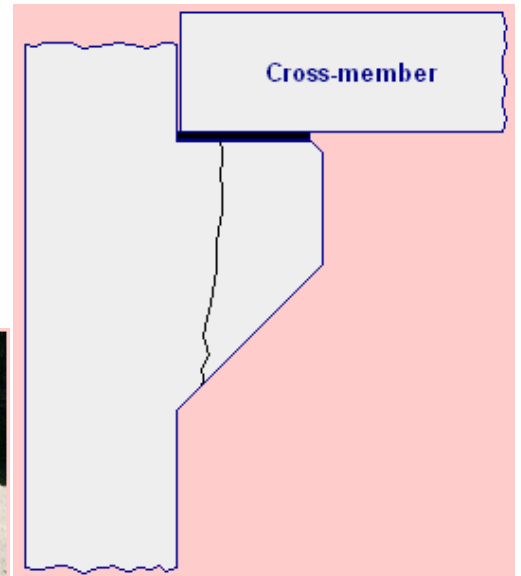
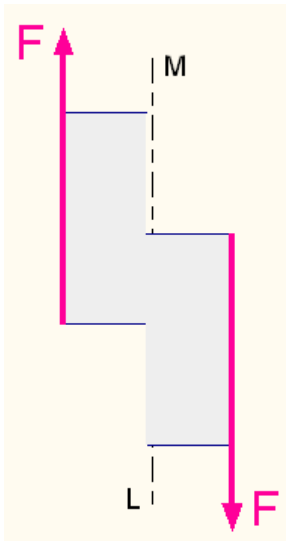


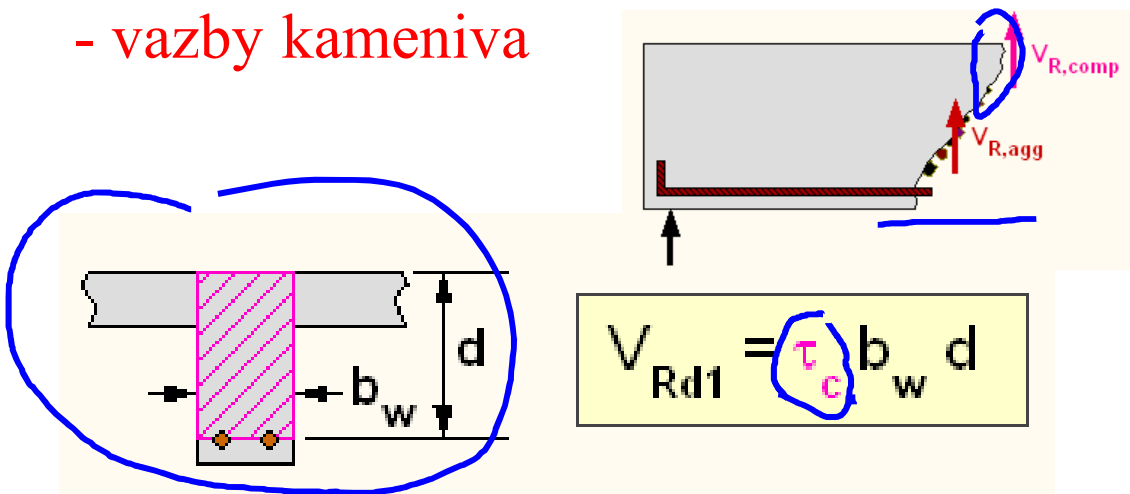
Co je smyk



Průřez bez smykové výztuže

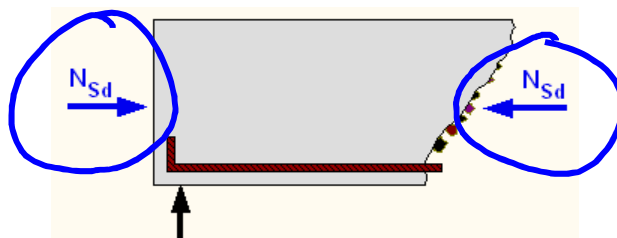
Tři základní faktory ovlivňující smykovou odolnost:

- plocha tlačného betonu
- hmoždinkový vliv podélné výztuže
- vazby kameniva



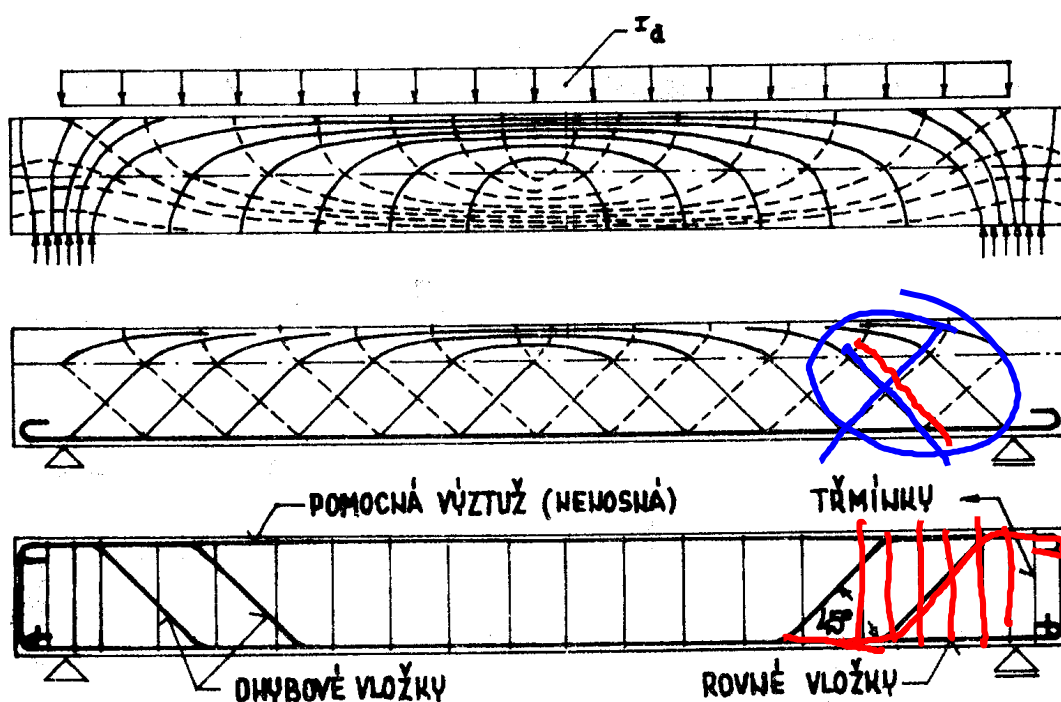
τ_c - smyková odolnost (napětí) nevyztuženého průřezu

