

ÚNOSNOST ŽB PRVKŮ NAMÁHANÝCH SMYKEM

POSTUP PODLE EN 1992-1-1

Ing. Jitka Vašková, CSc. – listopad 2005

A – prvky bez smykového vyztužení

(EN 1992 vyžaduje alespoň konstrukční smykovou výztuž s výjimkou desek a podružných prvků – např. překladů s rozpětím $\leq 2\text{m}$)

Návrhová hodnota únosnosti

$$V_{Rd,c} = [C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 r_l \cdot f_{ck})^{1/3}] \cdot b_w \cdot d \geq n_{\min} \cdot b_w \cdot d$$

$$n_{\min} = 0,035 k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2}$$

kde $C_{Rd,c} = 0,18 / g_c$; $g_c = 1,5$

$k = 1 + (200 / d)^{1/2} \leq 2,0$...vliv výšky

$(100 r_l)^{1/3}$ vliv podélného vyztužení

$r_l = A_{sl} / (b_w \cdot d) \leq 0,02$ stupeň podélného vyztužení

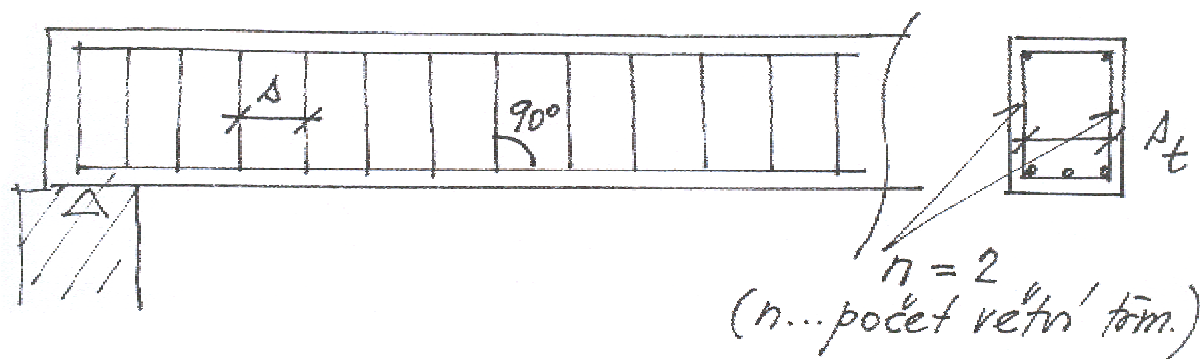
A_{sl} ... plocha tahové výztuže, která je od uvažovaného svislého průřezu protažena o hodnotu d a dále řádně kotvena

b_w ... nejmenší šířka průřezu v tahové oblasti

Podmínka spolehlivosti $V_{Rd,c} \geq |V_{Ed}|$

B – prvky se smykovou výztuží

Pro ŽB prvek konstantní výšky se svislými třmínky:



Únosnost třmínků $V_{Rd,s}$

$$V_{Rd,s} = \frac{A_{sw} \cdot f_{ywd}}{S} \cdot z \cdot \cot \Theta$$

kde $A_{sw} = n \cdot \frac{\rho \cdot d_{sw}^2}{4}$

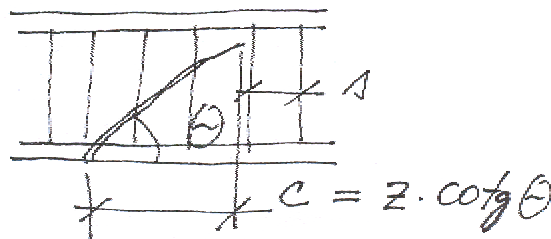
d_{sw} je průměr třmínku

n počet větví třmínků

S vzdálenost třmínků

z rameno sil $z \approx 0,9d$

Θ úhel tlakových diagonál



Únosnost je omezena únosností tlakových diagonál $V_{Rd,max}$

$$V_{Rd,max} = n \cdot f_{cd} \cdot b_w \cdot z \cdot \frac{\cot \Theta}{1 + \cot^2 \Theta}$$

kde n je součinitel zmenšení pevnosti betonu v tlaku

$$n = 0,6 \cdot (1 - f_{ck} / 250) \quad f_{ck} \text{ [MPa]}$$

Pro beton do třídy C60/75 je možné uvažovat hodnotu $n = 0,6$ pokud pro smykovou výztuž platí $S_{swd} < 0,8 f_{yk}$

Podmínky spolehlivosti

- $V_{Rd,s} \geq |V_{Ed}|$ $|V_{Ed}|$... viz obr. na str.4
- $V_{Rd,max} \geq |V_{Ed}|$

