

B0002 – PRVKY KOVOVÝCH KONSTRUKCÍ

PODKLADY DO CVIČENÍ



Tento materiál slouží výhradně jako pomůcka do cvičení a v žádném případě objemem ani typem informací nenahrazuje náplň přednášek.

Obsah

NORMY PRO NAVRHOVÁNÍ OCELOVÝCH KONSTRUKCÍ.....	2
KONVENCE ZNAČENÍ OS PRUTŮ	3
KONSTRUKČNÍ OCEL	3
DÍLČÍ SOUČINITEL SPOLEHLIVOSTI MATERIÁLU	3
ŠROUBOVÉ SPOJE	4
ČEPOVÉ SPOJE	10
NÝTOVÉ SPOJE	11
SVAROVÉ SPOJE.....	12
ZÁKLADNÍ PŘÍPADY NAMÁHÁNÍ.....	16
ZATŘÍDĚNÍ PRŮŘEZU	18
PLASTICKÉ PŮSOBENÍ.....	21
VZPĚR	22
KROUCENÍ	24
KLOPENÍ.....	25
ČLENĚNÉ TLAČENÉ PRUTY STÁLÉHO PRŮŘEZU	27
SLOŽENÉ A KŘÍŽOVÉ ČLENĚNÉ PRUTY	28
INTERAKCE OHYBU A OSOVÉHO TLAKU	29

NORMY PRO NAVRHOVÁNÍ OCELOVÝCH KONSTRUKCÍ

1.1.1 Rozsah platnosti Eurokódu 3

(1) Eurokód 3 platí pro navrhování ocelových konstrukcí pozemních a inženýrských staveb. Uvádí zásady a požadavky na bezpečnost a použitelnost konstrukcí a základní ustanovení pro jejich navrhování a posuzování, uvedené v EN 1990 – Zásady navrhování konstrukcí.

(2) Eurokód 3 se týká pouze požadavků na únosnost, použitelnost, trvanlivost a požární odolnost ocelových konstrukcí. Jiné požadavky, například na tepelnou nebo zvukovou izolaci, nejsou zahrnuty.

(3) Eurokód 3 se má používat společně s:

- EN 1990 Zásady navrhování konstrukcí
- EN 1991 Zatížení stavebních konstrukcí
- EN, ETAG a ETA stavebních výrobků pro ocelové konstrukce
- EN 1090 Provádění ocelových konstrukcí – Technické požadavky
- EN 1992 až EN 1999, pokud jsou v nich ocelové konstrukce nebo ocelové součásti uvedeny.

(4) Eurokód 3 je dále rozdělen na jednotlivé části:

EN 1993-1 Navrhování ocelových konstrukcí: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby

EN 1993-2 Navrhování ocelových konstrukcí: Ocelové mosty

EN 1993-3 Navrhování ocelových konstrukcí: Věže, stožáry a komíny

EN 1993-4 Navrhování ocelových konstrukcí: Zásobníky, nádrže a potrubí

EN 1993-5 Navrhování ocelových konstrukcí: Piloty a štětové stěny

EN 1993-6 Navrhování ocelových konstrukcí: Jeřábové dráhy

(5) EN 1993-2 až EN 1993-6 se odkazují na základní pravidla uvedená v EN 1993-1. Pravidla v EN 1993-2 až EN 1993-6 doplňují základní pravidla v EN 1993-1.

(6) EN 1993-1 Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby zahrnuje:

EN 1993-1-1 Navrhování ocelových konstrukcí: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby

EN 1993-1-2 Navrhování ocelových konstrukcí: Navrhování na účinky požáru

EN 1993-1-3 Navrhování ocelových konstrukcí: Doplnující pravidla pro za studena tvarované prvky a plošné profily

EN 1993-1-4 Navrhování ocelových konstrukcí: Korozivzdorné oceli

EN 1993-1-5 Navrhování ocelových konstrukcí: Deskostěnové konstrukce

EN 1993-1-6 Navrhování ocelových konstrukcí: Pevnost a stabilita skořepinových konstrukcí

EN 1993-1-7 Navrhování ocelových konstrukcí: Pevnost a stabilita příčně zatížených rovinných desko-stěnových konstrukcí

EN 1993-1-8 Navrhování ocelových konstrukcí: Spoje

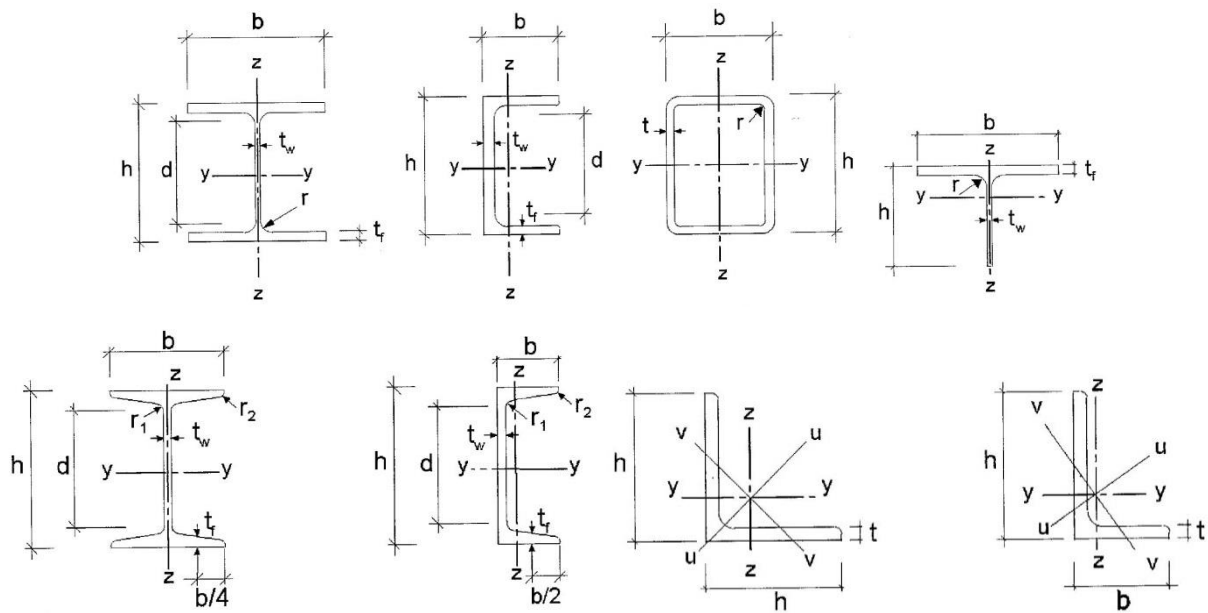
EN 1993-1-9 Navrhování ocelových konstrukcí: Únava

EN 1993-1-10 Navrhování ocelových konstrukcí: Křehký lom a lamelarita

EN 1993-1-11 Navrhování ocelových konstrukcí: Navrhování konstrukcí s ocelovými taženými prvky

EN 1993-1-12 Navrhování ocelových konstrukcí: Doplnující pravidla pro oceli vysoké pevnosti.

KONVENCE ZNAČENÍ OS PRUTŮ



KONSTRUKČNÍ OCEL

$E = 210\,000\text{ MPa}$	modul pružnosti v tahu a tlaku (Youngův modul)
$G \approx 81\,000\text{ MPa}$	modul pružnosti ve smyku
$\nu = 0,3$	Poissonův součinitel (součinitel příčné roztažnosti)

Tabulka 3.1 – Jmenovité hodnoty meze kluzu f_y a pevnosti v tahu f_u konstrukčních ocelí válcovaných za tepla

Norma a pevnostní třída oceli	Jmenovitá tloušťka prvku t (mm)			
	$t \leq 40\text{ mm}$		$40\text{ mm} < t \leq 80\text{ mm}$	
	f_y (N/mm ²)	f_u (N/mm ²)	f_y (N/mm ²)	f_u (N/mm ²)
EN 10025-2				
S235	235	360	215	360
S275	275	430	255	410
S355	355	490	335	470
S450	440	550	410	550

DÍLČÍ SOUČINITEL SPOLEHLIVOSTI MATERIÁLU

Únosnost průřezů kterékoliv třídy	$\gamma_{M0} = 1,00$
Únosnost průřezů při posuzování stability prutů	$\gamma_{M1} = 1,00$
Únosnost průřezů při porušení oslabeného průřezu v tahu	$\gamma_{M2} = 1,25$
Únosnost spojů	$\gamma_{M2} = 1,25$
(další součinitele viz příslušné normy)	

ŠROUBOVÉ SPOJE

Kategorie šroubových spojů

1) Spoje ve smyku

Kategorie A: spoje namáhané ve stříhu a v otláčení

V této kategorii se mají používat šrouby tříd 4.6 až 10.9. Nevyžaduje se předpětí ani zvláštní úprava styčných ploch. Největší návrhové smykové zatížení nemá překročit ani návrhovou únosnost ve stříhu, která je stanovena v 3.6, ani návrhovou únosnost v otláčení, která je stanovena v 3.6 a 3.7.

Kategorie B: Spoje odolné prokluzu v mezním stavu použitelnosti

V této kategorii se mají používat předpjaté šrouby podle 3.1.2(1). Prokluz nemá nastat v mezním stavu použitelnosti. Návrhová smyková síla při mezním stavu použitelnosti nemá překročit návrhovou únosnost ve stříhu, stanovenou podle 3.9. Největší návrhové smykové zatížení nemá překročit návrhovou únosnost ve stříhu, stanovenou podle 3.6, ani návrhovou únosnost v otláčení, stanovenou podle 3.6 a 3.7.

Kategorie C: spoje odolné prokluzu v mezním stavu únosnosti

V této kategorii se mají používat předpjaté šrouby podle 3.1.2(1). Prokluz nemá nastat v mezním stavu únosnosti. Největší návrhové smykové zatížení nemá překročit návrhovou únosnost v prokluzu, stanovenou podle 3.9, ani návrhovou únosnost v otláčení, stanovenou podle 3.6 a 3.7. Pro spoj namáhaný tahem se má navíc návrhová plastická únosnost v oslabení průřezu v místě děr pro šrouby $N_{net,Rd}$ (viz 6.2 v EN 1993-1-1) posoudit v mezním stavu únosnosti.

2) Spoje v tahu

Kategorie D: Nepředpjaté šroubové spoje

V této kategorii se mají používat šrouby tříd 4.6 až 10.9. Nevyžaduje se předpětí. Tato kategorie se nemá používat, jestliže je spoj často vystaven změnám tahové síly. Lze ji ale využít na spoje, které jsou navrženy na zatížení větrem.

Kategorie E: Předpjaté šroubové spoje

V této kategorii se mají používat předpjaté šrouby 8.8 a 10.9 s kontrolovaným utahováním podle souvisejících norem 1.2.7, skupina 7.