Vliv tlakové síly

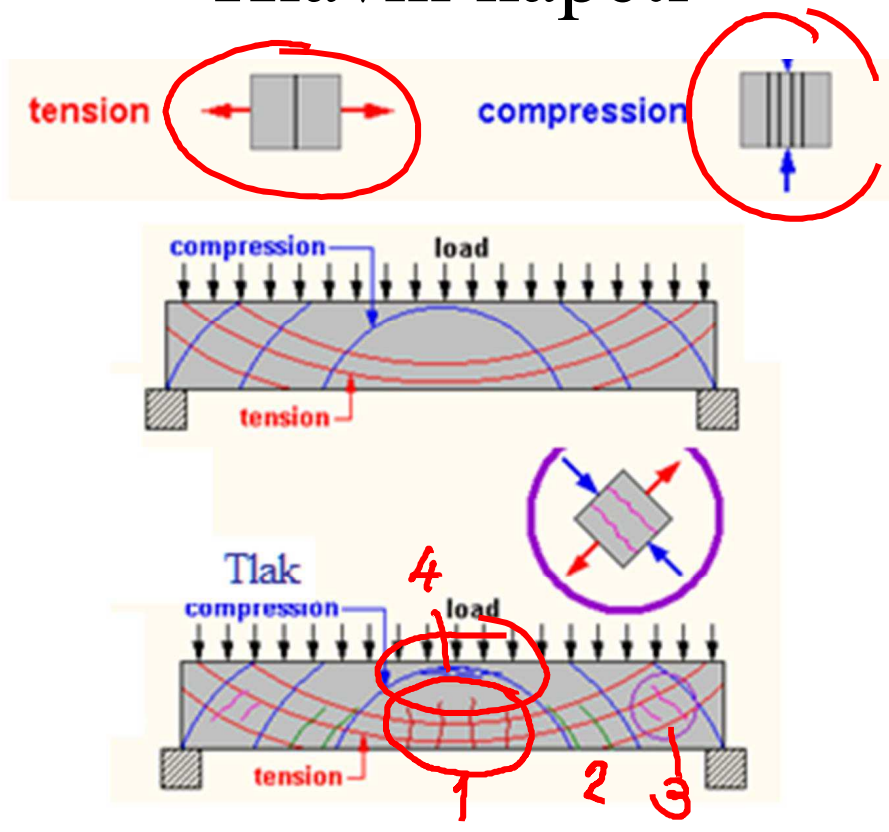


S rostoucí silou N_{sd} se smyková odolnost nejdříve zvětšuje, od určité hodnoty se snižuje

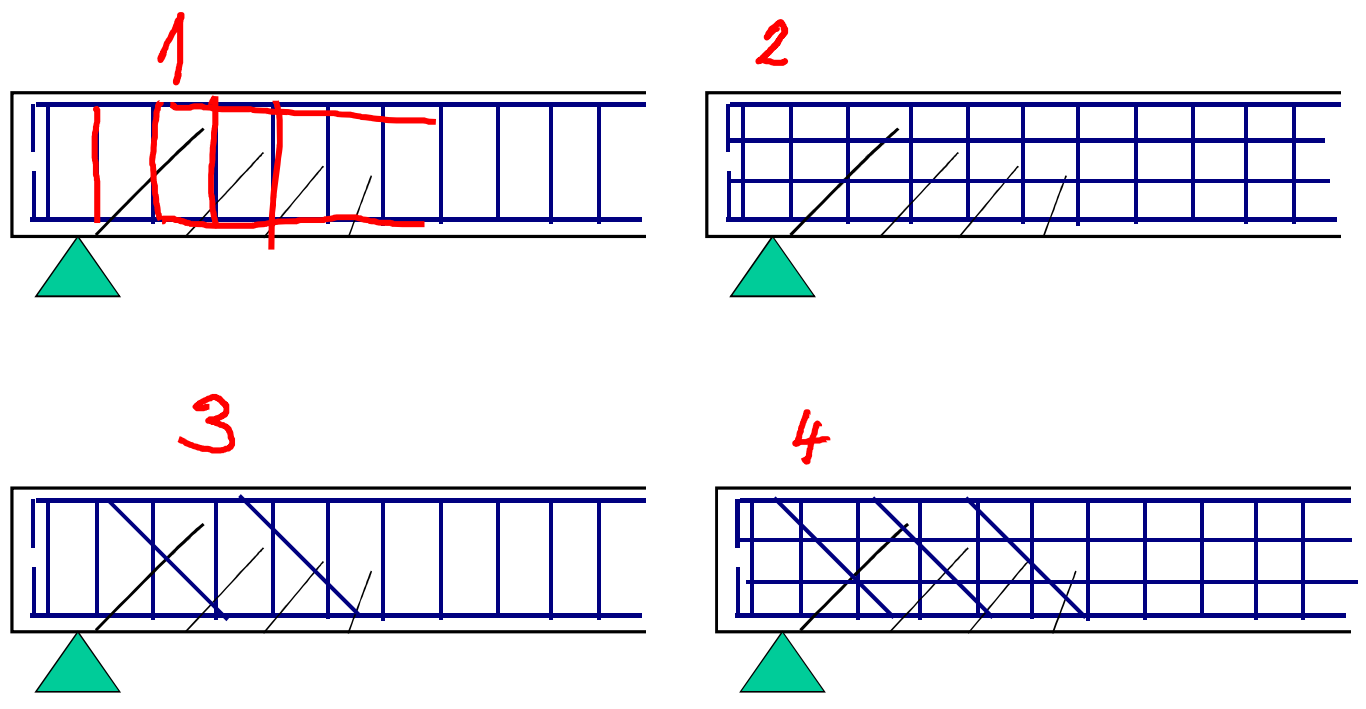
Železobetonový nosník při ohybu



Hlavní napětí



Vyztužení nosníku smykovou výztuží



Smyková odolnost průřezu

$$\tau_c = \tau_R \times k \times (1.2 + 40\rho_l) + |0.15| \sigma_{cp}$$

$$V_{Rd1} = \tau_c b_w d$$

Návrhová hodnota smykové pevnosti

$$\tau_R = 0.25 f_{ctk 0.05} / \gamma_c$$

Values of τ_{Rd} N/mm² (with $\gamma_c = 1.5$)

f_{ck}	12	15	20	25	30	35	>40
$f_{ctk 0.05}$	1.1	1.3	1.5	1.8	2.0	2.2	2.5
τ_{Rd}	0.18	0.22	0.26	0.30	0.34	0.37	0.41

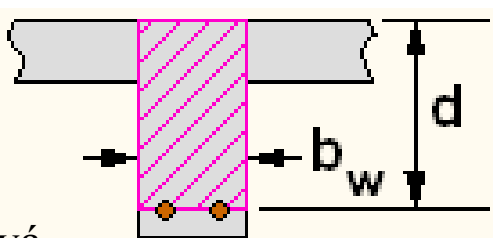
Koeficient vlivu rozměru $k = (1.6 - d) \leq 1$ U nosníků $k \sim 1$

