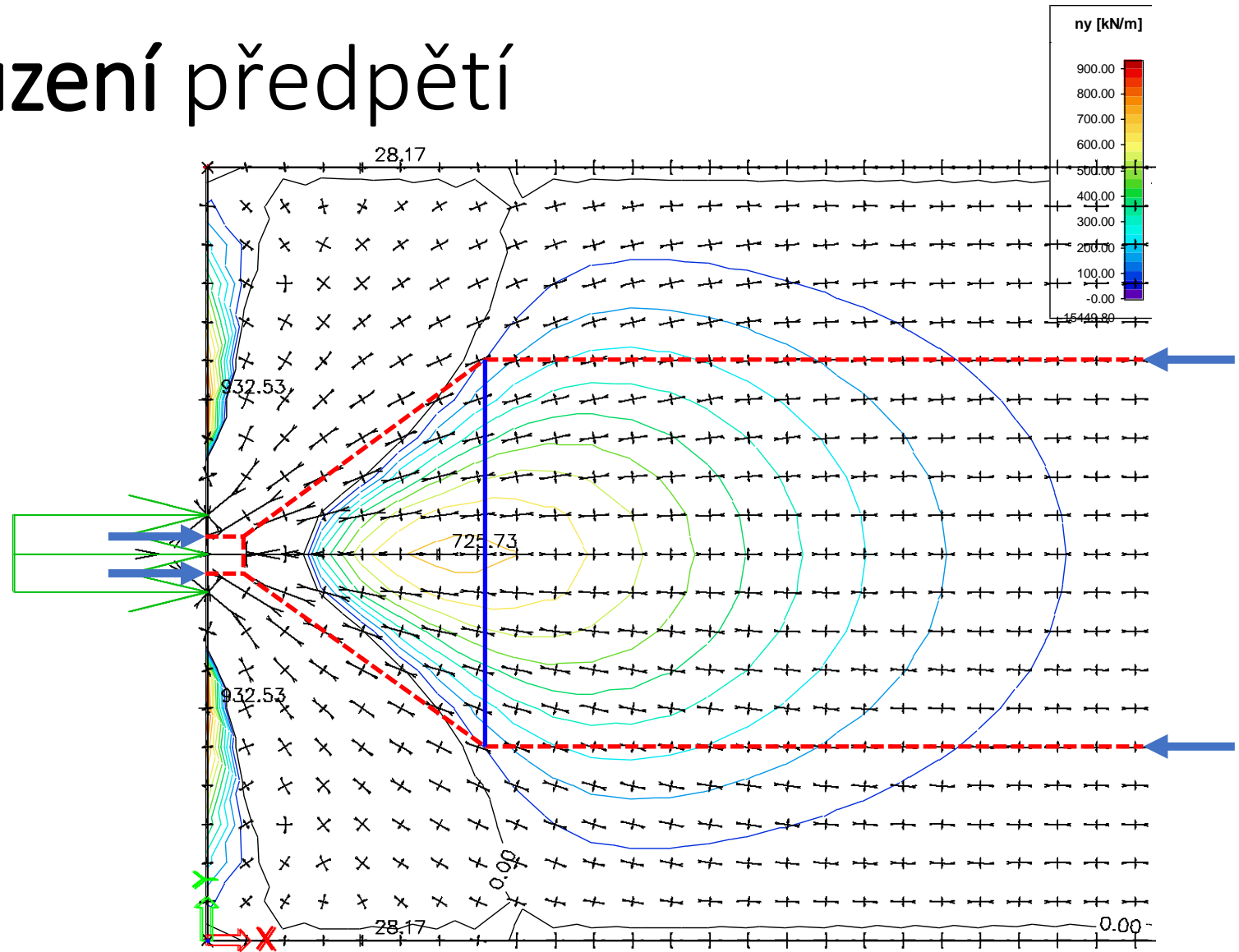
Návrh a posouzení předpětí

- Podkotevní oblast
- STM
- ČSN EN 1992-1-1; kap. 6.5



Návrh a posouzení předpětí

- Podkotevní oblast
- STM

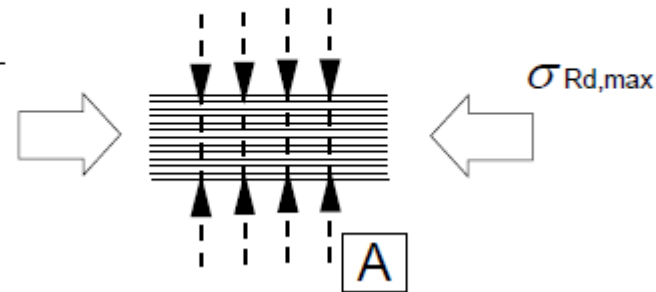


Návrh a posouzení předpětí

- STM

- tlačené pruty
- **PŘÍČNÝ TLAK**

$$\sigma_{Rd,max} = f_{cd}$$

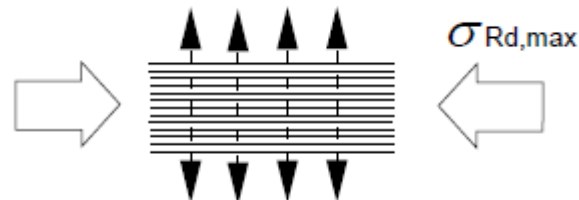