Kategorie	Kritérium	Poznámky
Spoje ve smyku		
A Spoje namáhané ve stříhu a v otláčení	$F_{v,Ed} \leq F_{v,Rd}$	Nevyžaduje se předpětí Mají se používat šrouby tříd 4.6 až 6.9
	$F_{v,Ed} \leq F_{b,Rd}$	
B Spoje odolné prokluzu v mezním stavu použitelnosti	$F_{v,Ed,ser} \leq F_{s,Rd,ser}$	Mají se používat předpjaté šrouby tříd 8.8 nebo 10.9 Únosnost v prokluzu v mezním stavu použitelnosti viz. 3.9
	$F_{v,Ed} \leq F_{v,Rd}$	
	$F_{v,Ed} \leq F_{b,Rd}$	
C Spoje odolné prokluzu v mezním stavu únosnosti	$F_{v,Ed} \leq F_{s,Rd}$	Mají se používat předpjaté šrouby tříd 8.8 nebo 10.9 Únosnost v prokluzu v mezním stavu použitelnosti viz. 3.9. $N_{net,Rd}$ viz 3.4.1(1)c).
	$F_{v,Ed} \leq F_{b,Rd}$	
	$F_{v,Ed} \leq N_{net,Rd}$	
Spoje v tahu		
D Nepředpjaté šroubové spoje	$F_{t,Ed} \leq F_{t,Rd}$	Nevyžaduje se předpětí Mají se používat šrouby tříd 4.6 až 6.9
	$F_{t,Ed} \leq B_{p,Rd}$	
E Předpjaté šroubové spoje	$F_{t,Ed} \leq F_{t,Rd}$	Mají se používat předpjaté šrouby tříd 8.8 nebo 10.9. $B_{p,Rd}$ viz tab. 3.4
	$F_{t,Ed} \leq B_{p,Rd}$	
Návrhová tahová síla $F_{t,Ed}$ má zahrnovat síly včetně páčení, viz 3.11. Šrouby namáhané smykovými i tahovými silami mají také splňovat kritéria v tabulce 3.4.		

Běžně používané metrické šrouby

d	[mm]	12	16	20	24	27	30	36
A	[mm ²]	113	201	314	452	573	707	1018
A_s	[mm ²]	84,3	157	245	353	459	561	817
d_m	[mm]	20,5	25,9	32,3	38,8	44,2	49,6	56,0

Materiál šroubů

Jakostní třída	4.6	4.8	5.6	5.8	6.8	8.8	10.9	12.9
f_{yb} [Mpa]	240	320	300	400	480	640	900	1080
f_{ub} [Mpa]	400	400	500	500	600	800	1000	1200

Otvory pro šrouby

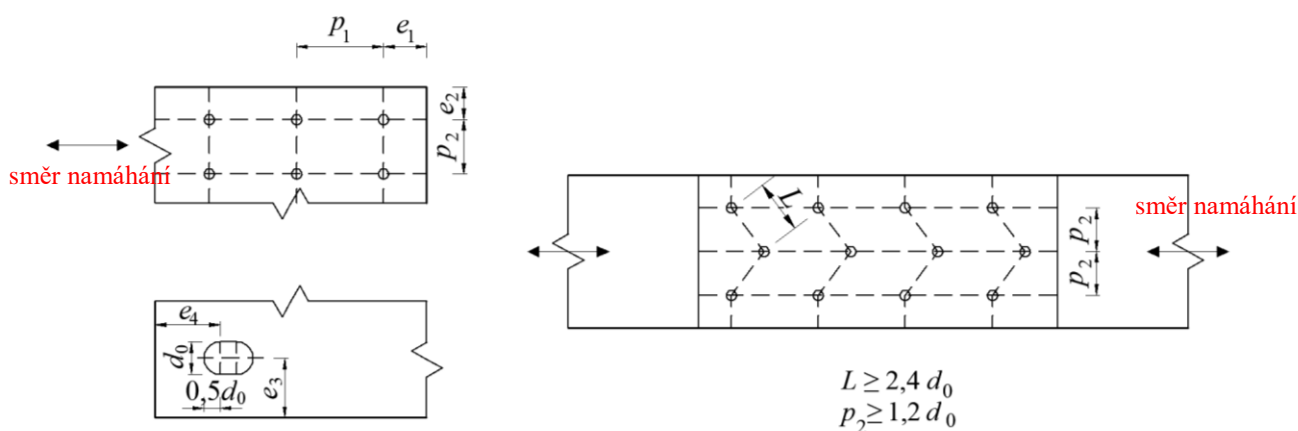
Spoje přesné: - jmenovitý průměr díry d_0 je roven jmenovitému průměru dřívku šroubu d

Spoje hrubé: - jmenovitý průměr díry d_0 je větší než jmenovitý průměr dřívku šroubu d , přičemž vůle nesmí být větší než:

Šroub	vůle
$\leq M14$	1 mm
M16 až M24	2 mm
$\geq M27$	3 mm

Rozteče děr pro šrouby

Označení	nejméně	Nejvíce (spoje vystavené vlivu povětrnosti nebo jiným korozním vlivům)	Doporučené hodnoty podle ČSN 73 1401
e_1	$1,2 d_0$	$4 t + 40 \text{ mm}$	$2,0 d_0$
e_2	$1,2 d_0$	$4 t + 40 \text{ mm}$	$1,5 d_0$
e_3	$1,5 d_0$	-	-
e_4	$1,5 d_0$	-	-
p_1	$2,2 d_0$	$\min(14 t ; 200 \text{ mm})$	$3,5 d_0$
p_2	$2,4 d_0$	$\min(14 t ; 200 \text{ mm})$	$3,5 d_0$



Návrhová únosnost šroubů

Únosnost ve stříhu pro jednu stříhovou rovinu

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A}{\gamma_{M2}}$$

- jestliže rovina stříhu prochází závitem

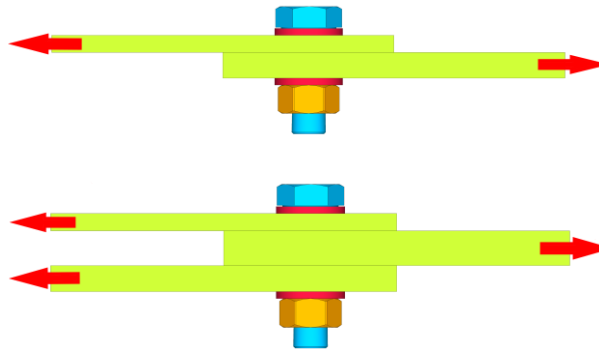
$$A = A_s$$

$$\alpha_v = \begin{cases} 0,6 & \text{pro 4.6; 5.6; 8.8} \\ 0,5 & \text{pro 4.8; 5.8; 6.8; 10.9} \end{cases}$$

- jestliže rovina stříhu prochází dřikem

$$A = \text{průřez dříku šroubu } A$$

$$\alpha_v = 0,6 \quad \text{pro všechny jakostní třídy šroubů}$$



Únosnost v otláčení

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}}$$

kde

$$\alpha_b = \min \left\{ \begin{array}{l} \alpha_d \\ \frac{f_{ub}}{f_u} \\ 1,0 \end{array} \right\} \quad \text{kde } \alpha_d \text{ je:}$$

- ve směru zatížení

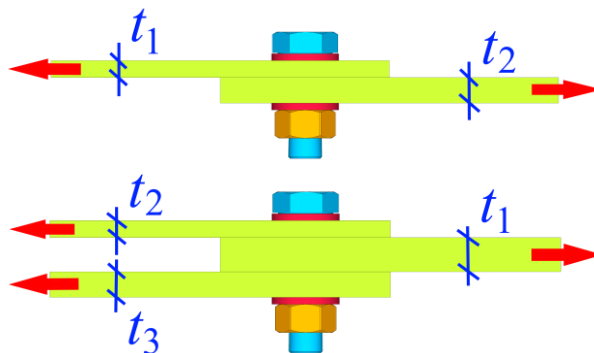
- pro šrouby na konci $\alpha_d = \frac{e_1}{3d_0}$

- pro vnitřní šrouby $\alpha_d = \frac{p_1}{3d_0} - \frac{1}{4}$

- kolmo na směr zatížení

- pro šrouby u okraje $k_1 = \min \left\{ 2,8 \frac{e_2}{d_0} - 1,7; 2,5 \right\}$

- pro vnitřní šrouby $k_1 = \min \left\{ 1,4 \frac{p_2}{d_0} - 1,7; 2,5 \right\}$



přístup ČSN 73 1401:

$$F_{b,Rd} = \frac{2,5 \cdot \alpha \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} \quad \text{kde } \alpha = \min \left\{ \frac{e_1}{3d_0}; \frac{f_{ub}}{f_u}; \frac{p_1}{3d_0} - \frac{1}{4}; 1,0 \right\}$$

Únosnost v tahu

$$F_{t,Rd} = \frac{k_2 \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}}$$

kde

$$k_2 = \begin{cases} 0,63 & \text{pro zapuštěné šrouby} \\ 0,90 & \text{jinak} \end{cases}$$

Únosnost v protlačení

$$B_{p,Rd} = \frac{0,6 \cdot \pi \cdot f_u \cdot d_m \cdot t_p}{\gamma_{M2}}$$

kde d_m je střední průměr kružnice opsané a vepsané hlavy šroubu nebo matice

Kombinace stříhu a tahu

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1,4 \cdot F_{t,Rd}} \leq 1,0$$

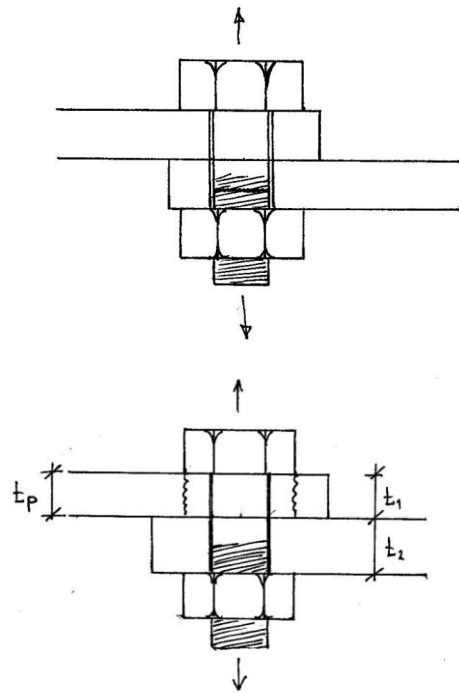
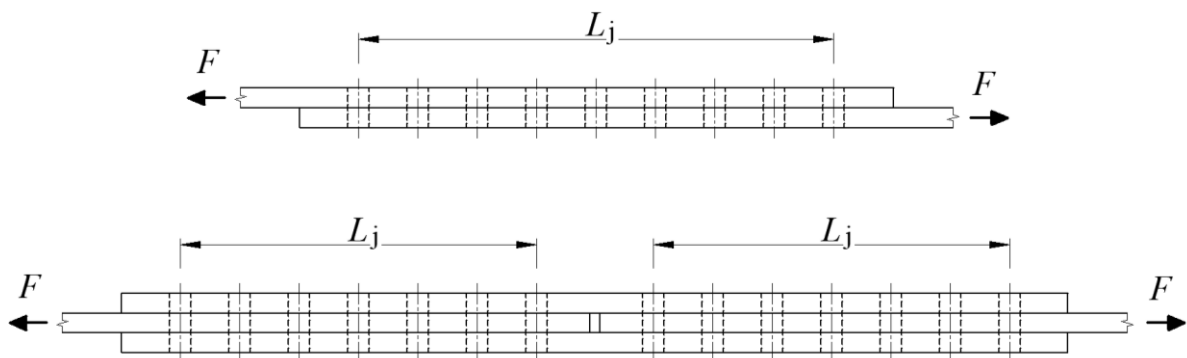
Redukce únosností

- šrouby s řezaným závitem (kotevní šrouby, táhla vyrobená z tyčí) – únosnost v tahu a stříhu se násobí 0,85
- šrouby v nadměrných a prodloužených otvorech – únosnost otláčení se násobí 0,8 a 0,6 respektive