Stupeň vyztužení $\rho_l = A_{sl} / b_w d \geq 0.02$

Tlakové napětí $\sigma_{cp} = N / A_c$

Příklad

Beton C20, $f_{ck} = 20$ MPa, $f_{ctk 0,05} = 1,5$ MPa, $\tau_{Rd} = 0,26$ MPa



$$V_{cd} = \tau_c b_w d$$

Návrhová pevnost průřezu pro $\rho = 0,01$

$$\tau_c = \tau_{Rd} k (1.2 + 40 \rho_l) + |0.15| \sigma_{cp}$$

$$\tau_c = 0,26 \times 1 \times (1,2 + 40 \times 0,01) + 0 = 0,42 \text{ MPa}$$

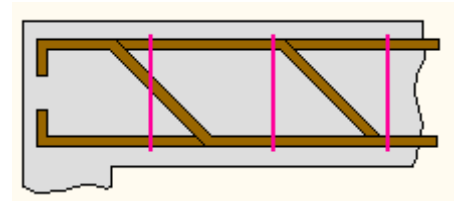
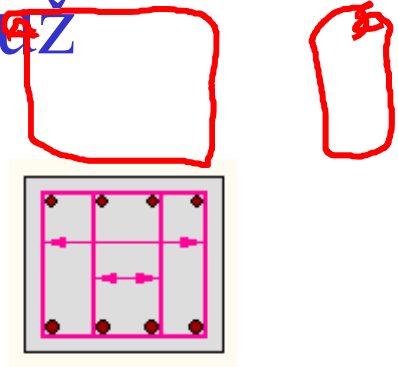
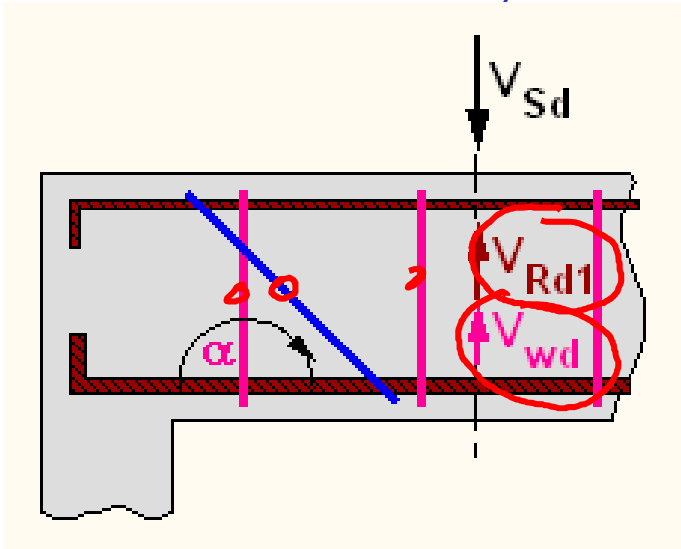
Nosník $b_w = 0,30$ m, $d = 0,40$ m, ($k = 1,6 - 0,4 = 1,2$, $\tau_c = 1,2 \times 0,42 = 0,50$ MPa)

$$V_{cd} = 0,42 \times 0,30 \times 0,40 = 0,05 \text{ MPa} = 50 \text{ kPa} \text{ (60 kPa)}$$

Deska $b_w = 1,00$ m, $d = 0,17$ m, ($k = 1,6 - 0,17 = 1,43$, $\tau_c = 1,43 \times 0,42 = 0,60$ MPa)

$$V_{cd} = 0,42 \times 1,00 \times 0,17 = 0,071 \text{ MPa} = 71 \text{ kPa} \text{ (101 kPa)}$$

Smyková výztuž

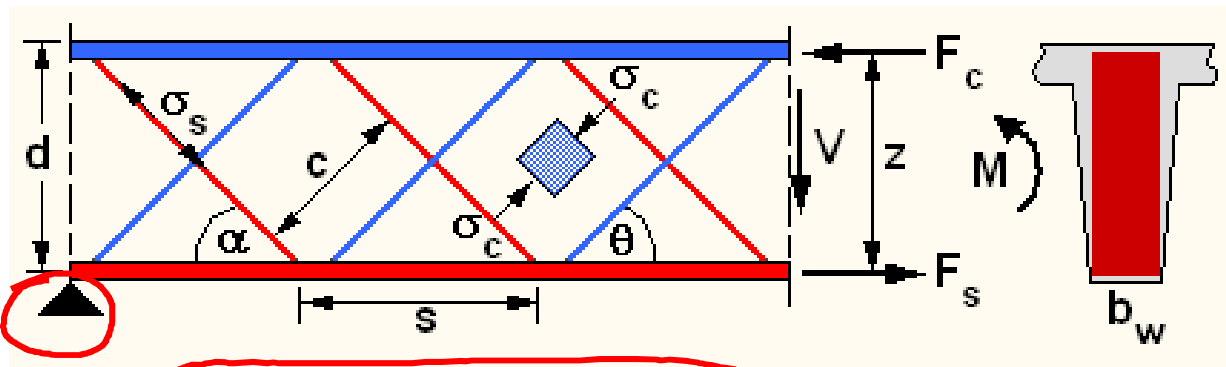


Obecná podmínka smykové odolnosti

$$V_{Rd1} + V_{wd} \geq V_{Sd}$$

Příhradová analogie - V_{wd}

Tlačené prvky - beton

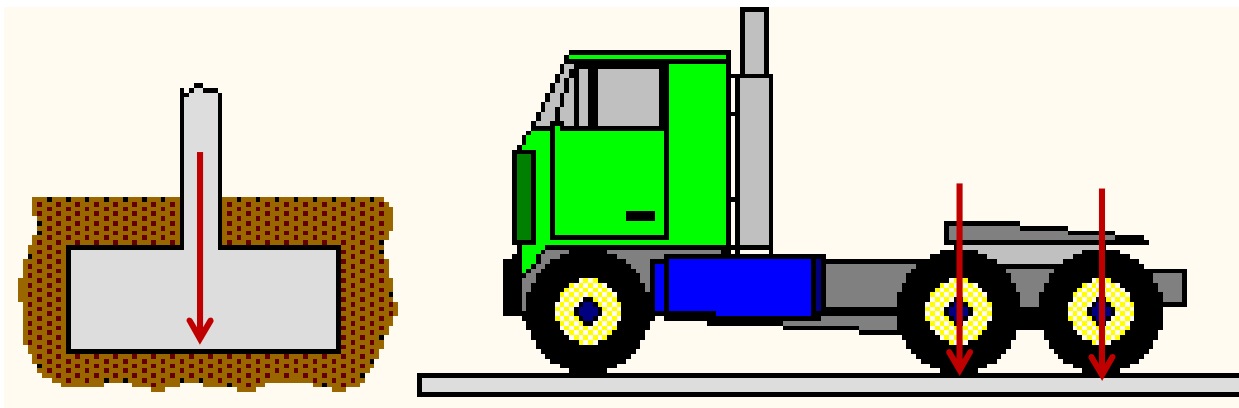
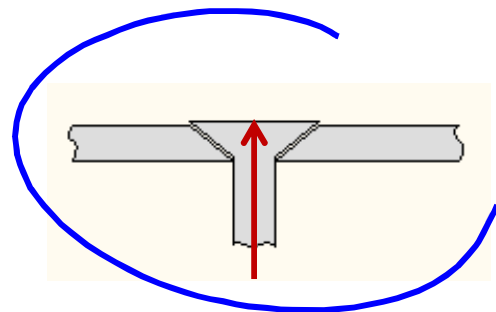
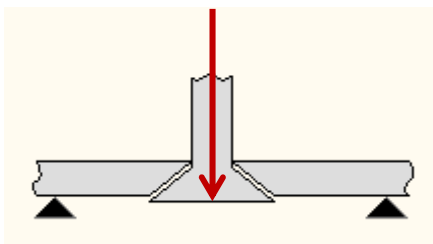