A – příčné tlakové napětí nebo bez příčného napětí

- **PŘÍČNÝ TAH**

$$\sigma_{Rd,max} = 0,6 v' f_{cd}$$

$$v' = 1 - f_{ck} / 250 \quad (f_{ck} \text{ v MPa})$$



Návrh a posouzení předpětí

- STM

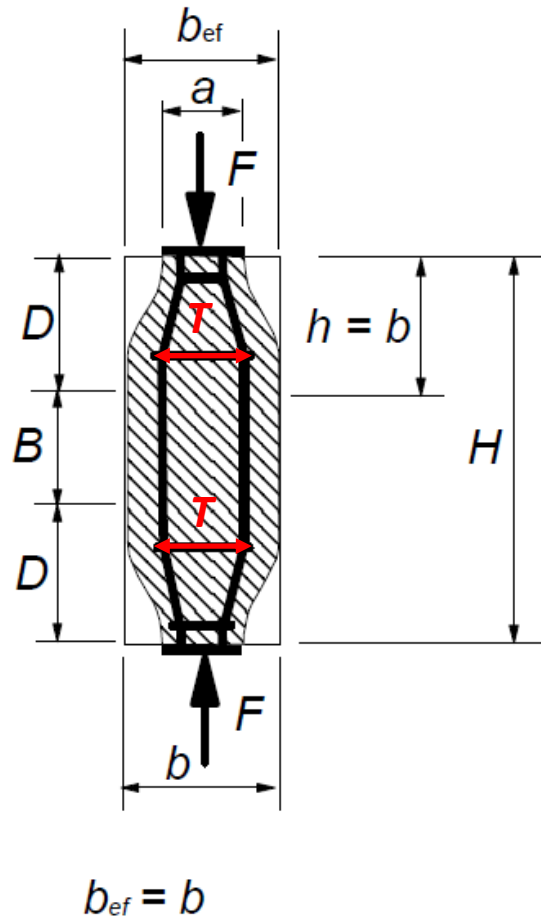
- táhla

D – oblast nespojitosti

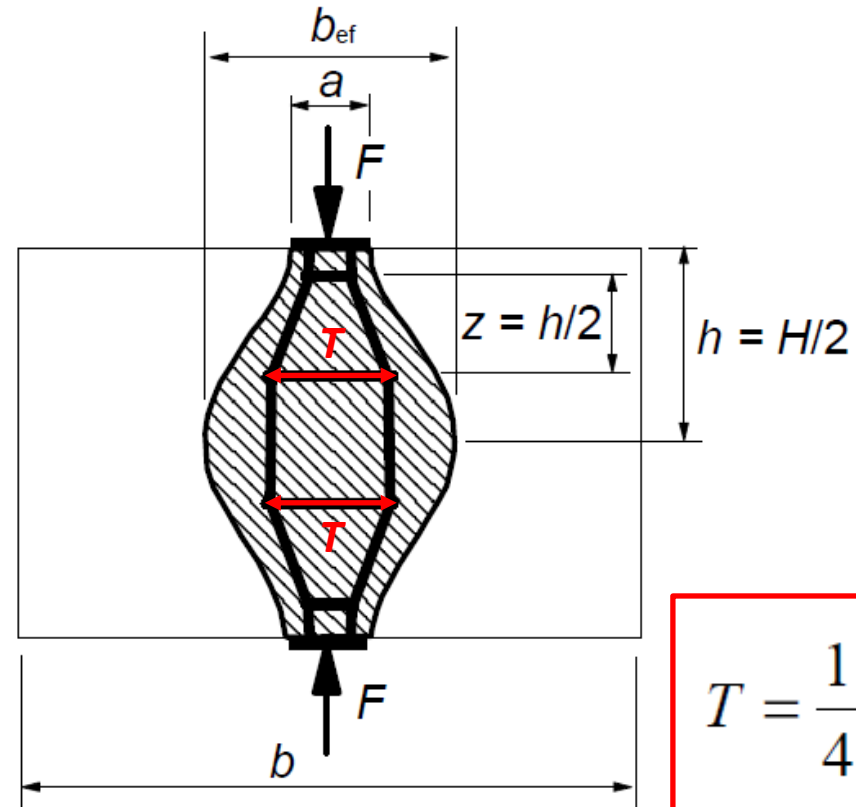
B – oblast spojitosti