Dlouhé spoje

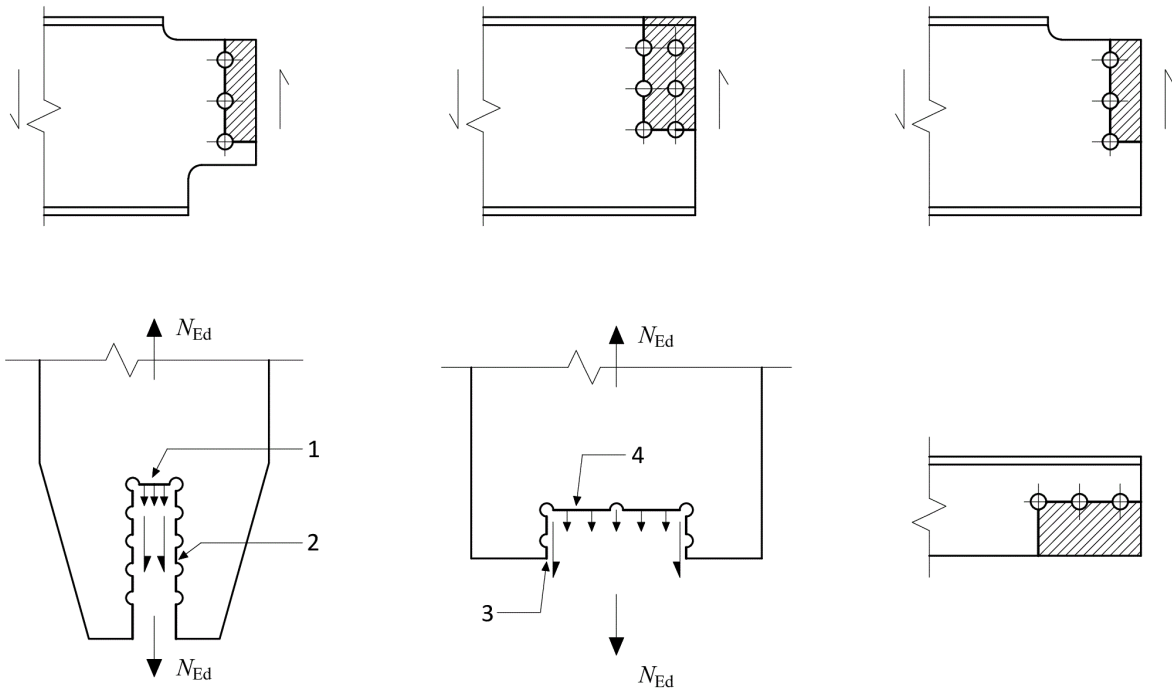
Pokud $L_j \geq 15d$ - jedná se o dlouhý spoj. Potom se návrhová únosnost ve stříhu $F_{v,Rd}$ všech šroubů násobí redukčním součinitelem β_{Lf}

$$\beta_{Lf} = 1 - \frac{L_j - 15d}{200d} \quad \text{ale } \beta_{Lf} \leq 1 \text{ a } \beta_{Lf} \geq 0,75$$



Vytržení skupiny šroubů

Vytržení skupiny šroubů představuje porušení smykem v řadě šroubů podél smykové plochy skupiny šroubů doplněné o přetržení v ose otvorů.



- 1 malá tahová síla
- 2 velká smyková síla
- 3 malá smyková síla
- 4 velká tahová síla

Pro symetrickou skupinu šroubů, která je namáhána osovým zatížením, se návrhová únosnost ve vytržení skupiny šroubů $V_{\text{eff},1,Rd}$ stanoví ze vztahu:

$$V_{\text{eff},1,Rd} = \frac{f_u \cdot A_{nt}}{\gamma_{M2}} + \frac{(1/\sqrt{3}) \cdot f_y \cdot A_{nv}}{\gamma_{M0}}$$

Pro skupinu šroubů namáhanou excentrickým zatížením, se návrhová únosnost ve vytržení skupiny šroubů $V_{\text{eff},2,Rd}$ stanoví ze vztahu:

$$V_{\text{eff},2,Rd} = 0,5 \frac{f_u \cdot A_{nt}}{\gamma_{M2}} + \frac{(1/\sqrt{3}) \cdot f_y \cdot A_{nv}}{\gamma_{M0}}$$

kde A_{nt} oslabená plocha při působení tahu
 A_{nv} oslabená plocha při působení smyku

Poznámka: Pro úhelníky připojené jedním ramenem a jiné nesymetricky připojené tažené pruty a pro přípojné úhelníky platí zvláštní pravidla.

Třecí spoje s vysokopevnostními šrouby

Součinitel tření

Třída třecího povrchu	μ
A tryskaný povrch s dokonale odstraněnou rzí nebo tryskaný povrch pokovený nástřikem hliníku nebo zinkovým povlakem	0,50
B tryskaný povrch s alkalicko-zinkovým silikátovým nátěrem	0,40
C Povrch čištěný kartáčem nebo plamenem, bez jakékoliv rzi	0,30
D Bez úpravy ploch	0,20

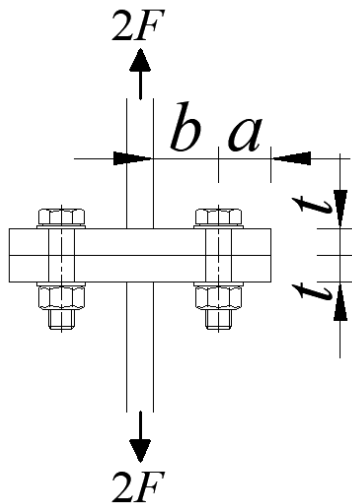
Součinitel k_s

Tvar otvoru a směr namáhání	k_s
Šrouby v obyčejných otvorech	1,00
Šrouby v nadměrných otvorech nebo krátkých prodloužených otvorech s osou prodlouženého otvoru kolmou na směr síly	0,85
Šrouby v dlouhých prodloužených otvorech s osou prodlouženého otvoru kolmou na směr síly	0,70
Šrouby v dlouhých prodloužených otvorech s osou prodlouženého otvoru ve směru síly	0,76
Šrouby v krátkých prodloužených otvorech s osou prodlouženého otvoru ve směru síly	0,63

Páčení šroubů

Přístup podle ČSN 73 1401

Spojovací prvky přenášející tahovou sílu musí přenést i přídatné namáhání od páčení, které závisí na tuhostech částí spoje.



kde d je jmenovitý průměr dříku šroubu
 a, b jsou rozměry dle obrázku

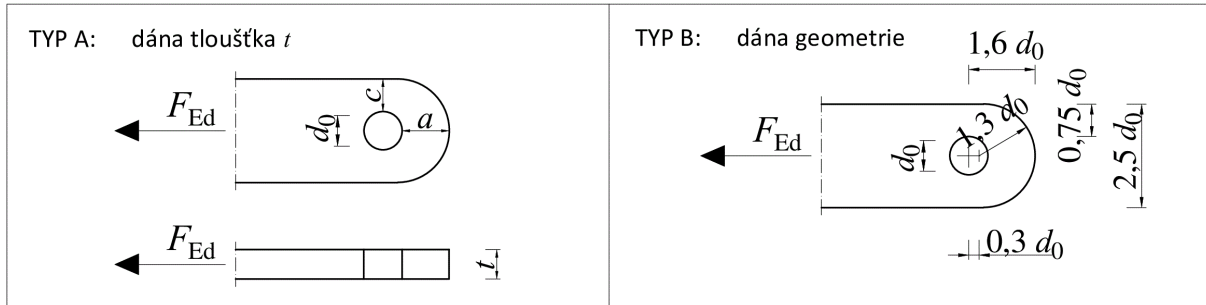
Páčení nenastává, pokud tloušťka připojované příruby $t \geq t_e = 4,3 \cdot \sqrt[3]{\frac{b \cdot d^2}{a}}$

Pokud páčení nastává, spočte se součinitel páčení $\gamma_p = 1 + 0,005 \frac{t_e^3 - t^3}{d^2} \geq 1,0$

Součinitelem páčení se násobí (zvětšuje) tahová síla namáhající šroub.

ČEPOVÉ SPOJE

Geometrické požadavky na pruty zakončené čepovými spoji



$$a \geq \frac{F_{Ed} \cdot \gamma_{M0}}{2 \cdot t \cdot f_y} + \frac{2 \cdot d_0}{3}$$

$$c \geq \frac{F_{Ed} \cdot \gamma_{M0}}{2 \cdot t \cdot f_y} + \frac{d_0}{3}$$

$$t \geq 0,7 \sqrt{\frac{F_{Ed} \cdot \gamma_{M0}}{f_y}}$$

$$d_0 \leq 2,5 \cdot t$$

Návrhová kritéria pro čepové spoje

Únosnost čepu ve střihu

$$F_{v,Rd} = \frac{0,6 \cdot A \cdot f_{up}}{\gamma_{M2}} \geq F_{v,Ed}$$

Únosnost plechu a čepu v otlacení

$$F_{b,Rd} = \frac{1,5 \cdot t \cdot d \cdot f_y}{\gamma_{M0}} \geq F_{b,Ed}$$

Únosnost čepu v ohybu

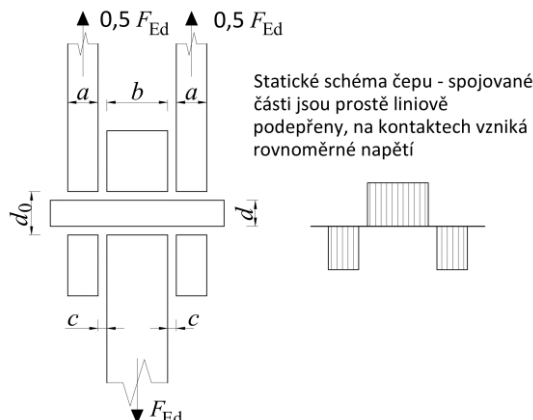
$$M_{Rd} = \frac{1,5 \cdot W_{el} \cdot f_{yp}}{\gamma_{M0}} \geq M_{Ed}$$

Únosnost čepu při kombinaci střihu a ohybu

$$\left[\frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} \right]^2 + \left[\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} \right]^2 \leq 1$$

kde

- d průměr čepu
- f_y nižší z mezí kluzu čepu a spojované části
- f_{up} mez pevnosti čepu
- f_{yp} mez kluzu čepu
- t tloušťka spojované části
- A plocha průřezu čepu
- W_{el} průřezový modul čepu



$$M_{Ed} = \frac{F_{Ed}}{8} (b + 4c + 2a)$$

NÝTOVÉ SPOJE

Rozmístění děr pro nýty se řídí stejnými pravidly jako u šroubů.

Nýtové spoje se mají navrhovat na přenesení smykových sil.

Obecně nemá svěrná délka nýtu překročit $4,5d$ pro nýtování kladivem a $6,5d$ pro nýtování lisováním.