Tažené prvky - výztuž

Podmínky návrhu

- Napětí v betonu σ_c nepřesáhne návrhovou hodnotu
- Jestliže návrhová smyková síla V_{sd} přesáhal V_{Rd1} musí se navrhnout smyková výztuž A_{wd}
- Tažená výztuž je schopna přenášet přírůstek vlivem smyku

Smyková únosnost na protlačení



Pipers Row Car Park, Wolverhampton, 1997

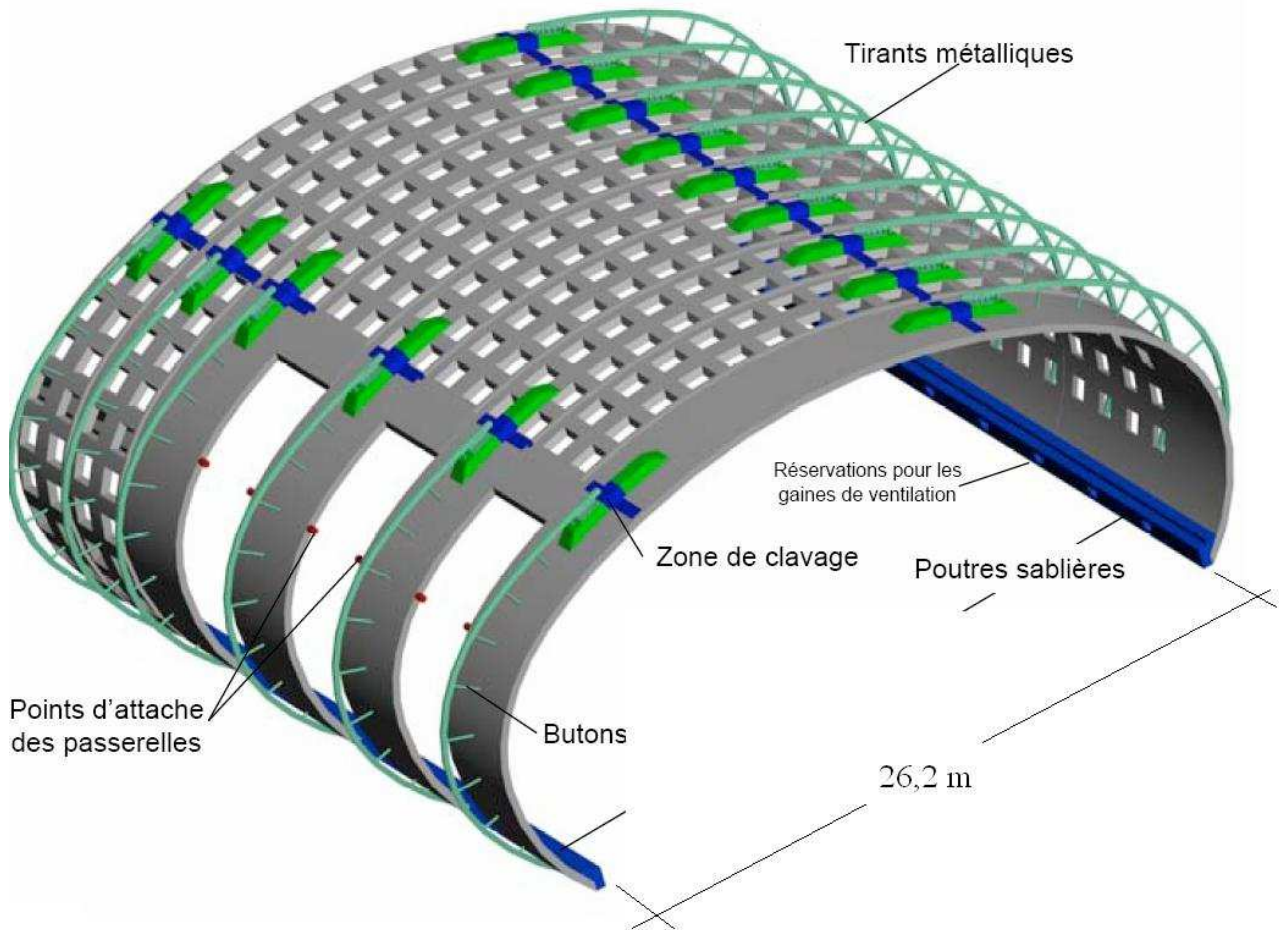


Internal view



Les coques sont rectilignes avec une légère
brisure d'alignement entre elles,
Elles sont constituées d'arcs de 4 m de large
et pour chacune de deux arcs pleins
encadrant 15 arcs ajourés.

Structural system



CHDG Airport - cracks of the outer surface of the shell



Rupture of concrete shell

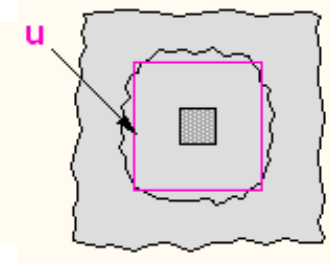
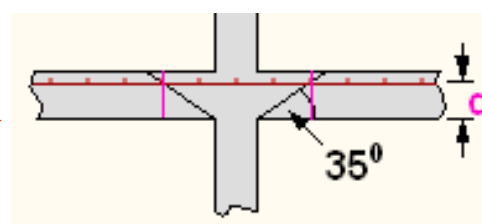
Détail de la surface de rupture



Smyk protlačením



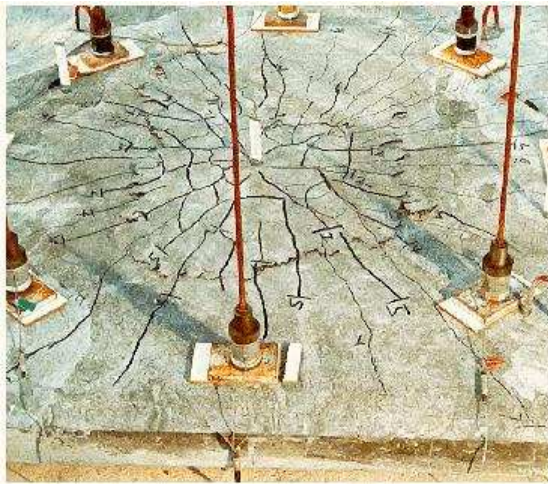
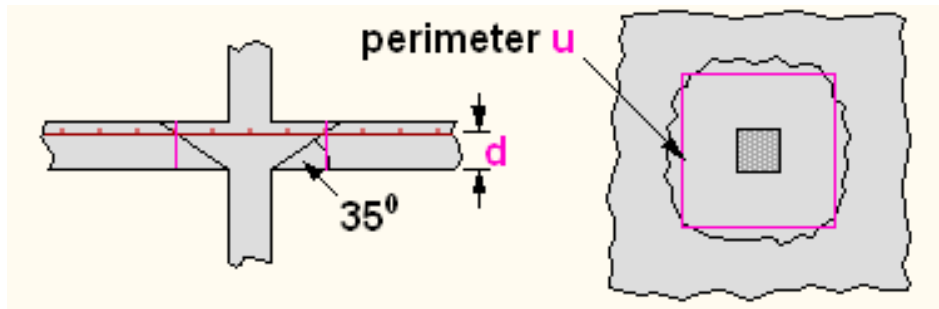
Smyková odolnost
nevyztužené desky