D – oblast nespojitosti

$$T = \frac{1}{4} \frac{b-a}{b} F$$



částečná nespojitost

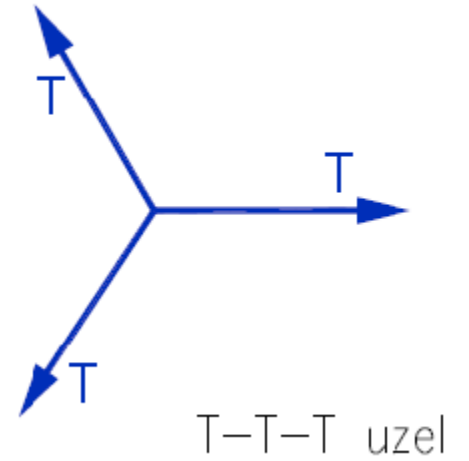
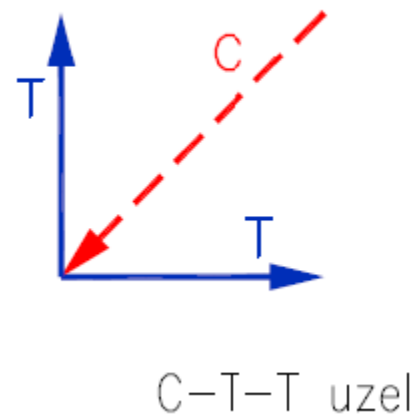
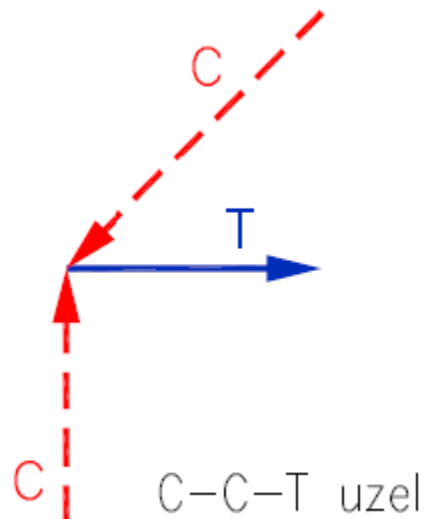
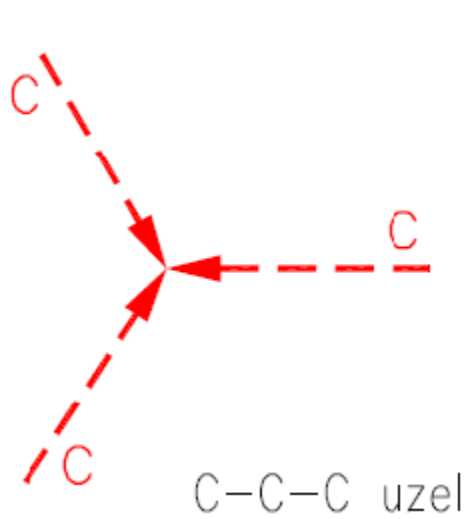


úplná nespojitost

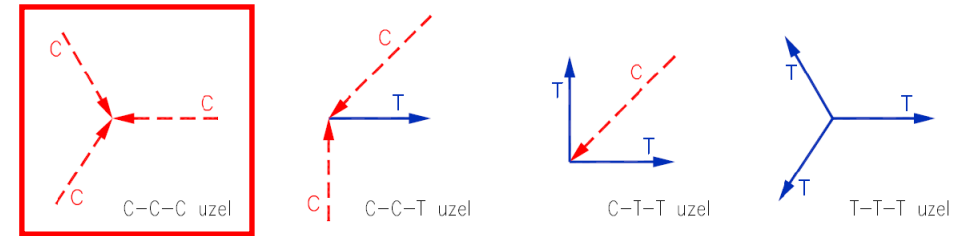
$$T = \frac{1}{4} \left(1 - 0,7 \frac{a}{h} \right) F$$