Únosnost ve stříhu pro jednu stříhovou plochu

$$F_{V,Rd} = \frac{0,6 \cdot f_{ur} \cdot A_0}{\gamma_{M2}}$$

Únosnost v otláčení

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}}$$

kde

$$\alpha_b = \min \left\{ \alpha_d; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1,0 \right\}$$

ve směru zatížení

-pro šrouby na konci

$$\alpha_d = \frac{e_1}{3 \cdot d_0}$$

-pro vnitřní šrouby

$$\alpha_d = \frac{p_1}{3 \cdot d_0} - \frac{1}{4}$$

kolmo na směr zatížení -šrouby u okraje

$$k_1 = \min \left\{ 2,8 \frac{e_2}{d_0} - 1,7; 2,5 \right\}$$

-pro vnitřní šrouby

$$k_1 = \min \left\{ 1,4 \frac{p_2}{d_0} - 1,7; 2,5 \right\}$$

Únosnost v tahu

$$F_{t,Rd} = \frac{0,6 \cdot f_{ur} \cdot A_0}{\gamma_{M2}}$$

Únosnost v protlačení – kontrola není potřeba

Kombinace stříhu a tahu

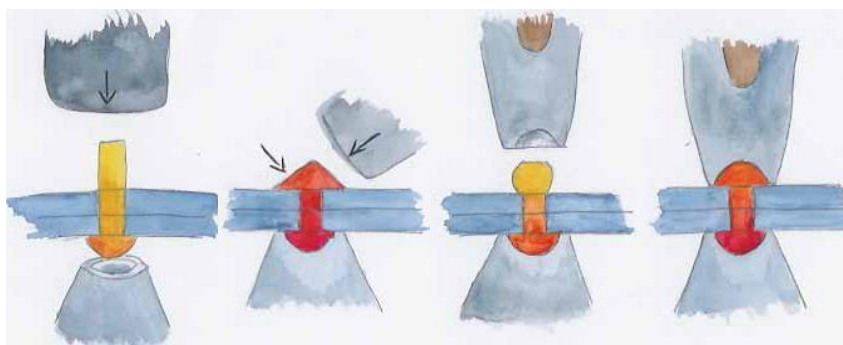
$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1,4 F_{t,Rd}} \leq 1,0$$

f_{ur}

jmenovitá mez pevnosti v tahu nýtu

A_0

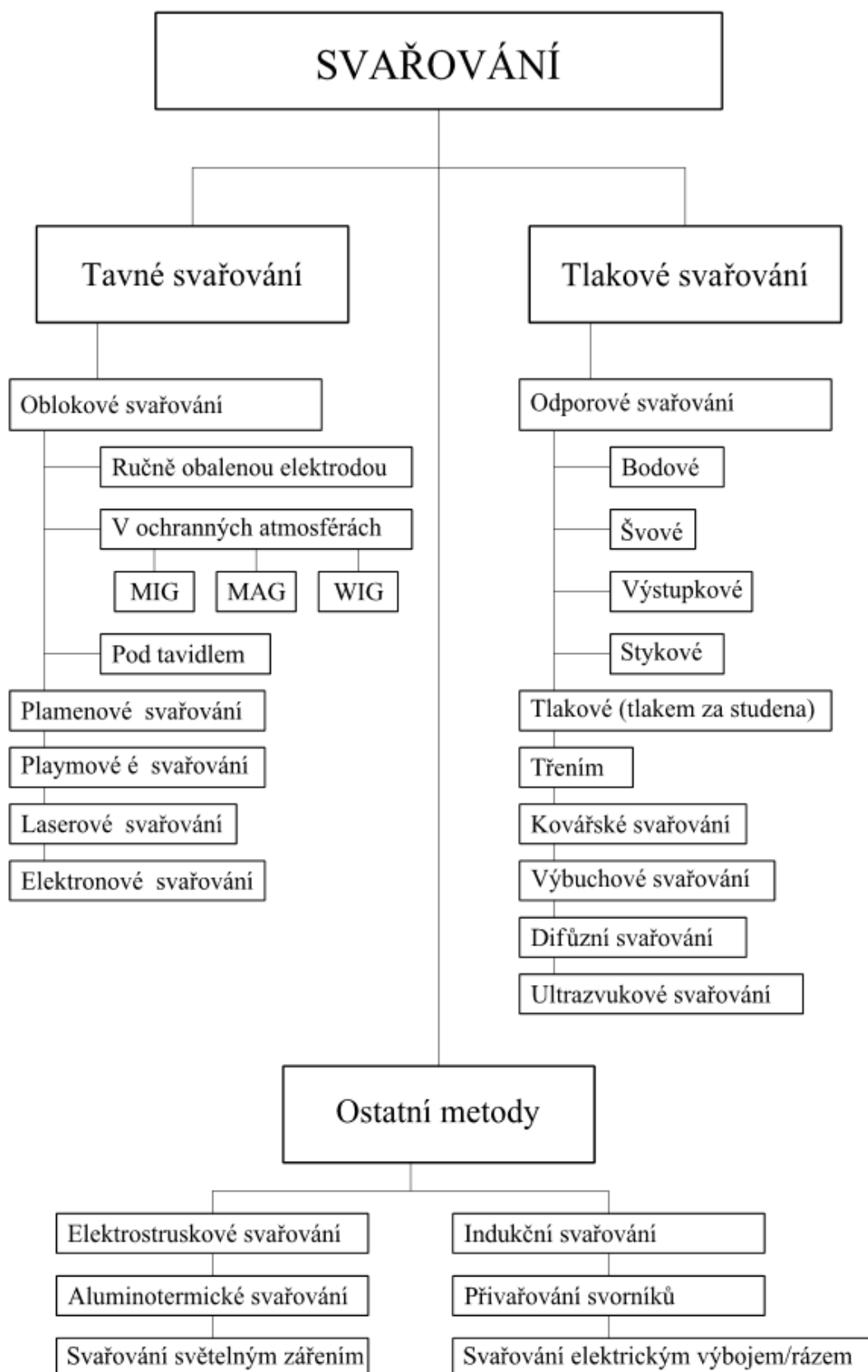
plocha otvoru pro nýt



Ilustrace převzaty z http://kovarna.webzdarma.cz/stranky/zakladni_postupy/nytovani.htm

SVAROVÉ SPOJE

Přehled metod svařování (převzato z: MINAŘÍK Václav: Přehled metod svařování, 3. aktualizované vydání. ZEROSS – svářečské nakladatelství Ostrava, 2011)



Všeobecně

Ustanovení v normě ČSN EN 1993-1-8 se vztahují na spoje

- ze svařitelné konstrukční oceli s tloušťkou materiálu 4 mm a více (pro duté průřezy od 2,5 mm viz kap. 4.2)
- s přídavným materiálem, jehož jmenovitá mez kluzu, mez pevnosti v tahu, tažnost a vrubová houževnatost jsou stejné anebo lepší než vlastnosti základního materiálu
- (zhotovené obloukovým svařováním)

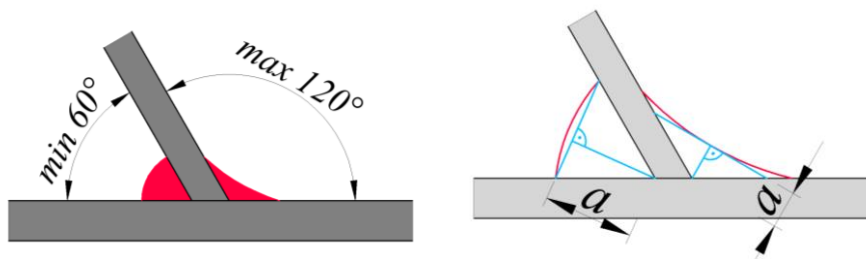
Typy svarů (zhotovených obloukovým svařováním)

- koutové svary
- tupé svary – s plným provařením, s částečným provařením
- děrové svary
- drážkové svary v zaoblení

KOUTOVÉ SVARY

Definice

Svařované části svírají úhel 60° až 120° . Pro menší úhly se únosnost počítá jako pro tupý svar s částečným provařením, pro větší úhly se únosnost stanoví zkouškou.



Účinná tloušťka svaru a

- výška největšího trojúhelníku vepsaného mezi tavné plochy a povrch svaru, celé milimetry

Tab. Min tloušťka svaru

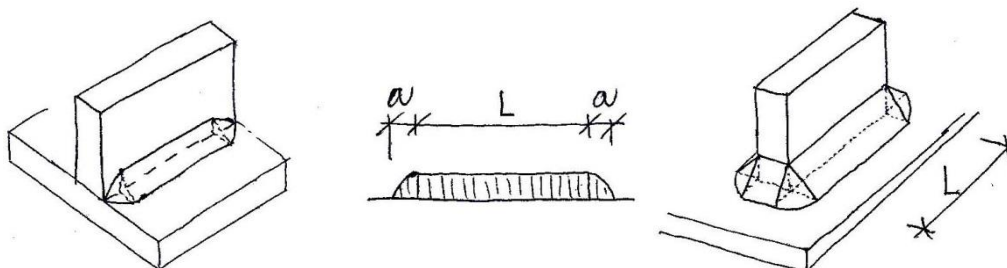
t_{\max}	a_{\min}
≤ 10	3
11 - 20	4
21 - 30	5
≥ 31	6

Tab. Max tloušťka svaru

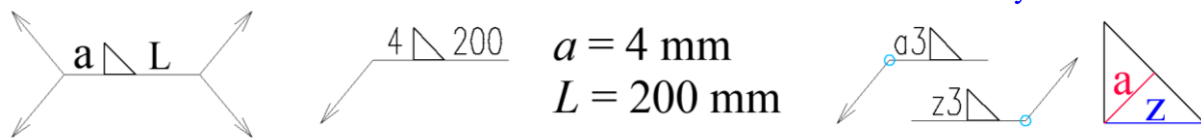
spoj	a_{\max}
přeplátovaný	$0,7 t_{\min}$
ostatní	$1,1 t_{\min}$

Účinná délka svaru L

- délka, na které má svar plný průřez
- min 30 mm nebo $6 \cdot a$ (větší rozhoduje), kratší svary jsou nenosné



Značení koutových svarů dle ČSN EN ISO 2553



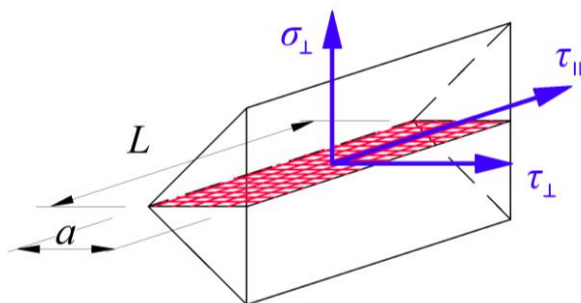
a... účinná tloušťka svaru

z... účinná výška svaru

Návrhová únosnost koutových svarů

a) Metoda uvažující směr namáhání (=> *metoda srovnávacího napětí*)

Síly namáhající jednotkovou délku svaru se rozkládají do složek rovnoběžných a příčných vzhledem k podélné ose svaru a kolmých a příčných vzhledem k účinné rovině průřezu svaru. Předpokládá se, že návrhová plocha svaru je soustředěna v jeho kořeni.