Omezení smykové výztuže - musí platit podmínky :

- $\frac{A_{sw} \cdot f_{ywd}}{b_w \cdot S} \leq 0,5 n \cdot f_{cd}$... zajištění duktility

- $r_w \geq r_{w,min}$... minimální vyztužení

$$r_w = \frac{A_{sw}}{b_w \cdot S}$$

$$r_{w,min} = (0,08 \cdot \sqrt{f_{ck}}) / f_{yk}$$

$r_{w,min}$ pro ocel s $f_{yk} = 500\text{MPa}$:

C16/20 ... $r_{w,min} = 0,00064$

C20/25 ... $r_{w,min} = 0,00072$

C25/30 ... $r_{w,min} = 0,00080$

C30/37 ... $r_{w,min} = 0,00088$

Konstrukční zásady pro třmínky:

Vzdálenost třmínků $s \leq s_{max} = 0,75d$

Vzdálenost větví třmínků $s_t \leq s_{t,max} = 0,75d$
 $\leq 600 \text{ mm}$

Postup návrhu třmínků:

- volíme $\cot \Theta = 1,2$ až $1,5$ což odpovídá chování běžných ŽB prvků (pro max. hodnotu $\cot \Theta = 2,5 \rightarrow$ minimální úhel $\Theta \rightarrow$ min. smyková výztuž, ale nutné větší délky podélné výztuže, příp. provést posouzení šířky trhlin)
- ověření podmínky $|V_{E,d}| \leq (V_{Rd,max})$

↓

$$\text{Pro zvolené } \cot \Theta: V_{Rd,max} = v \cdot f_{cd} \cdot b_w \cdot z \cdot \frac{\cot \Theta}{1 + \cot^2 \Theta}$$

- a) pokud platí $|V_{E,d}| \leq V_{Rd,max}$, lze přímo navrhnout smykovou výztuž tak, aby platilo:

$$\frac{A_{sw} \cdot f_{ywd}}{s} \cdot z \cdot \cot \Theta \geq |V_{Ed}|$$

Postup:

- volba průměru třmínku d_{sw} a střižnosti $n \rightarrow A_{sw} = \frac{n \cdot p \cdot d_{sw}^2}{4}$

- výpočet potřebné vzdálenosti třmínků $s \leq \frac{A_{sw} \cdot f_{ywd}}{V_{Ed}} \cdot z \cdot \cot \Theta$

+ ověření $s \leq s_{max}$ s event. úpravou vzdálenosti třmínků s

+ kontrola stupně smykového vyztužení $\rho_w = A_{sw} / (b_w \cdot s) \geq \rho_{w,min}$

- b) pokud $|V_{Ed}| > (V_{Rd,max})$, tak ověřujeme

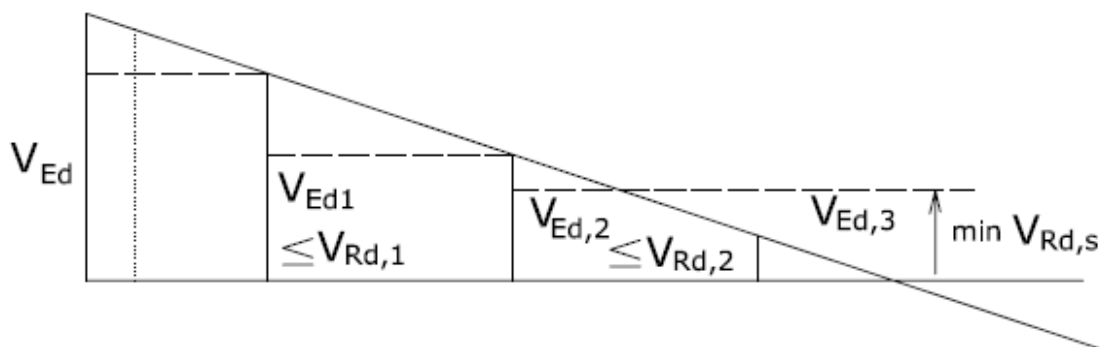
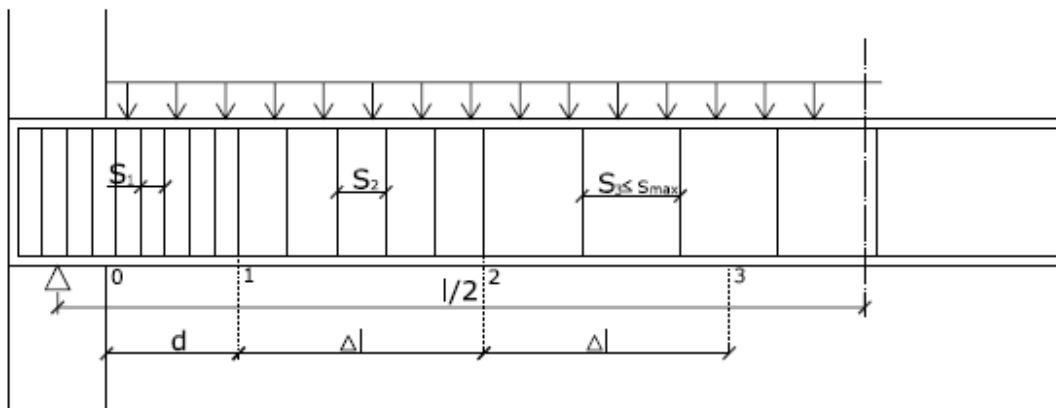
$$|V_{Ed}| = V_{Rd,max} = n \cdot f_{cd} \cdot b_w \cdot z \cdot \frac{\cot Q}{1 + \cot^2 Q} \rightarrow \text{výpočet } \cot \theta$$