Návrh a posouzení předpětí

- STM
 - styčníky



Návrh a posouzení předpětí



- STM

- C-C-C

$$\sigma_{Rd,max} = k_1 \nu \cdot f_{cd}$$

$$\nu = 1 - f_{ck} / 250$$

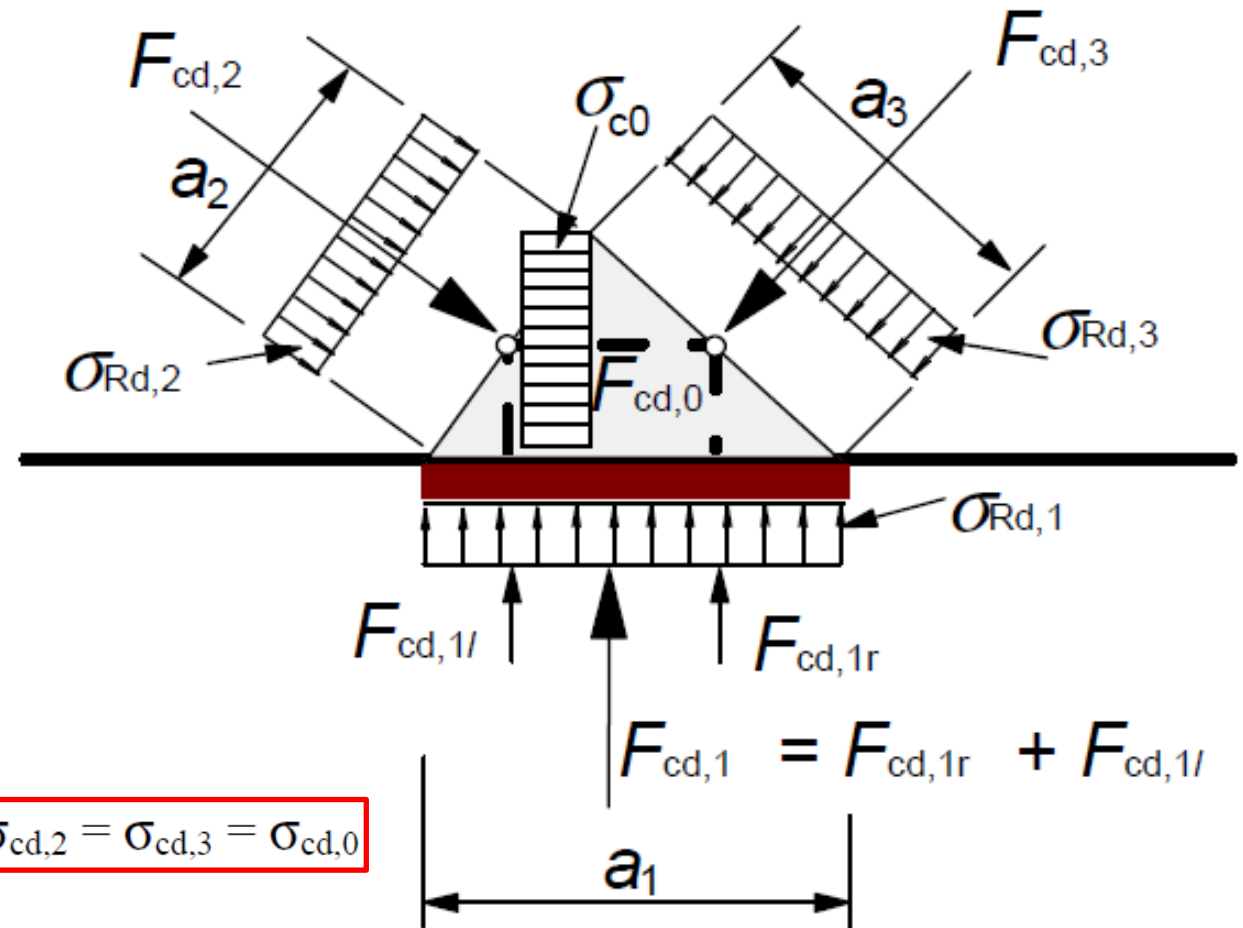
$$k_1 = 1,0$$

$$\sigma_{Rd,max} = k_4 \nu' f_{cd}$$

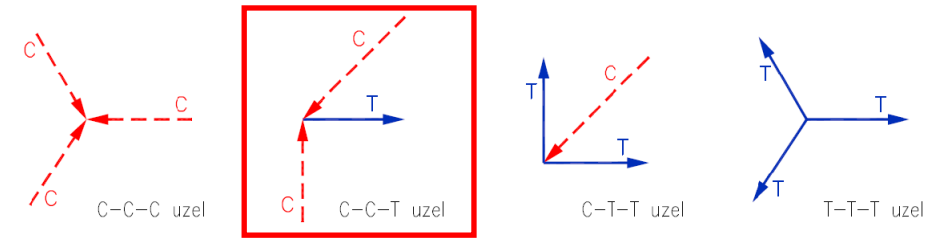
$$\nu = 1 - f_{ck} / 250$$

$$k_4 = 3,0$$

$$F_{cd,1}/a_1 = F_{cd,2}/a_2 = F_{cd,3}/a_3, \text{ což znamená, že } \sigma_{cd,1} = \sigma_{cd,2} = \sigma_{cd,3} = \sigma_{cd,0}$$