σ_{\perp} normálové napětí kolmé na účinný rozměr svaru
 τ_{\perp} smykové napětí kolmé k ose svaru
 τ_{\parallel} smykové napětí rovnoběžné s osou svaru

$A_w = a \cdot L$ návrhová účinná plocha svaru

musí být splněny obě následující podmínky:

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}$$

$$\sigma_{\perp} \leq \frac{0,9 \cdot f_u}{\gamma_{M2}}$$

Tab. Korelační součinitel β_w

ocel	S235	S275	S355	S420	S460
β_w	0,80	0,85	0,90	1,00	1,00

b) Zjednodušená metoda (=> *metoda průměrného napětí*)

Alternativně lze předpokládat, že je návrhová únosnost koutového svaru dostatečná, jestliže výslednice všech sil přenesených svarem na jednotku délky splňuje v každém bodě podél svaru podmínku:

$$F_{w,Ed} \leq F_{w,Rd}$$

kde: $F_{w,Ed}$ je návrhová hodnota síly působící na jednotku délky svaru
 $F_{w,Rd}$ návrhová únosnost svaru na jednotku délky

$$F_{w,Rd} = f_{v,wd} \cdot a \quad [\text{N/mm}]$$

$$f_{v,wd} = \frac{f_u / \sqrt{3}}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} \quad \text{návrhová pevnost ve smyku } [\text{N/mm}^2 = \text{MPa}]$$

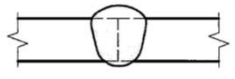

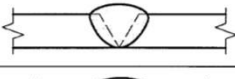
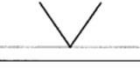
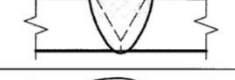

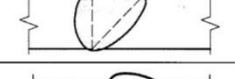


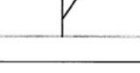

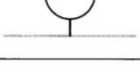

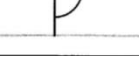
Dlouhé spoje

U přeplátovaného spoje delšího než $150 \cdot a$ se účinek nerovnoměrného rozdělení napětí podél svaru zahrne do výpočtu redukčním součinitelem

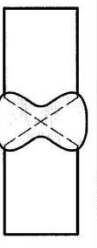
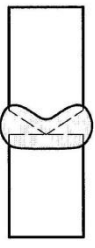
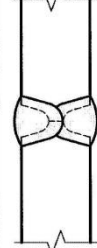
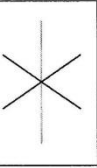
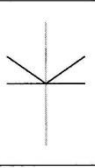
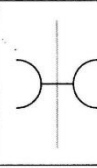
$$\beta_{Lw,1} = 1,2 - \frac{0,2 \cdot L_j}{150 \cdot a} \quad ; \quad \beta_{Lw,1} \leq 1,0 \quad L_j \text{ je celková délka přeplátování ve směru přenosu síly}$$

TUPÉ SVARY**Značení tupých svarů podle ČSN EN ISO 2553**

Tabulka 1 – Základní značky

Č.	Název	Zobrazení (čárkované čáry ukazují přípravu spoje před svařením)	Značka ^a
1	I-svar ^b		
2	V-svar ^b		
3	V-svar s výrazným otupením ^b (Y-svar)		
4	½ V-svar ^b		
5	½ V-svar s výrazným otupením ^b (½ Y-svar)		
6	U-svar ^b		
7	½ U-svar		

Tabulka 2 – Složené základní značky pro oboustranné svary

Č.	Název	Zobrazení ^a			Značka ^b		
							
1	Oboustranný V-svar (X-svar)						
2	Oboustranný ½ V-svar (K-svar)						
3	Oboustranný U-svar						

+ další doplňkové značky

Návrhová únosnost tupých svarů s plným provařením dle ČSN EN 1993-1-8

Návrhová únosnost tupých svarů s plným provařením se má uvažovat stejná jako návrhová únosnost slabší ze spojovaných částí za předpokladu, že je svar proveden vhodným přídavným materiálem, který zajistí v celé oblasti svaru mez kluzu a pevnost ne menší, než jaká je požadována pro základní materiál.

Součinitel dle ČSN 73 1401

...přitom se uvažují převodní součinitelé pevnosti svaru v závislosti na namáhání a způsobu kontroly svaru uvedené v 4.9.6

4.9.6 Převodní součinitel pro určení výpočtové pevnosti tupých svarových spojů je

- $\gamma_r = 1,0$ při namáhání v tlaku, pro svar s plným průvarem, nebo když se počítá s účinnou plochou svaru podle kapitoly 7;
- $\gamma_r = 1,0$ při namáhání v tahu pro svary s plným průvarem, jestliže je defektoskopicky prokázán alespoň klasifikační stupeň 2 podle ČSN 05 1305, kromě tažených tupých svarů v křížovém spoji;
- $\gamma_r = 0,85$ při namáhání v tahu pro svary s plným průvarem defektoskopicky nekontrolované, avšak s řádně provařeným kořenem, u nichž lze předpokládat výskyt typů vad přípustných pro klasifikační stupeň 2 až do rozsahu přípustného pro klasifikační stupeň 4 podle ČSN 05 1305; tento součinitel platí rovněž pro tažené tupé svary v křížovém spoji a pro částečně zavařené svary, pokud se počítá jen s účinnou plochou svaru podle kapitoly 7;
- $\gamma_r = 0,7$ pro tupé jednostranně přístupné svary, u kterých není možné kontrolovat provaření kořene;
- $\gamma_r = 0,6$ při namáhání ve smyku, pokud se počítá jen s účinnou plochou svaru.

Klasifikace jakosti svarů podle ultrazvukové kontroly je předmětem dohody mezi projektantem, výrobcem a odpovědným úřadem.

ZÁKLADNÍ PŘÍPADY NAMÁHÁNÍ

Tah

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1,0$$



kde $N_{t,Rd}$ je návrhová únosnost v tahu:

- pro neoslabené průřezy

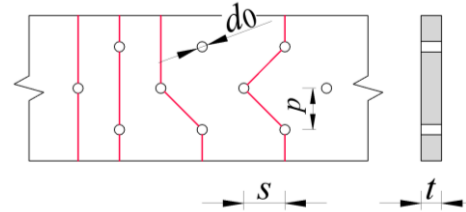
$$N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

- pro průřezy oslabené dírami pro spojovací prostředky

$$N_{u,Rd} = \frac{0,9 \cdot A_{net} \cdot f_u}{\gamma_{M2}}$$

Účinná plocha průřezu A_{net} :

$$A_{net} = A - \sum d_0 \cdot t + \sum \frac{s^2 \cdot t}{4 \cdot p}$$



Tlak (prostý = bez vlivu ztráty stability)

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1,0$$

kde $N_{c,Rd}$ je návrhová únosnost v prostém tlaku:

- pro průřezy třídy 1,2 a 3

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

- pro průřezy třídy 4

$$N_{c,Rd} = \frac{A_{eff} \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$



Ohyb (jednoosý, prostý = bez vlivu ztráty stability)

$$\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1,0$$

kde $M_{c,Rd}$ je návrhová únosnost v ohybu s uvážením děr pro spojovací prostředky:

- pro průřezy třídy 1 a 2

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

- pro průřezy třídy 3

$$M_{c,Rd} = M_{el,Rd} = \frac{W_{el} \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

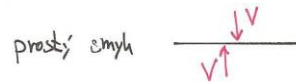
- pro průřezy třídy 4

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{eff} \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$



Smyk (bez vlivu ztráty stability)

$$\frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1,0$$

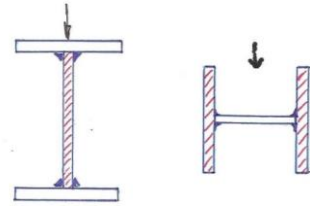


kde $V_{c,Rd}$ je návrhová únosnost ve smyku:

- v plasticitním návrhu

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v (f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{M0}}$$

principiálně:
 A_v je průřezová plocha části
 průřezu rovnoběžné
 s posouvající silou



kde A_v je smyková plocha

Průřez	Směr zatížení	Smyková plocha A_v
válcované I a H průřezy	rovnoběžně se stojinou	$A - 2 \cdot b \cdot t_f + (t_w + 2 \cdot r) \cdot t_f$ ale ne méně než $\eta \cdot h_w \cdot t_w$
válcované U průřezy	rovnoběžně se stojinou	$A - 2 \cdot b \cdot t_f + (t_w + r) \cdot t_f$
svařované I, H a duté pravoúhlé průřezy	rovnoběžně se stojinami	$\eta \sum (h_w \cdot t_w)$
svařované I, H, U a pravoúhlé duté průřezy	rovnoběžně s pásnicemi	$A - \sum (h_w \cdot t_w)$
válcované pravoúhlé duté průřezy s konstantní tloušťkou stěny	Rovnoběžně s výškou	$A \cdot h / (b + h)$
	Rovnoběžně se šířkou	$A \cdot b / (b + h)$
kruhové duté průřezy s konstantní tloušťkou stěny		$2 \cdot A / \pi$

(Konzervativně je možné uvažovat $\eta=1,00$)

- v pružnostním návrhu, pokud se neposuzuje boulení

$$\frac{\tau_{Ed}}{f_y / (\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0})} \leq 1,0$$

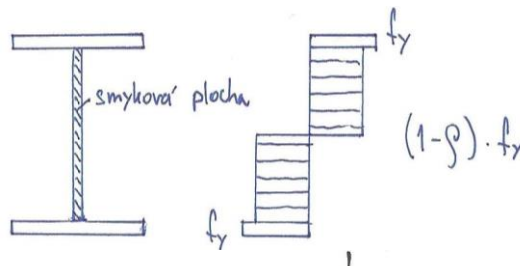
kde

$$\tau_{Ed} = \frac{V_{Ed} \cdot S}{I \cdot t} \quad \text{nebo zjednodušeně pro napětí ve stojině I a H průřezů} \quad \tau_{Ed} = \frac{V_{Ed}}{A_w}$$

Ohyb a smyk (bez ztráty stability)

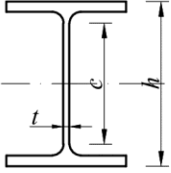
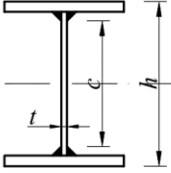
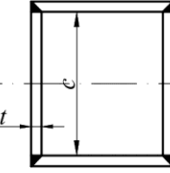
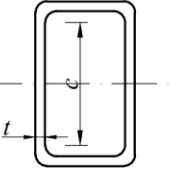
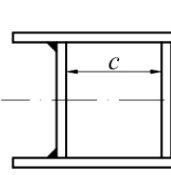
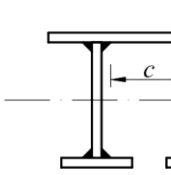
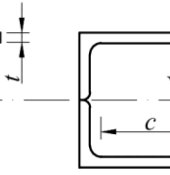
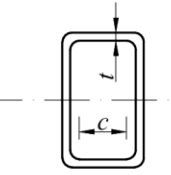
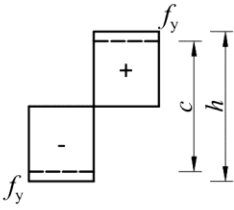
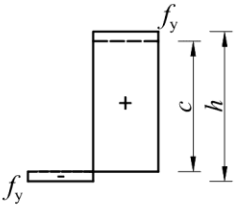
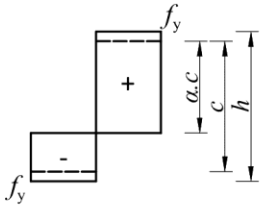
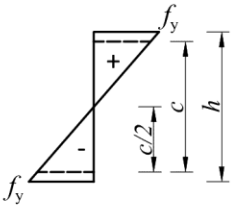
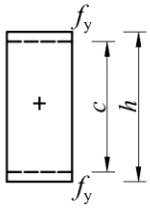
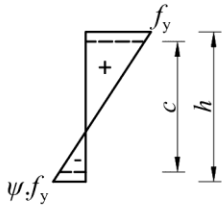
Pokud je splněna podmínka $\frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} \leq 0,5$, je možné účinek smykové síly na únosnost v ohybu zanedbat. V opačném případě se redukovaná únosnost v ohybu stanoví jako návrhová únosnost průřezu vypočtená s použitím redukované meze kluzu $(1 - \rho) \cdot f_y$ pro smykovou plochu.

$$\rho = \left(\frac{2 \cdot V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} - 1 \right)^2$$