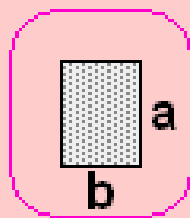
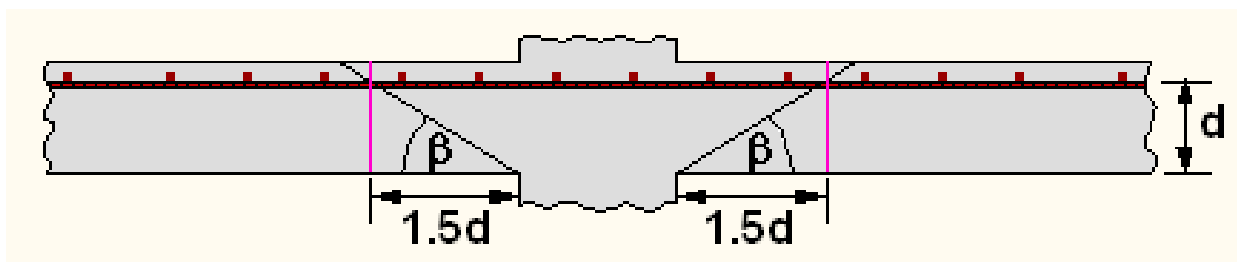
$$V_{Rd1} = \tau_c u d$$

τ_c je smyková pevnost desky [MPa]

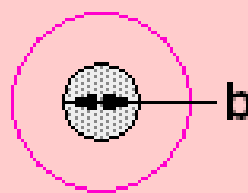
Bezhlavicové desky



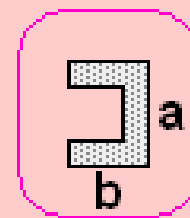
Kritický obvod



$$u = 2a + 2b + 3\pi d$$

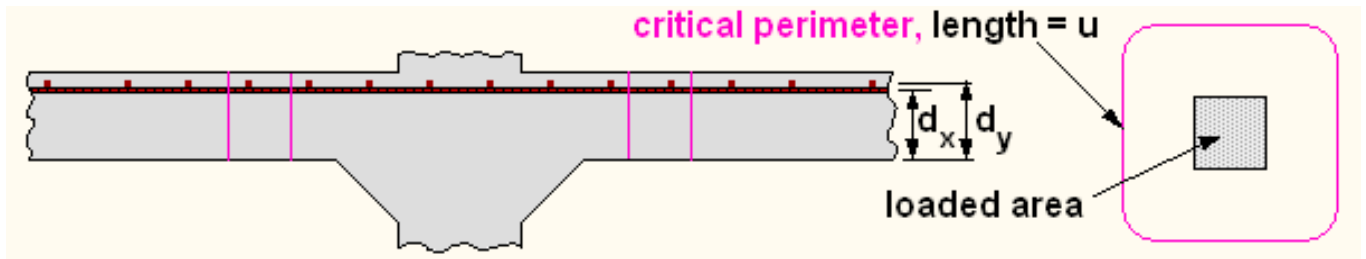


$$u = \pi(b + 3d)$$

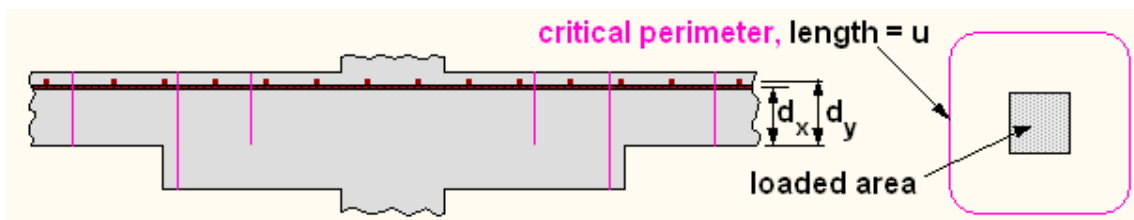


$$u = 2a + 2b + 3\pi d$$

Hlavicové sloupy



Hlavicové sloupy



Deska bez smykové výztuže

Smyková pevnost desky závislá na stupni ρ_l

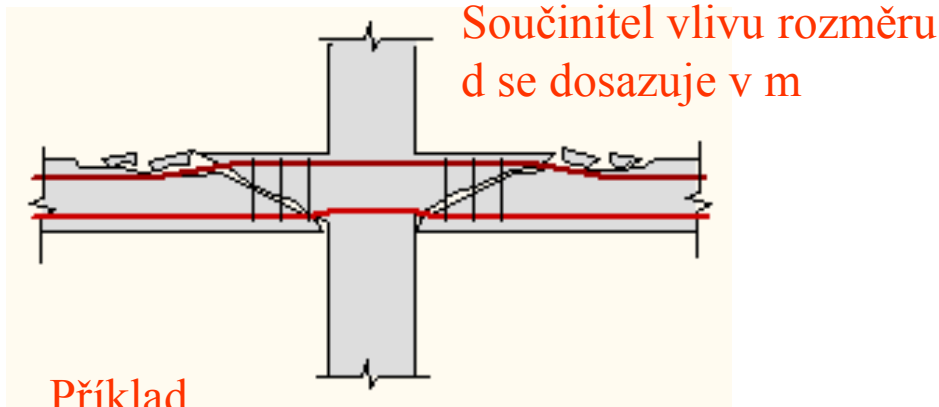
Návrhová smyková pevnost

$$\tau_c = \tau_R k (1.2 + 40\rho_l)$$

$$\tau_R = 0.25 f_{ctk 0.05} / \gamma_c$$

$$k = (1.6 - d) \leq 1$$

$$\rho_l = (\rho_{lx} \rho_{ly})^{0.5} \geq 0.015$$
$$\rho_{lx} = A_{slx} / d_x$$
$$\rho_{ly} = A_{sly} / d_y$$



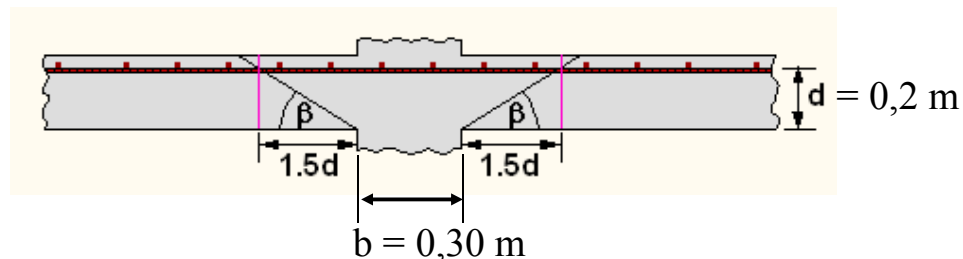
Pro $d = 0,2$ je $k=1,4$, pro $\rho_l \approx 0,01$ vychází $\tau_c = \tau_R \times 1,4 \times 1,6 = 2,24 \tau_R$