Návrh a posouzení předpětí



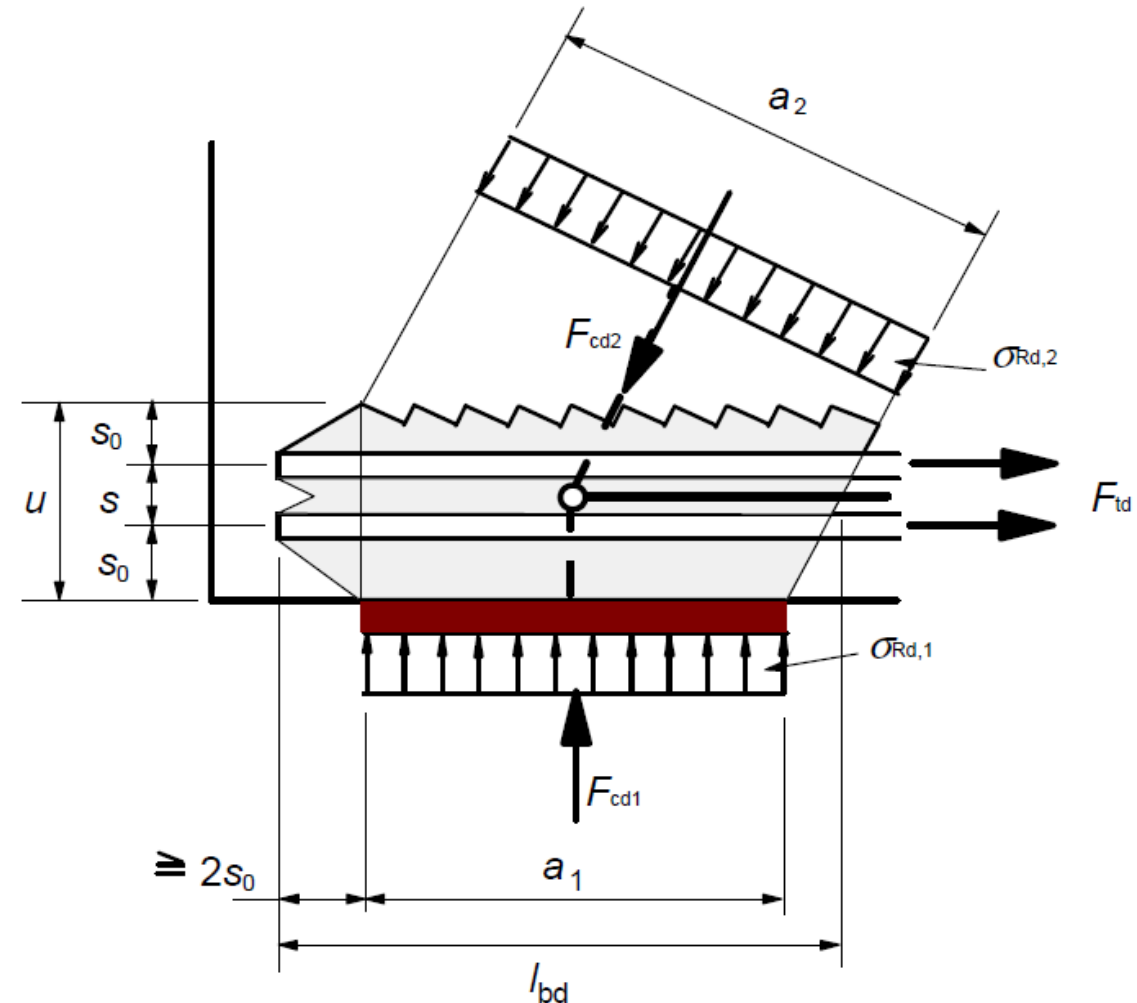
- STM
 - C-C-T

$$\sigma_{Rd,max} = k_2 \nu \cdot f_{cd}$$

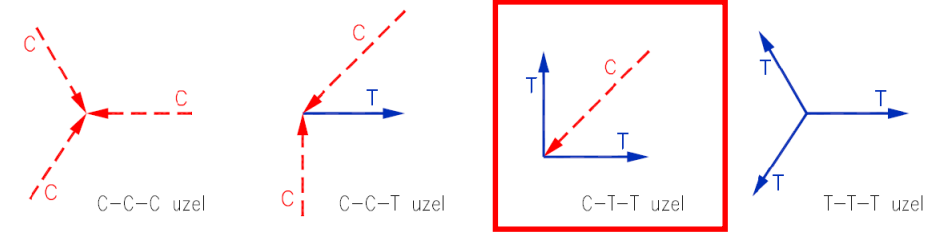
$$\nu = 1 - f_{ck} / 250$$

$$k_2 = 0,85$$

kde $\sigma_{Rd,max}$ je maximální hodnota z $\sigma_{Rd,1}$ a $\sigma_{Rd,2}$.