ZATŘÍDĚNÍ PRŮŘEZU

Tabulka 5.2 (list 1 ze 3) - Největší poměry šířky a tloušťky tlačných částí

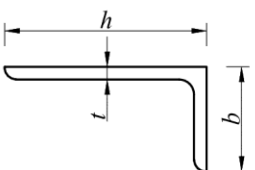
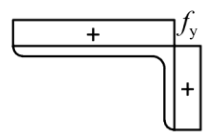
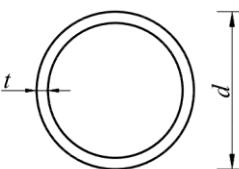
Vnitřní tlačné části							
							Osa ohybu
							Osa ohybu
Třída průřezu	Ohýbaná část	Tlačná část		Tlačná a ohýbaná část			
1							
				jestliže $\alpha > 0,5$: $c/t \leq \frac{396 \varepsilon}{13 \alpha - 1}$ jestliže $\alpha \leq 0,5$: $c/t \leq \frac{36 \varepsilon}{\alpha}$			
2	$c/t \leq 83\varepsilon$	$c/t \leq 38\varepsilon$		jestliže $\alpha > 0,5$: $c/t \leq \frac{456 \varepsilon}{13 \alpha - 1}$ jestliže $\alpha \leq 0,5$: $c/t \leq \frac{41,5 \varepsilon}{\alpha}$			
3							
				jestliže $\psi > -1$: $c/t \leq \frac{42 \varepsilon}{0,67 + 0,33 \psi}$ jestliže $\psi \leq -1$: $c/t \leq 62 \varepsilon (1-\psi) \sqrt{(-\psi)}$			
$\varepsilon = \sqrt{235 / f_y}$	f_y	235	275	355	420	460	
	ε	1,00	0,92	0,81	0,75	0,71	

$\psi \leq -1$ platí pro napětí v tlaku $\sigma \leq f_y$, nebo pro poměrné přetvoření $\varepsilon_y > f_y / E$

Tabulka 5.2 (list 2 ze 3) - Největší poměry šířky a tloušťky tlačných částí

Přečnickující části pásnic						
Válcované průřezy			Svařované průřezy			
Třída průřezu	Tlačná část		Tlačená a ohýbaná část			
			Tlačný konec		Tažený konec	
Rozdělení napětí v částech (tlak má znaménko +)						
1	$c/t \leq 9\varepsilon$		$c/t \leq \frac{9\varepsilon}{a}$		$c/t \leq \frac{9\varepsilon}{a\sqrt{a}}$	
2	$c/t \leq 10\varepsilon$		$c/t \leq \frac{10\varepsilon}{a}$		$c/t \leq \frac{10\varepsilon}{a\sqrt{a}}$	
Rozdělení napětí v částech (tlak má znaménko +)						
3	$c/t \leq 14\varepsilon$		$c/t \leq 21\varepsilon\sqrt{K_\sigma}$ K_σ se určí podle EN 1993-1-5			
$\varepsilon = \sqrt{235 / f_y}$	f_y	235	275	355	420	460
	ε	1,00	0,92	0,81	0,75	0,71

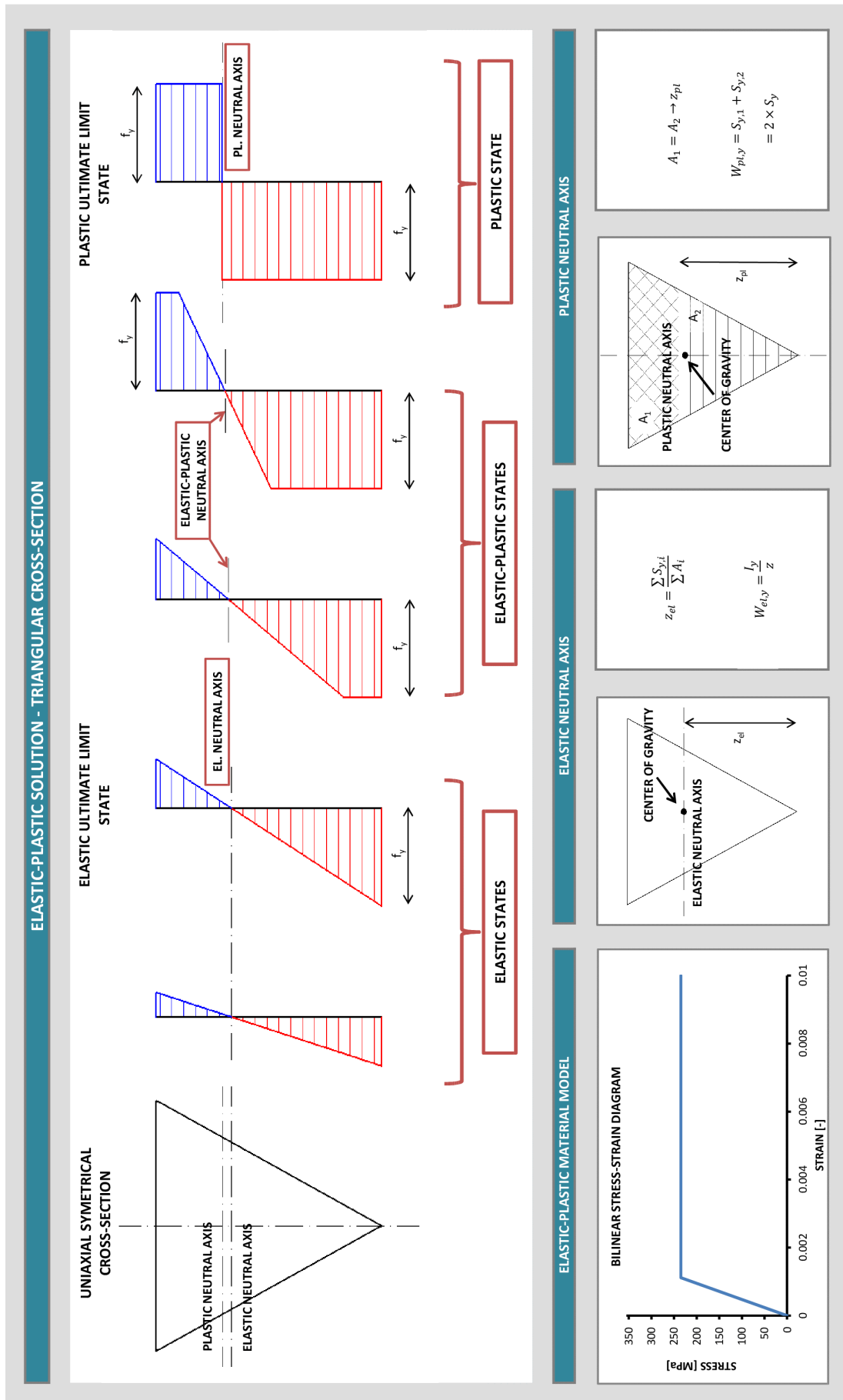
Tabulka 5.2 (list 3 ze 3) - Největší poměry šířky a tloušťky tlačných částí

Úhelníky						
Viz. také Přečnickující části pásnic (list 2 ze 3)						
	Nepoužívá se pro úhelníky spojitě spojené s jinými prvky					
Třída průřezu	Tlačný průřez					
Rozdělení napětí v částech (tlak má znaménko +)						
3	$h/t \leq 15\varepsilon : \frac{b+h}{2t} \leq 11,5\varepsilon$					
Trubky						
						
Třída průřezu	Ohýbaný a/nebo tlačný průřez					
1	$d/t \leq 50\varepsilon^2$					
2	$d/t \leq 70\varepsilon^2$					
3	$d/t \leq 90\varepsilon^2$					
	POZNÁMKA Pro $d/t > 90\varepsilon^2$ viz. EN 1993-1-6					
$\varepsilon = \sqrt{235 / f_y}$	f_y	235	275	355	420	460
	ε	1,00	0,92	0,81	0,75	0,71
	ε^2	1,00	0,85	0,66	0,56	0,51

Definice tříd průřezu:

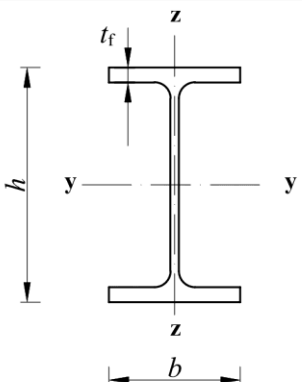
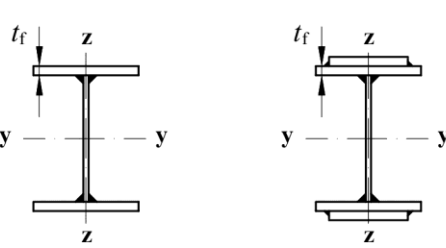
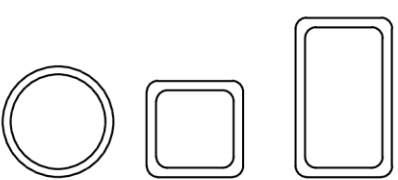
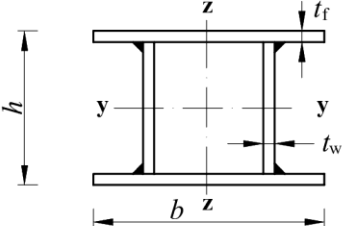
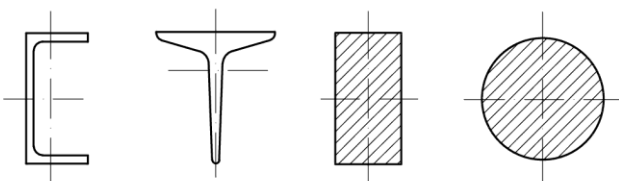
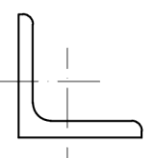
- třída průřezu 1 – umožňuje vytvořit plastické klouby s rotační kapacitou požadovanou při plasticitním výpočtu, bez redukce jejich únosnosti
- třída průřezu 2 – umožňuje vytvořit plastický moment únosnosti, ale je omezena jejich rotační kapacita v důsledku lokálního boulení
- třída průřezu 3 – za předpokladu pružnostního rozdělení může napětí v krajních tlačných vláknech ocelového prutu dosáhnout meze kluzu, ale v důsledku lokálního boulení není možné dosáhnout plastický moment únosnosti
- třída průřezu 4 – v důsledku lokálního boulení není možné dosáhnout meze kluzu v jedné nebo více částech průřezu

PLASTICKÉ PŮSOBNÍ



VZPĚR

Tabulka 6.2 - Přiřazení křivek vzpěrné pevnosti k průřezům

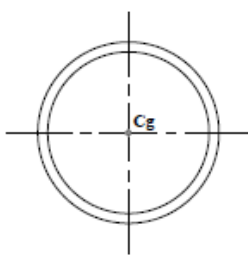
Průřez	Meze	Vybočení kolmo k ose	Křivka vzpěrné pevnosti		
			S235 S275 S355 S420	S460	
Válcované průřezy 	$h/b > 1,2$	Y-Y Z-Z	$t_f \leq 40$ mm	a b	a ₀ a ₀
			$40 \text{ mm} \leq t_f \leq 100$ mm	b c	a a
	$h/b \leq 1,2$	Y-Y Z-Z	$t_f \leq 100$ mm	b c	a a
			$t_f > 100$ mm	d d	c c
Svařované průřezy 	$t_f \leq 40$ mm	Y-Y Z-Z	b c	b c	
	$t_f > 40$ mm	Y-Y Z-Z	c d	c d	
Duté průřezy 	válcované za tepla	všechny	a	a ₀	
	tvarované za studena	všechny	c	c	
Svařované duté průřezy 	všechny průřezy kromě níže uvedených výjimek	všechny	b	b	
	tlusté svary: $a > 0,5 t_f$ $b/t_f < 30$ $h/t_w < 30$	všechny	c	c	
U, T a plné průřezy 	všechny	všechny	c	c	
Úhelníky 	všechny	všechny	b	b	

Pro vzpěr zkroucením nebo prostorový vzpěr lze příslušnou křivku vzpěrné pevnosti stanovit z tabulky 6.2 pro osu z-z.