Pro beton C40/50 $\tau_R = 0,25 \times 2,5 / 1,5 = 0,41$ MPa, $\tau_c = 2,24 \times 0,41 = 0,92$ MPa

Příklad

$$V_{Rd1} = \tau_c u d$$

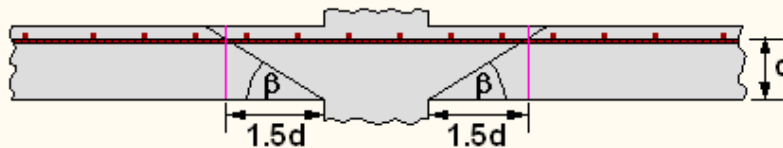
Pro beton C40/50: $f_{ctk} = 2,5$ MPa, $\tau_c \approx 0,92$ MPa – předchozí výpočet



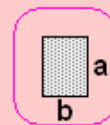
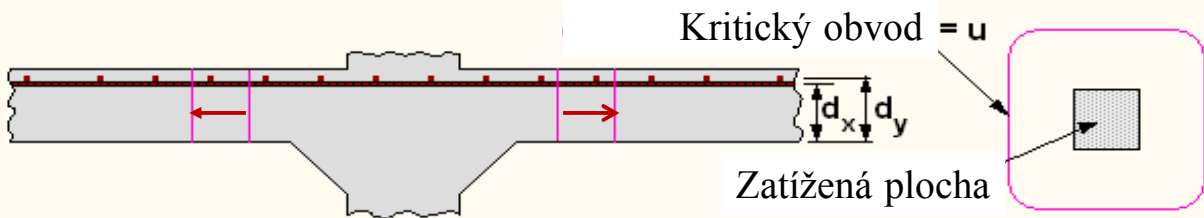
Kruhový sloup $u = \pi(b+3d) = 2,8$ m

$$V_{rd1} = 0,92 \times 2,8 \times 0,2 = 0,52$$
 MN

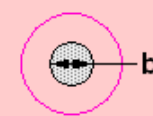
Možnosti zvýšení smykové odolnosti



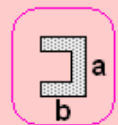
Úhel kuželu porušení $\beta \approx 35^\circ$



$$u = 2a + 2b + 3\pi d$$



$$u = \pi(b + 3d)$$



$$u = 2a + 2b + 3\pi d$$

Možnosti zvýšení odolnosti:

- zvětšit u (hlavice)
- zvětšit d (tloušťka desky)
- zvětšit f_{ctk} (třída betonu)

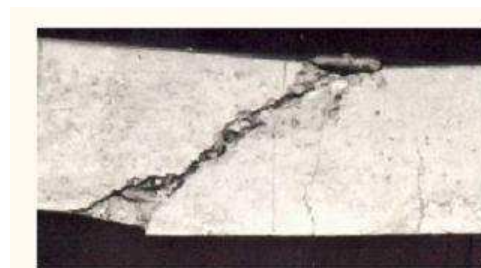
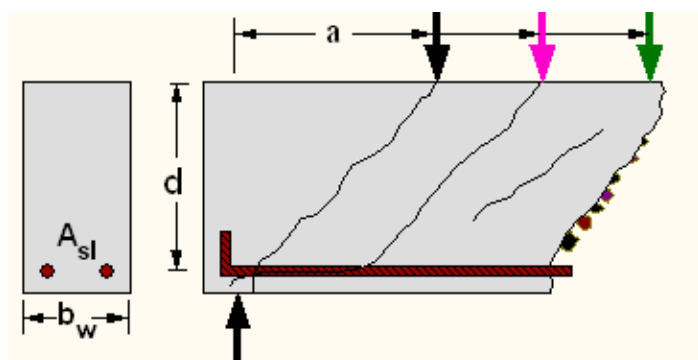
Otázky ke zkoušce

1. Co je smyk ?
2. Na čem závisí smyková odolnost nevyztuženého průřezu.
3. Příhradová analogie.
4. Obecná podmínka smykové odolnosti.
5. Podmínky návrhu na smyk.
6. Smyková únosnost na protlačení.
7. Co je kritický obvod.
8. Účel sloupových hlavice.

Základní vztahy pro odolnost

Nmáhání	Návrhová odolnost	Poznámky
Ohyb jednostranné vyztuženého nosníku	$M_{Rd} = A_s f_{yd} \left(d - \frac{A_s f_{yd}}{2 b f_{cd}} \right)$	d účinná výška
Obyb nosníku, aproximace	$M_{Rd} \cong z A_s f_{yd}$	$z \cong 0,9 d$ rameno vnitřních sil
Centricky zatížený krátký sloup	$N_{Rd} = 0,8 A_c f_{cd} + A_s f_{yd}$	0,8 redukce pevnosti betonu
Smyk nosníku bez smykové výztuže	$V_{Rd} = \tau_c b d$	$\tau_c \cong \tau_{Rd} k (1 + 40 \rho)$ $k \cong 1,6 - d$
Protlačení desky bez smykové výztuže	$V_{Rd} = \tau_c u d$	u délka kritického obvodu
Sloup z prostého betonu	$N_{Rd} = b h_w f_{cd} \Phi$	$\Phi = 1,14 (1 - 2 e_{tot}/h_w) - 0,02 l_0/h_w \leq (1 - 2 e_{tot}/h_w)$

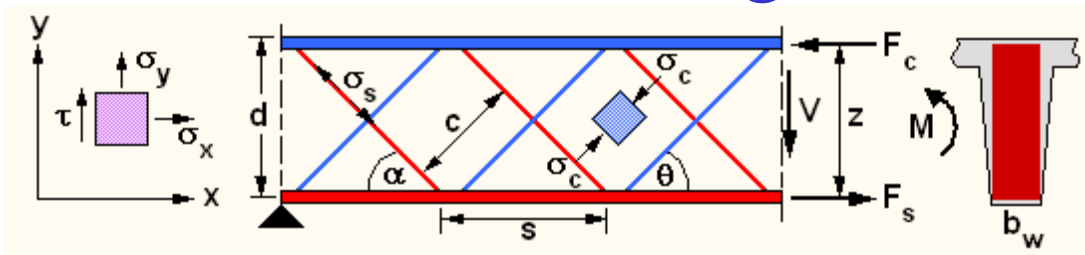
Smyková rozpětí



Smyková odolnost klesá s rostoucím poměrem a/d :

- pro $a/d < 1,5$ dochází k obloukovému nebo příhradovému jevu
- pro $1,5 < a/d < 3$ může dojít k náhlé tvorbě trhlin a poruše
- pro $1,5 < a/d$ je smyková odolnost nezávislá na a/d