Návrh a posouzení předpětí

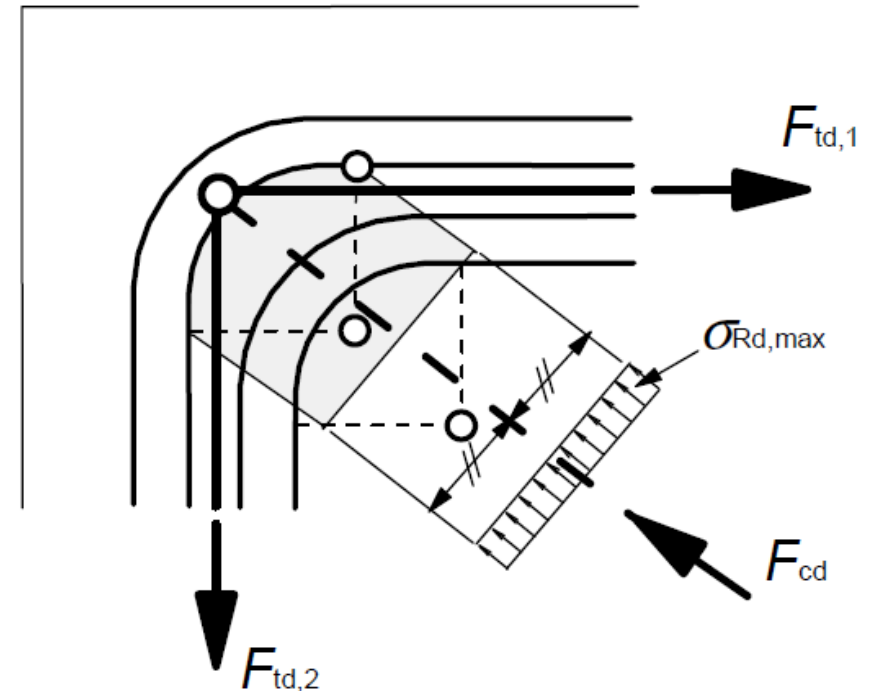


- STM
 - C-T-T

$$\sigma_{Rd,max} = k_3 v \cdot f_{cd}$$

$$v = 1 - f_{ck} / 250$$

$$k_3 = 0,75$$



Návrh a posouzení předpětí

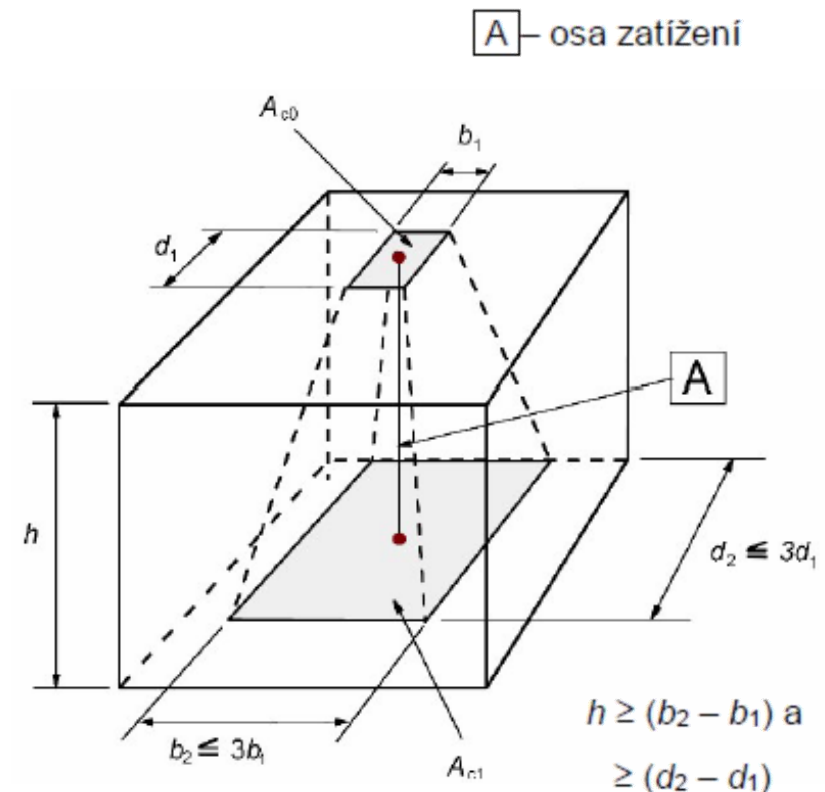
- STM
 - posouzení místně zatížené plochy