musí platit $\cot \theta \geq 1,0$, jinak by nevyhovoval průřez a třída betonu!

Pro $\cot \theta \geq 1,0$ provedeme návrh smykové výztuže (viz výše)

+ kontrola stupně vyztužení $\rho_{w,min}$

$$+ \text{kontrola } \frac{A_{sw} \cdot f_{ywd}}{b_w s} \cdot z \cdot \cot Q \leq 0,5 n \cdot f_{cd}$$



Pro nosník s přímým spojitým zatížením navrhujeme třmínky na účinek zatížení – hodnotu posouvající síly v průřezu d za lícem podpory (viz $V_{Ed,1}$ na obr.), pro úsporu výztuže lze v méně namáhaných oblastech zmenšit smykovou výztuž $\rightarrow$ další uvažované průřezy 2,3 ve vzdálenosti $\Delta l = z \cdot \cot \theta$. I v oblasti malých posouvajících sil je však nutno dodržet konstrukční zásady ($s \leq s_{max}$, $\rho_w \geq \rho_{w,min}$), tj. navrhnout výztuž s únosností **min** $V_{Rd,s}$

ÚNOSNOST ŽB PRVKŮ NAMÁHANÝCH SMYKEM

POSTUP PODLE EN 1992-1-1

Ing. Jitka Vašková, CSc. – listopad 2009

A – prvky bez smykového vyztužení

(EN 1992 vyžaduje alespoň konstrukční smykovou výztuž s výjimkou desek a podružných prvků – např. překladů s rozpětím $\leq 2\text{m}$)

Návrhová hodnota únosnosti

$$V_{Rd,c} = [C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 r_l \cdot f_{ck})^{1/3}] \cdot b_w \cdot d \geq n_{\min} \cdot b_w \cdot d$$

$$n_{\min} = 0,035 k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2}$$

kde $C_{Rd,c} = 0,18 / g_c$; $g_c = 1,5$

$k = 1 + (200 / d)^{1/2} \leq 2,0$...vliv výšky

$(100 r_l)^{1/3}$ vliv podélného vyztužení

$r_l = A_{sl} / (b_w \cdot d) \leq 0,02$ stupeň podélného vyztužení

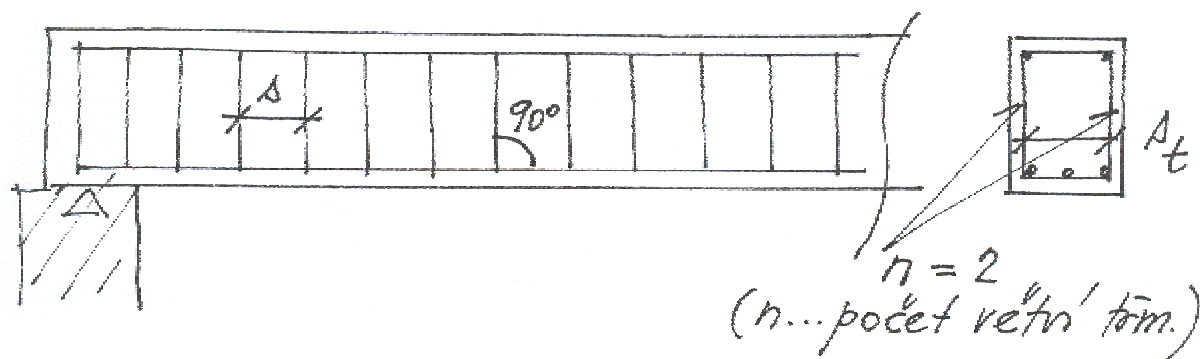
A_{sl} ... plocha tahové výztuže, která je od uvažovaného svislého průřezu protažena o hodnotu d a dále řádně kotvena

b_w ... nejmenší šířka průřezu v tahové oblasti

Podmínka spolehlivosti $V_{Rd,c} \geq |V_{Ed}|$

B – prvky se smykovou výztuží

Pro ŽB prvek konstantní výšky se svislými třmínky:



Únosnost třmínků $V_{Rd,s}$

$$V_{Rd,s} = \frac{A_{sw} \cdot f_{ywd}}{S} \cdot z \cdot \cot \Theta$$

kde $A_{sw} = n \cdot \frac{\rho \cdot d_{sw}^2}{4}$

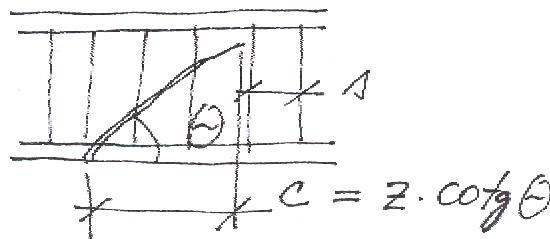
d_{sw} je průměr třmínku

n počet větví třmínků

S vzdálenost třmínků

z rameno sil $z \approx 0,9d$

Θ úhel tlakových diagonál



Únosnost je omezena únosností tlakových diagonál $V_{Rd,max}$

$$V_{Rd,max} = n \cdot f_{cd} \cdot b_w \cdot z \cdot \frac{\cot \Theta}{1 + \cot^2 \Theta}$$

kde n je součinitel zmenšení pevnosti betonu v tlaku

$$n = 0,6 \cdot (1 - f_{ck} / 250) \quad f_{ck} \text{ [MPa]}$$

Pro beton do třídy C60/75 je možné uvažovat hodnotu $n = 0,6$ pokud pro smykovou výztuž platí $S_{swd} < 0,8 f_{yk}$

Podmínky spolehlivosti

- $V_{Rd,s} \geq |V_{Ed}|$ $|V_{Ed}|$... viz obr. na str.4
- $V_{Rd,max} \geq |V_{Ed}|$

Omezení smykové výztuže - musí platit podmínky :

- $\frac{A_{sw} \cdot f_{ywd}}{b_w \cdot S} \leq 0,5 n \cdot f_{cd}$... zajištění duktility

- $r_w \geq r_{w,min}$... minimální vyztužení

$$r_w = \frac{A_{sw}}{b_w \cdot S}$$

$$r_{w,min} = (0,08 \cdot \sqrt{f_{ck}}) / f_{yk}$$

$r_{w,min}$ pro ocel s $f_{yk} = 500\text{MPa}$:

C16/20 ... $r_{w,min} = 0,00064$

C20/25 ... $r_{w,min} = 0,00072$

C25/30 ... $r_{w,min} = 0,00080$

C30/37 ... $r_{w,min} = 0,00088$

Konstrukční zásady pro třmínky:

Vzdálenost třmínků $s \leq s_{max} = 0,75d$

Vzdálenost větví třmínků $s_t \leq s_{t,max} = 0,75d$
 $\leq 600 \text{ mm}$

Postup návrhu třmínků:

- volíme $\cot \Theta = 1,2$ až $1,5$ což odpovídá chování běžných ŽB prvků (pro max. hodnotu $\cot \Theta = 2,5 \rightarrow$ minimální úhel $\Theta \rightarrow$ min. smyková výztuž, ale nutné větší délky podélné výztuže, příp. provést posouzení šířky trhlin)
- ověření podmínky $|V_{E,d}| \leq (V_{Rd,max})$

↓

$$\text{Pro zvolené } \cot \Theta: V_{Rd,max} = v \cdot f_{cd} \cdot b_w \cdot z \cdot \frac{\cot \Theta}{1 + \cot^2 \Theta}$$

- a) pokud platí $|V_{E,d}| \leq V_{Rd,max}$, lze přímo navrhnout smykovou výztuž tak, aby platilo:

$$\frac{A_{sw} \cdot f_{ywd}}{s} \cdot z \cdot \cot \Theta \geq |V_{Ed}|$$

Postup:

- volba průměru třmínku d_{sw} a střižnosti $n \rightarrow A_{sw} = \frac{n \cdot p \cdot d_{sw}^2}{4}$