Příhradová analogie



Ekvivalentní napětí
tažené výztuže

$$\sigma_{se} = \frac{A_{sw}\sigma_s}{c b_w} = \frac{A_{sw}\sigma_s}{s \sin\alpha b_w} = \rho_w \sigma_s \quad 1$$

Ekvivalentní napětí

$$\sigma_x = -\sigma_c \cos^2\theta + \rho_w \sigma_s \cos^2\alpha \quad 2$$

$$\sigma_y = -\sigma_c \sin^2\theta + \rho_w \sigma_s \sin^2\alpha \quad 3$$

$$\tau = \sigma_c \cos\theta \sin\theta + \rho_w \sigma_s \cos\alpha \sin\alpha \quad 4$$

Smyk a smykové n.

$$\tau = V / (b_w z) \quad 5$$

Zanedbává se vl. tíha

$$\sigma_y = 0 \quad 6$$

Smyková výztuž a beton

Smyková síla
a výztuž

$$V = (A_{sw} / s) z \sigma_s (\cot\theta + \cot\alpha) \sin\alpha$$

Smyková síla
a beton

$$V = b_w z \sigma_c (\cot\theta + \cot\alpha) / (1 + \cot^2\theta)$$

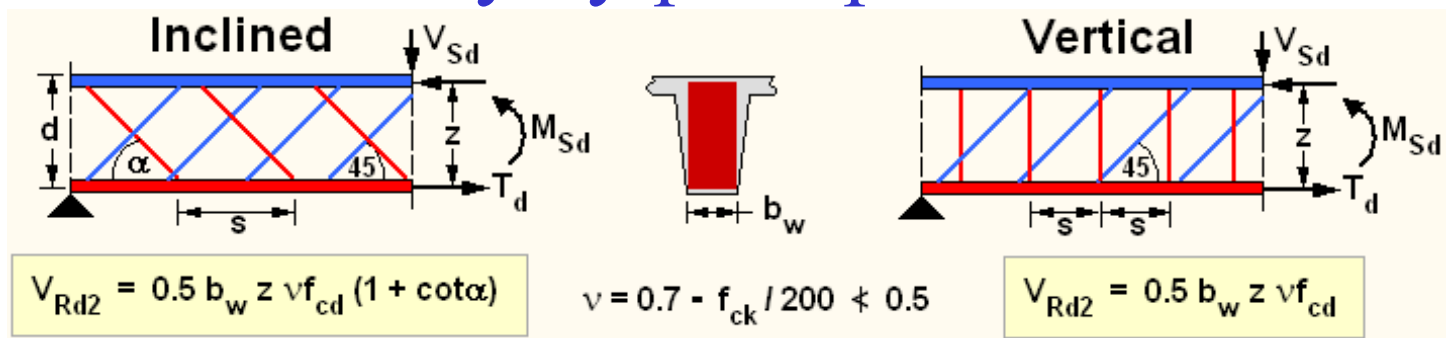
Vliv ohybového
momentu na beton
a výztuž

$$F_c = (M / z) - 0.5V (\cot\theta - \cot\alpha)$$

$$F_s = (M / z) + 0.5V (\cot\theta - \cot\alpha)$$

Obvykle $\theta = 45^\circ$, pak $\cot\theta = 1$, $z \approx 0,9 d$

Obvyklý postup $\theta=45^\circ$



Jestliže $V_{rd2} < V_{sd}$ je nutno zvětšit průřez

$$V_{Rd1} = (\tau_{Rd} k (1.2 + 40 \rho_l) + |0.15| \sigma_{cp}) b_w d$$

Jestliže $V_{rd1} > V_{sd}$ konstruktivní výztuž

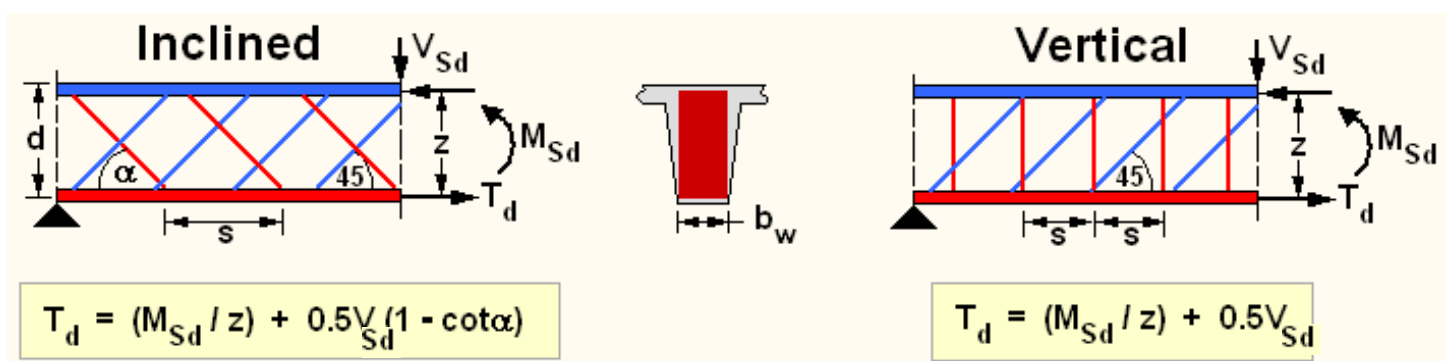
Jestliže $V_{rd1} < V_{sd}$ návrh smykové výztuže

$$V_{wd} \geq V_{Sd} - V_{Rd1}$$

$$V_{wd} = (A_{sw} / s) z f_{ywd} (1 + \cot\alpha) \sin\alpha$$

$$V_{wd} = (A_{sw} / s) z f_{ywd}$$

Ověření plochy podélné výztuže $\theta=45^\circ$



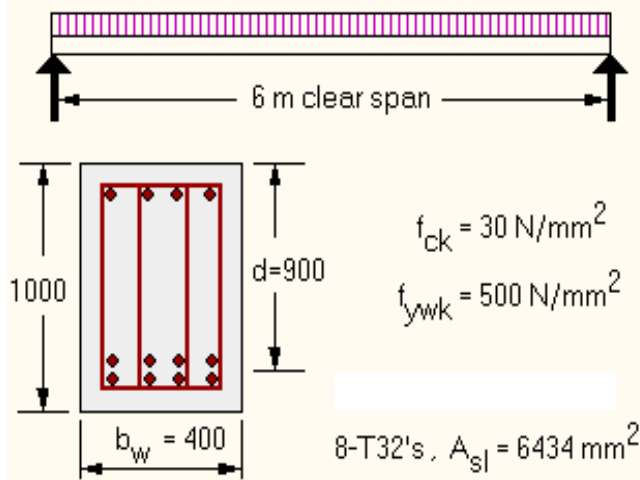
Dodatečná plocha výztuže

$$A_{s,add} = 0.5V (1 - \cot\alpha) / f_{yd}$$

$$A_{s,add} = 0.5V / f_{yd}$$

Příklad obvyklého postupu - 1

Návrhové zatížení 385 kN/m



8-T32's, $A_{sl} = 6434 \text{ mm}^2$

	$\tau_{Rd} \text{ N/mm}^2$ (with $\gamma_c = 1.5$)						
f_{ck}	12	16	20	25	30	35	≥ 40
$f_{ctk,0.05}$	1.1	1.3	1.5	1.8	2.0	2.2	2.5
τ_{Rd}	0.18	0.22	0.26	0.30	0.34	0.37	0.41

$$V_{Rd1} = [\tau_{Rd} k (1.2 + 40 \rho_l) + 0.15 \sigma_{cp}] b_w d$$

1) $f_{ck} = 30, \tau_{Rd} = 0.34 \text{ N/mm}^2$

2) $k = (1.6 - d) = (1.6 - 0.9) = 0.7 \text{ m}$
 $k = 1.0$

3) $\rho_l = A_{sl} / b_w d = 6434 / (400 \times 900) = 0.018$
 ($\rho_l \neq 0.02$)