$$F_{Rdu} = A_{c0} \cdot f_{cd} \cdot \sqrt{A_{c1} / A_{c0}} \leq 3,0 \cdot f_{cd} \cdot A_{c0}$$

kde je

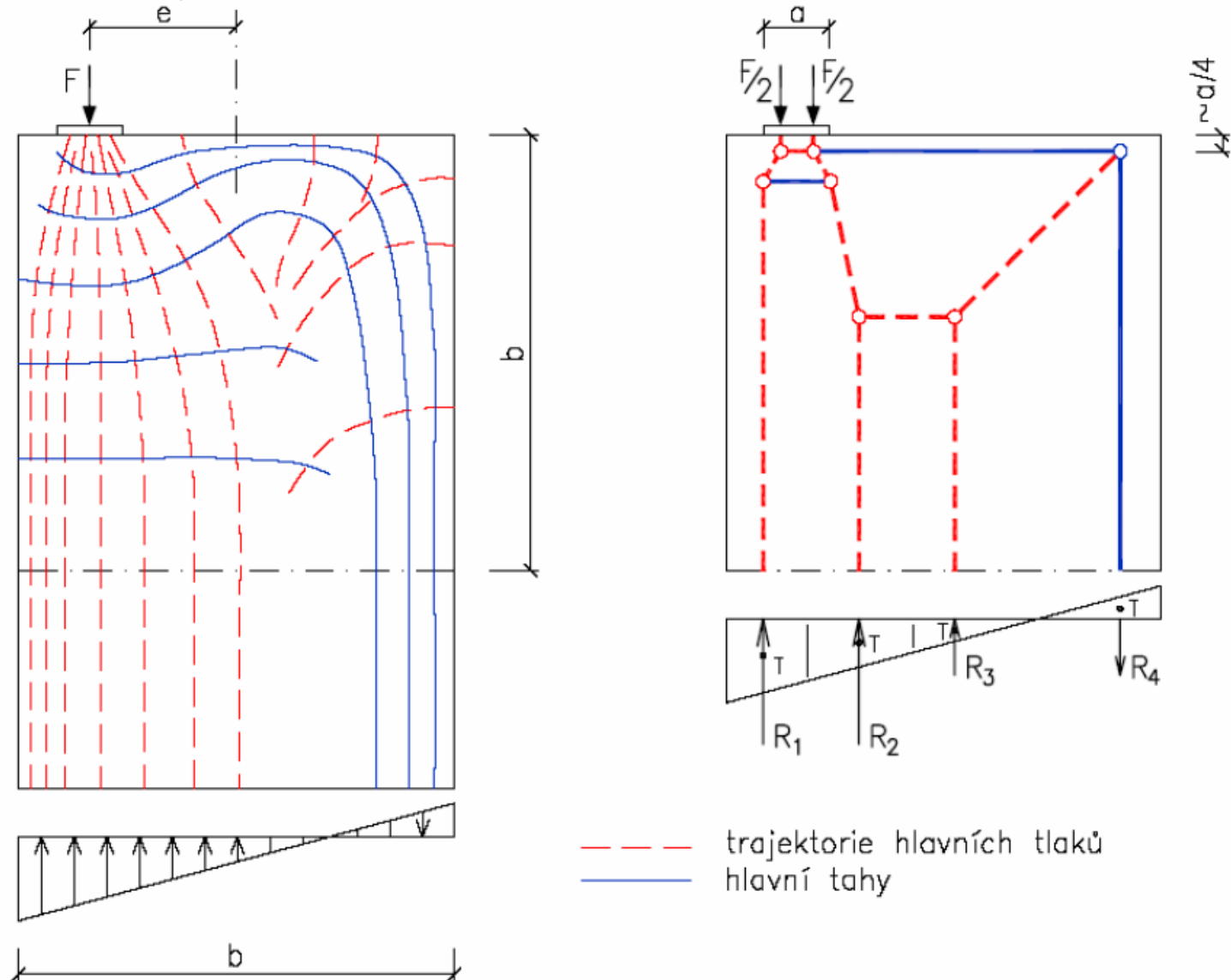
A_{c0} zatížená plocha;

A_{c1} největší návrhová roznášecí plocha podobného tvaru jako A_{c0} .