TVARY VYBOČENÍ PŘI VZPĚRU DLE TVARU PRŮŘEZU

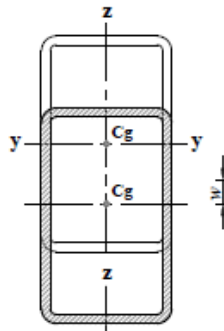
Uzavřené průřezy

Kruhová trubka

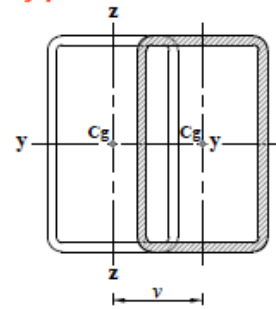


$$N_{cr} = \pi^2 \frac{EI}{L^2}$$

Dvouose symetrický průřez



$$N_{cr,y} = \pi^2 \frac{EI_y}{L_{cr,y}^2}$$

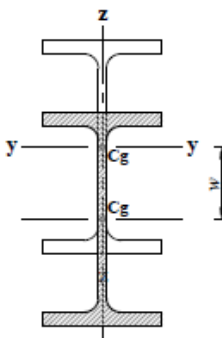


$$N_{cr,z} = \pi^2 \frac{EI_z}{L_{cr,z}^2}$$

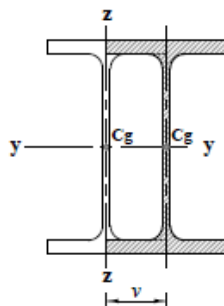
Otevřené průřezy

Dvouose symetrický průřez

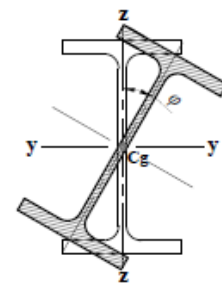
Rovinný vzpěr



$$N_{cr,y} = \pi^2 \frac{EI_y}{L_{cr,y}^2}$$



$$N_{cr,z} = \pi^2 \frac{EI_z}{L_{cr,z}^2}$$

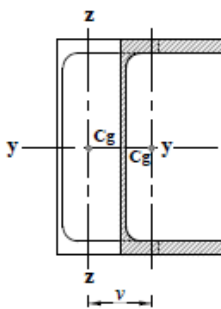


Vzpěr zkroucením

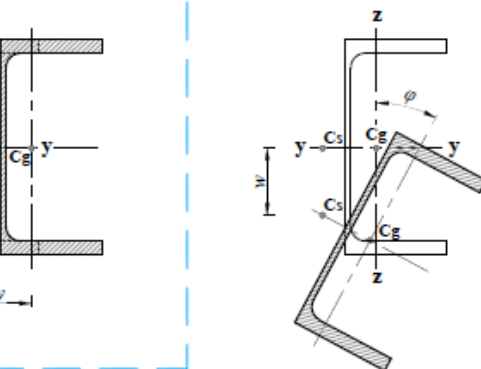
$$N_{cr,\omega} = \frac{1}{i_0^2} \left(G I_t + \pi^2 \frac{EI_\omega}{L_{cr,\omega}^2} \right)$$

Jednoose symetrický průřez

Rovinný vzpěr



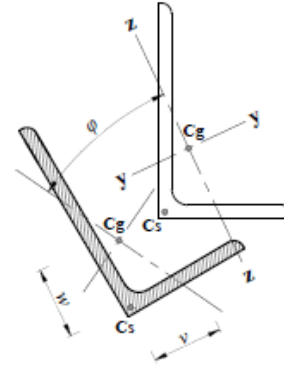
$$N_{cr,z} = \pi^2 \frac{EI_z}{L_{cr,z}^2}$$



$$N_{cr,y\omega} = \frac{N_{cr,y}}{2\beta} \left[1 + \frac{N_{cr,\omega}}{N_{cr,y}} - \sqrt{\left(1 - \frac{N_{cr,\omega}}{N_{cr,y}} \right)^2 + 4 \left(\frac{y_0}{i_0} \right)^2 \frac{N_{cr,\omega}}{N_{cr,y}}} \right]$$

Uvedený vztah platí, je-li osou symetrie osa y

Asymetrický průřez



$$N_{cr,yz\omega}$$

Vztah pro výpočet kritické síly lze najít v literatuře, např. V. Březina: *Vzpěrná únosnost kovových prutů a nosníků*.

Prostorový vzpěr

KROUCENÍ

Prut se na účinky kroucení posoudí na úrovni napětí. Vnitřní síly je možné určit:

- modifikovanou analogií ohybu a kroucení (národní příloha ČSN EN 1993-1-1)
- řešením diferenciálních rovnic (V. Z. Vlasov)

Rozlišují se typy kroucení (dle tvaru průřezu a okrajových podmínek):

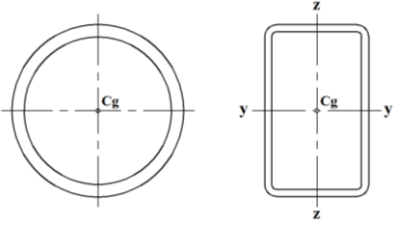
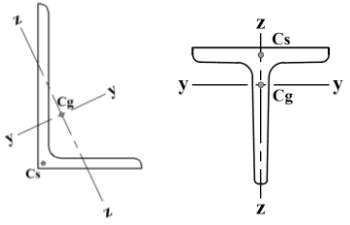
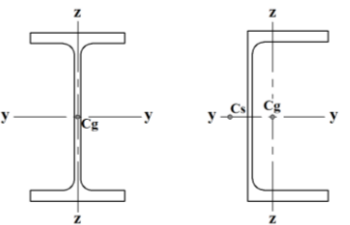

- Prosté (též volné, čisté, St. Venantovo)
- Vázané

Vázané kroucení je vždy současně s prostým kroucením => hovoříme o složeném kroucení

Moment vnějšího kroucení (krouticí moment) = moment prostého kroucení + moment vázaného kroucení

$$T = T_t + T_\omega$$

Vnitřní síla	Složka napětí
T_t moment prostého kroucení	$\rightarrow \tau_t$ smykové napětí od prostého kroucení
T_ω moment vázaného kroucení	$\rightarrow \tau_\omega$ druhotné smykové napětí od vázaného kroucení
B bimoment	$\rightarrow \sigma_\omega$ normálové výšečové napětí od vázaného kroucení

Uzavřené pr.			Prosté kroucení: $\tau_t = \frac{T_t}{\Omega \cdot t}$
	Svazkové (nedeplanující) 		Prosté kroucení: $\tau_t = \frac{T_t}{I_t} \cdot t$
Otevřené průřezy	Ostatní (deplanující) 	deplanaci není bráněno + zatížení krouticími momenty na koncích průřezu 	Prosté kroucení: $\tau_t = \frac{T_t}{I_t} \cdot t$
		deplanaci není bráněno + jiné zatížení	Složené kroucení = prosté kroucení + vázané kroucení $\tau_t = \frac{T_t}{I_t} \cdot t$ $\tau_\omega = \frac{T_\omega \cdot S_\omega}{t \cdot I_\omega}$
		deplanaci je bráněno + jakékoli zatížení	$\sigma_\omega = \frac{B \cdot \omega}{I_\omega}$

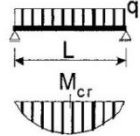
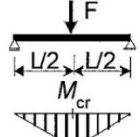
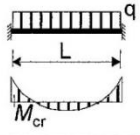
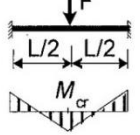
Tabulka NB.2.1 – Koeficienty α a β pro typ zatížení a okrajové podmínky

Okrajové podmínky při kroucení		Krutící zatížení		α	β
Oboustranné podepření nosníku	prosté podepření (volná deplanace)	plně rovnoměrné		3,1	1,00
		obecné		3,7	1,08
	vetknutí (deplanaci je zabráněno)	plně rovnoměrné	pro vnitřní síly v podpoře	8,0	1,25
			pro maximum v poli	5,6	1,00
		obecné		6,9	1,14
Konzola	vetknutí	obecné – pro vnitřní síly v podpoře		2,7	1,11

KLOPENÍ**Tabulka 6.4 – Doporučené přiřazení křivek klopení k průřezům při použití výrazu (6.56)**

Průřez	Meze	Křivka klopení
Válcované I průřezy	$h/b \leq 2$	a
	$h/b > 2$	b
Svařované I průřezy	$h/b \leq 2$	c
	$h/b > 2$	d
Jiné průřezy	-	d

Tabulka NB.3.2 – Hodnoty součinitelů C_1 , C_2 a C_3 pro různé případy příčného zatížení v závislosti na hodnotě součinitelů k_y , k_z , k_w a součinitelů ψ_f a κ_{wt}

Zatížení a podmínky podepření	Součinitele vzpěrné délky			Hodnoty součinitelů							
	k_y	k_z	k_w	C_1 ¹⁾		C_2			C_3		
				$C_{1,0}$	$C_{1,1}$	\perp $\psi_f = -1$	I I I I $-0,9 \leq \psi_f \leq 0, \psi_f = 1$	T $\psi_f = 1$	\perp $\psi_f = -1$	I I I I $-0,9 \leq \psi_f \leq 0$	T $\psi_f = 1$
	1	1	1	1,13	1,13	0,33	0,46	0,50	0,93	0,53	0,38
	1	1	0,5	1,13	1,23	0,33	0,39	0,50	0,93	0,81	0,38
	1	0,5	1	0,95	1,00	0,25	0,41	0,40	0,84	0,48	0,44
	1	0,5	0,5	0,95	0,97	0,25	0,31	0,40	0,84	0,67	0,44
	1	1	1	1,35	1,36	0,52	0,55	0,42	1,00	0,41	0,31
	1	1	0,5	1,35	1,45	0,52	0,58	0,42	1,00	0,67	0,31
	1	0,5	1	1,03	1,09	0,40	0,45	0,42	0,80	0,34	0,31
	1	0,5	0,5	1,03	1,07	0,40	0,44	0,42	0,80	0,52	0,31
	0,5	1	1	2,58	2,61	1,00	1,56	0,15	1,00	-0,86	-1,99
	0,5	0,5	1	1,49	1,52	0,56	0,90	0,08	0,61	-0,52	-1,20
	0,5	0,5	0,5	1,49	1,75	0,56	0,83	0,08	0,61	0,00	-1,20
	0,5	1	1	1,68	1,73	1,20	1,39	0,07	1,15	-0,72	-1,35
	0,5	0,5	1	0,94	0,96	0,69	0,76	0,03	0,64	-0,41	-0,76
	0,5	0,5	0,5	0,94	1,06	0,69	0,84	0,03	0,64	-0,07	-0,76

POZNÁMKY:

- $C_1 = C_{1,0} + (C_{1,1} - C_{1,0}) \kappa_{wt} \leq C_{1,1}$, ($C_1 = C_{1,0}$ pro $\kappa_{wt} = 0$, $C_1 = C_{1,1}$ pro $\kappa_{wt} \geq 1$).
- Parametr ψ_f se vztahuje ke středu rozpětí.
- Hodnoty kritického momentu M_{cr} se vztahují k průřezu, kde působí M_{max} .