- výpočet potřebné vzdálenosti třmínků $s \leq \frac{A_{sw} \cdot f_{ywd}}{V_{Ed}} \cdot z \cdot \cot \Theta$

+ ověření $s \leq s_{max}$ s event. úpravou vzdálenosti třmínků s

+ kontrola stupně smykového vyztužení $\rho_w = A_{sw} / (b_w \cdot s) \geq \rho_{w,min}$

- b) pokud $|V_{Ed}| > (V_{Rd,max})$, tak ověřujeme

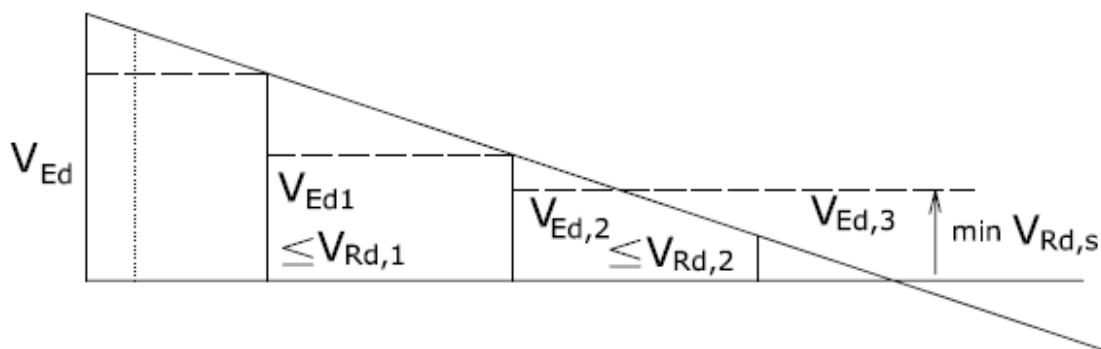
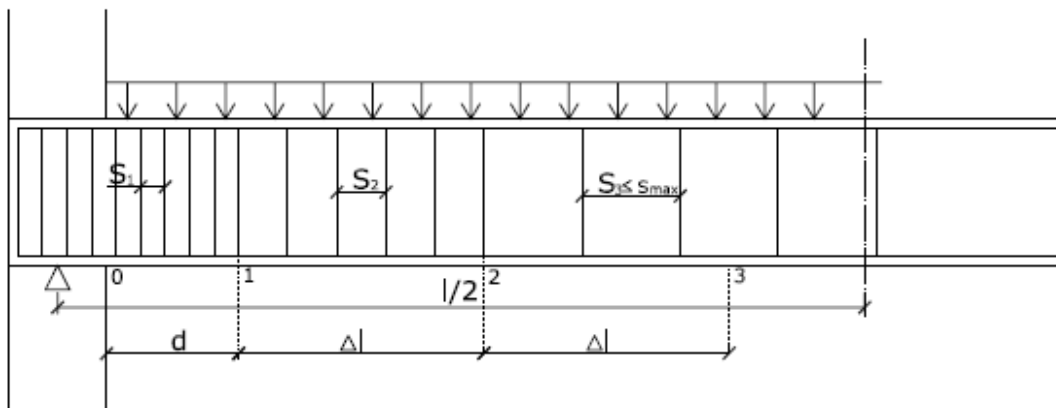
$$|V_{Ed}| = V_{Rd,max} = n \cdot f_{cd} \cdot b_w \cdot z \cdot \frac{\cot \theta}{1 + \cot^2 \theta} \rightarrow \text{výpočet } \cot \theta$$

musí platit $\cot \theta \geq 1,0$, jinak by nevyhovoval průřez a třída betonu!

Pro $\cot \theta \geq 1,0$ provedeme návrh smykové výztuže (viz výše)

+ kontrola stupně vyztužení $\rho_{w,min}$

$$+ \text{kontrola } \frac{A_{sw} \cdot f_{ywd}}{b_w s} \cdot z \cdot \cot \theta \leq 0,5 n \cdot f_{cd}$$



Pro nosník s přímým spojitým zatížením navrhujeme třmínky na účinek zatížení – hodnotu posouvající síly v průřezu d za lícem podpory (viz $V_{Ed,1}$ na obr.), pro úsporu výztuže lze v méně namáhaných oblastech zmenšit smykovou výztuž $\rightarrow$ další uvažované průřezy 2,3 ve vzdálenosti $\Delta l = z \cdot \cot \theta$. I v oblasti malých posouvajících sil je však nutno dodržet konstrukční zásady ($s \leq s_{max}$, $\rho_w \geq \rho_{w,min}$), tj. navrhnout výztuž s únosností **min** $V_{Rd,s}$