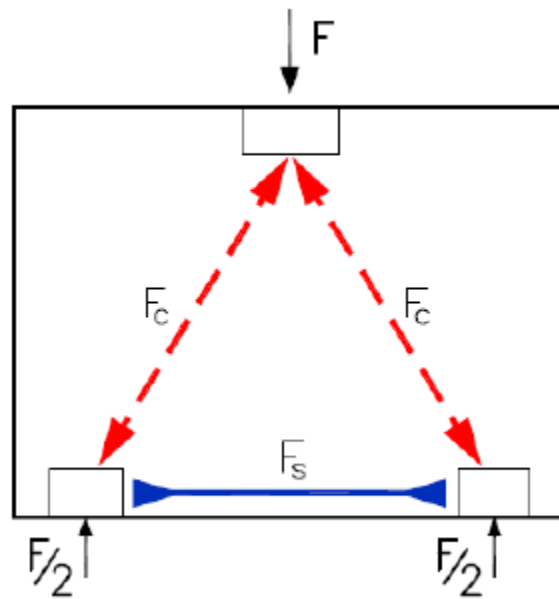
Návrh a posouzení předpětí

- STM
 - další příklady

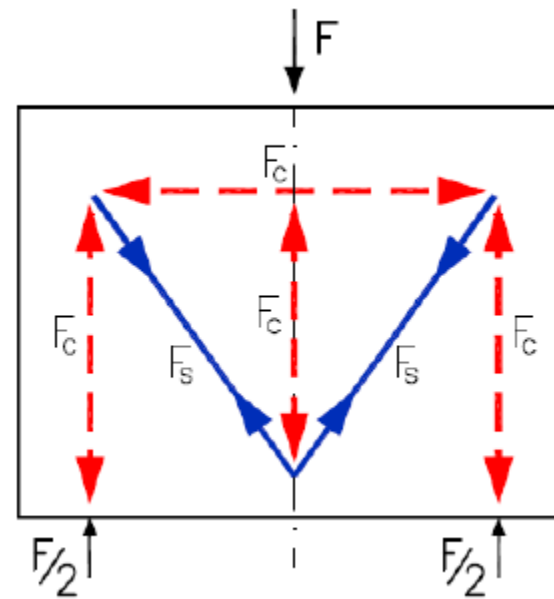


Návrh a posouzení předpětí

- STM



vhodný model

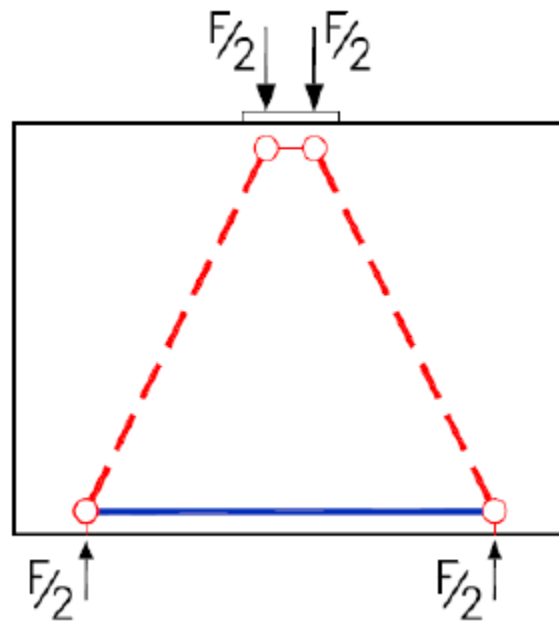


nevhodný model

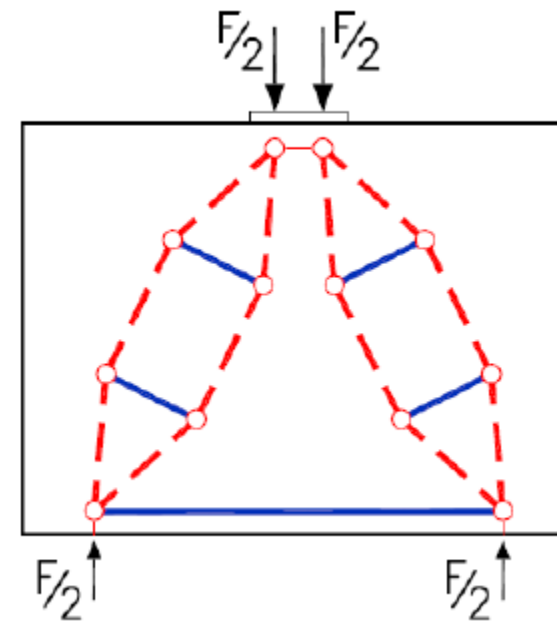


Návrh a posouzení předpětí

- STM



vhodný model



zpřesněný model