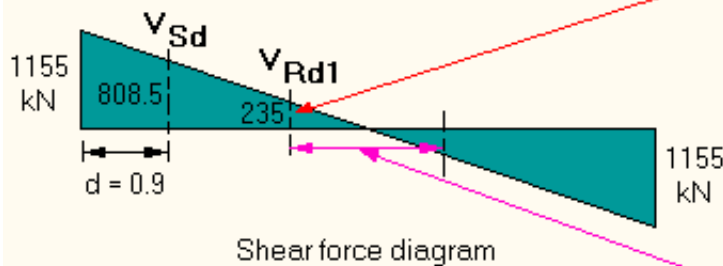
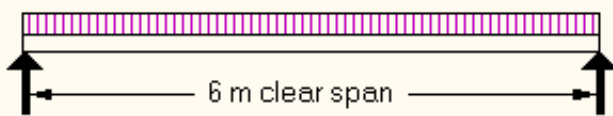
4) $\sigma_{cp} = N_{Sd} / A_c$ but $N_{Sd} = 0$, so $\sigma_{cp} = 0$

5)

$$V_{Rd1} = 0.34 \times 1.0 (1.2 + 40 \times 0.018) \times 400 \times 900 = 235 \text{ kN}$$

Příklad obvyklého postupu - 2

Ultimate load = 385 kN/m



Shear force diagram

$$V_{Sd} = 1155 - (0.9 \times 385) = 808.5 \text{ kN}$$

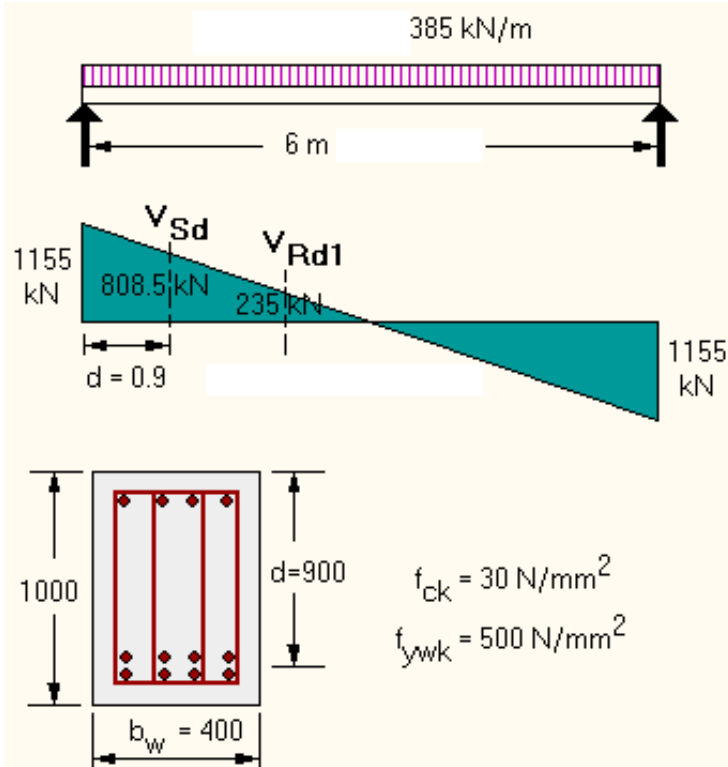
From Q1 the value of V_{Rd1} is 235 kN

Since V_{Sd} is greater than V_{Rd1} , shear reinforcement **is** required.

Where $V_{Sd} < V_{Rd1}$ **no** shear reinforcement is required, but in practice **minimum** shear reinforcement is provided.

$$\text{Shear force at face of supports} = \frac{385 \times 6}{2} = 1155 \text{ kN}$$

Příklad obvyklého postupu - 3

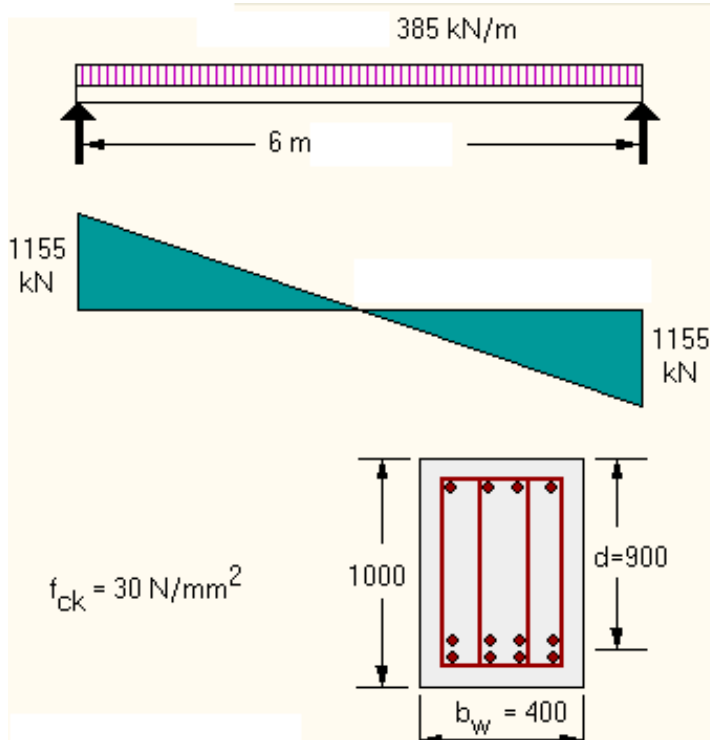


$$A_{sw}/s = \frac{V_{Sd} - V_{Rd1}}{0.9 d f_{ywd}}$$

$$= \frac{(808.5 - 235) \times 10^3}{0.9 \times 900 \times 500/1.15}$$

$$= 1.63 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

Příklad obvyklého postupu - 4



$$V_{Rd2} = 0.5 v f_{cd} b_w 0.9 d (1 + \cot \alpha)$$

for vertical links, $\cot \alpha = 0$

$$v = 0.7 - f_{ck} / 200 \leq 0.5$$

$$= 0.7 - 30/200 = 0.55 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{cd} = f_{ck} / \gamma_c = 30/1.5 = 20 \text{ N/mm}^2$$

$$V_{Rd2} = 0.5 \times 0.55 \times 20 \times 400 \times 0.9 \times 900$$

$$= 1782 \text{ kN}$$

$> 1155 \text{ kN}$,