Tabulka NB.3.1 – Hodnoty součinitelů C_1 a C_3 při zatížení prutu koncovými momenty v závislosti na hodnotě součinitele k_z a součinitelů ψ_f a κ_{wt}

 Součinitel uložení konců prutu v rovině ohybu $k_y = 1,0$, v kroucení $k_w = 1,0$

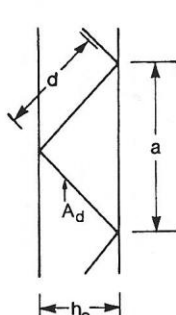
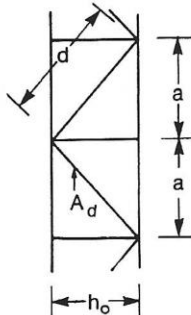
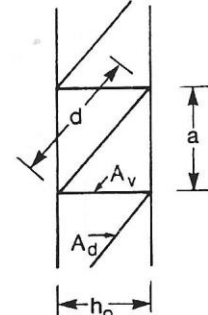
Tvar momentového obrazce Poměr koncových momentů ψ	k_z ²⁾	Hodnoty součinitelů					
		C_1 ¹⁾		C_3			
		$C_{1,0}$	$C_{1,1}$	$\psi_f = -1$ 	$-0,9 \leq \psi_f \leq 0$ 	$0 \leq \psi_f \leq 0,9$ 	$\psi_f = 1$
M_{cr} $\psi = +1$ 	1,0	1,00	1,00	1,00			
	0,7L	1,02	1,10	1,02		1,00	
	0,7R	1,02	1,10	1,02		1,00	
	0,5	1,00	1,13	1,02			
M_{cr} $\psi = +3/4$ 	1,0	1,14	1,14	1,00			
	0,7L	1,21	1,31	1,05		1,00	
	0,7R	1,11	1,20	1,00			
	0,5	1,14	1,29	1,02			
M_{cr} $\psi = +1/2$ 	1,0	1,31	1,32	1,15	1,00		
	0,7L	1,48	1,62	1,16		1,00	
	0,7R	1,21	1,32	1,00			
	0,5	1,31	1,48	1,15	1,00		
M_{cr} $\psi = +1/4$ 	1,0	1,52	1,55	1,29	1,00		
	0,7L	1,85	2,06	1,60	1,26	1,00	
	0,7R	1,33	1,47	1,00			
	0,5	1,52	1,73	1,35	1,00		
M_{cr} $\psi = 0$ 	1,0	1,77	1,85	1,47	1,00		
	0,7L	2,33	2,68	2,00	1,42	1,00	
	0,7R	1,45	1,59	1,00			
	0,5	1,75	2,03	1,50	1,00		
M_{cr} $\psi = -1/4$ 	1,0	2,05	2,21	1,65	1,00	0,85	
	0,7L	2,83	3,32	2,40	1,55	0,85	-0,30
	0,7R	1,58	1,75	1,38	0,85	0,70	0,20
	0,5	2,00	2,34	1,75	1,00	0,65	-0,25
M_{cr} $\psi = -1/2$ 	1,0	2,33	2,59	1,85	1,00	$1,3 - 1,2 \psi_f$	-0,70
	0,7L	3,08	3,40	2,70	1,45	$1,0 - 1,2 \psi_f$	-1,15
	0,7R	1,71	1,90	1,45	0,78	$0,9 - 0,75 \psi_f$	-0,53
	0,5	2,23	2,58	2,00	0,95	$0,75 - \psi_f$	-0,85
M_{cr} $\psi = -3/4$ 	1,0	2,55	2,85	2,00	1,00	$0,55 - \psi_f$	-1,45
	0,7L	2,59	2,77	2,00	0,85	$0,23 - 0,9 \psi_f$	-1,55
	0,7R	1,83	2,03	1,55	0,70	$0,68 - \psi_f$	-1,07
	0,5	2,35	2,61	2,00	0,85	$0,35 - \psi_f$	-1,45
M_{cr} $\psi = -1$ 	1,0	2,56	2,73	2,00	ψ_f		-2,00
	0,7L	1,92	2,10	1,55	0,38	-0,58	-1,55
	0,7R	1,92	2,10	1,55	0,58	-0,38	-1,55
	0,5	2,22	2,39	1,88	$0,125 - 0,7 \psi_f$	$-0,125 - 0,7 \psi_f$	ψ_f

POZNÁMKY:
¹⁾ $C_1 = C_{1,0} + (C_{1,1} - C_{1,0}) \kappa_{wt} \leq C_{1,1}$, ($C_1 = C_{1,0}$ pro $\kappa_{wt} = 0$, $C_1 = C_{1,1}$ pro $\kappa_{wt} \geq 1$).
²⁾ 0,7 L = vetknutý levý konec, 0,7 R = vetknutý pravý konec.

ČLENĚNÉ TLAČENÉ PRUTY STÁLÉHO PRŮŘEZU

- Členěné tlačené pruty s příhradovými spojkami

Smyková tuhost se stanoví podle uspořádání příhradových spojek podle Obr. 6.9

Systém			
S_v	$\frac{nEA_dah_0^2}{2d^3}$	$\frac{nEA_dah_0^2}{d^3}$	$\frac{nEA_dah_0^2}{d^3 \left[1 + \frac{A_d h_0^3}{A_v d^3} \right]}$
<p>n je počet rovin příhradového ztužení. A_d a A_v jsou průřezové plochy diagonál a svislic.</p>			

Obrázek 6.9 – Smyková tuhost příhradových spojek členěných prutů

Účinný moment setrvačnosti:

$$I_{\text{eff}} = 0,5 \cdot h_0^2 \cdot A_{\text{ch}}$$

- Členěné tlačené pruty s rámovými spojkami

Smyková tuhost:

$$S_v = \frac{24 \cdot EI_{\text{ch}}}{a^2 \left[1 + \frac{2 \cdot I_{\text{ch}} \cdot h_0}{n \cdot I_b \cdot a} \right]} \leq \frac{2\pi^2 EI_{\text{ch}}}{a^2}$$

Účinný moment setrvačnosti:

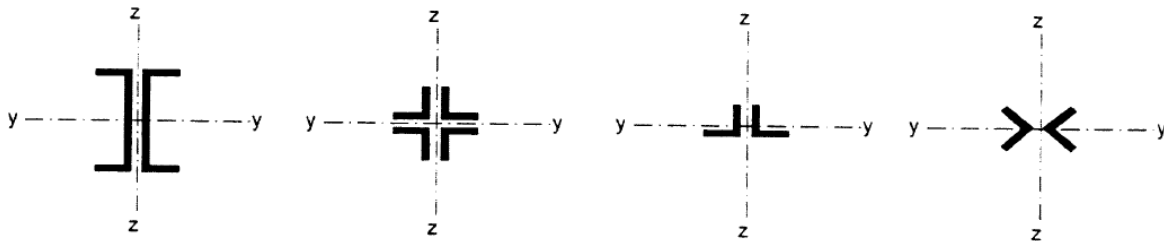
$$I_{\text{eff}} = 0,5 \cdot h_0^2 \cdot A_{\text{ch}} + 2\mu \cdot I_{\text{ch}}$$

kde μ je součinitel účinnosti podle Tab. 6.8

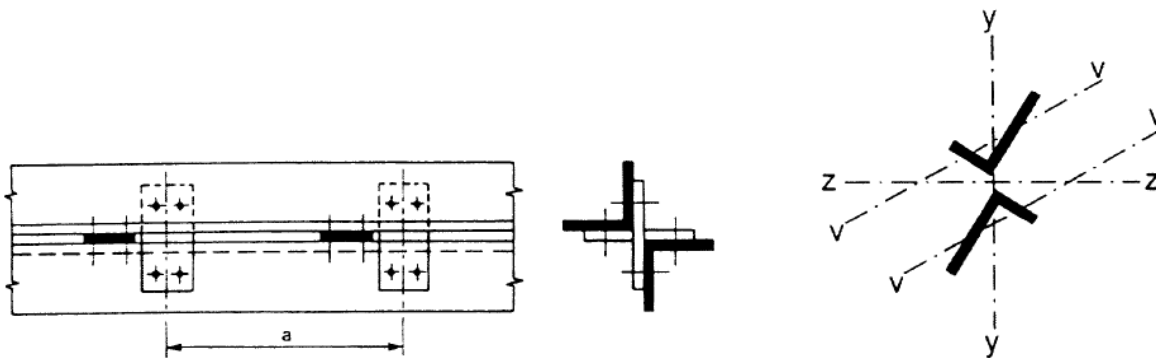
Tabulka 6.8 – Součinitel účinnosti μ

Podmínka	Součinitel účinnosti μ
$\lambda \geq 150$	0
$75 < \lambda < 150$	$\mu = 2 - \frac{\lambda}{75}$
$\lambda \leq 75$	1,0
kde $\lambda = \frac{L}{i_0}$; $i_0 = \sqrt{\frac{I_1}{2A_{\text{ch}}}}$; $I_1 = 0,5h_0^2 \cdot A_{\text{ch}} + 2I_{\text{ch}}$	

SLOŽENÉ A KŘÍŽOVÉ ČLENĚNÉ PRUTY



Obrázek 6.12 – Složené členěné pruty



Obrázek 6.13 – Křížové členěné pruty z úhelníků

Složené a křížové členěné pruty se mají posuzovat na vzpěr jako jeden celistvý prut se zanedbáním vlivu smykové tuhosti ($S_v = \infty$), jestliže jsou splněny podmínky v tabulce 6.9.

Tabulka 6.9 – Největší rozteče spojek ve složených členěných prutech nebo v křížových členěných prutech z úhelníků

Typ členěného prutu	Největší rozteč mezi spojkami *)
Pruty podle obrázku 6.12, spojené šrouby nebo svary	$15 i_{\min}$
Pruty podle obrázku 6.13, spojené šrouby nebo svary	$70 i_{\min}$
*) vzdálenost těžišť spojek I _{min} je nejmenší poloměr setrvačnosti jednoho pásu nebo jednoho úhelníku.	

INTERAKCE OHYBU A OSOVÉHO TLAKU

ČSN EN 1993-1-1 ed. 2

Příloha B (informativní)

Metoda 2: Interakční součinitele k_{ij} pro vztah v 6.3.3(4)

Tabulka B.1 – Interakční součinitele k_{ij} pro pruty, které nejsou náchylné ke zkroucení



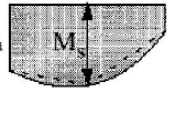
Interakční součinitele	Typ průřezu	Předpoklady navrhování	
		Pružnostní návrh – průřezy třídy 3 a 4	Plasticitní návrh – průřezy třídy 1 a 2
k_{yy}	I průřezy, pravouhlé duté průřezy	$C_{my} \left(1 + 0,6 \bar{\lambda}_y \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$ $\leq C_{my} \left(1 + 0,6 \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$	$C_{my} \left(1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$ $\leq C_{my} \left(1 + 0,8 \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$
k_{yz}	I průřezy, pravouhlé duté průřezy	k_{zz}	$0,6 k_{zz}$
k_{zy}	I průřezy, pravouhlé duté průřezy	$0,8 k_{yy}$	$0,6 k_{yy}$
k_{zz}	I průřezy	$C_{mz} \left(1 + 0,6 \bar{\lambda}_z \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$ $\leq C_{mz} \left(1 + 0,6 \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$	$C_{mz} \left(1 + (2\bar{\lambda}_z - 0,6) \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$ $\leq C_{mz} \left(1 + 1,4 \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$
	pravouhlé duté průřezy		$C_{mz} \left(1 + (\bar{\lambda}_z - 0,2) \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$ $\leq C_{mz} \left(1 + 0,8 \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$

Pro I a H-průřezy a pro pravouhlé duté průřezy namáhané osovým tlakem a rovinným ohybem $M_{y,Ed}$ může být $k_{zy} = 0$.

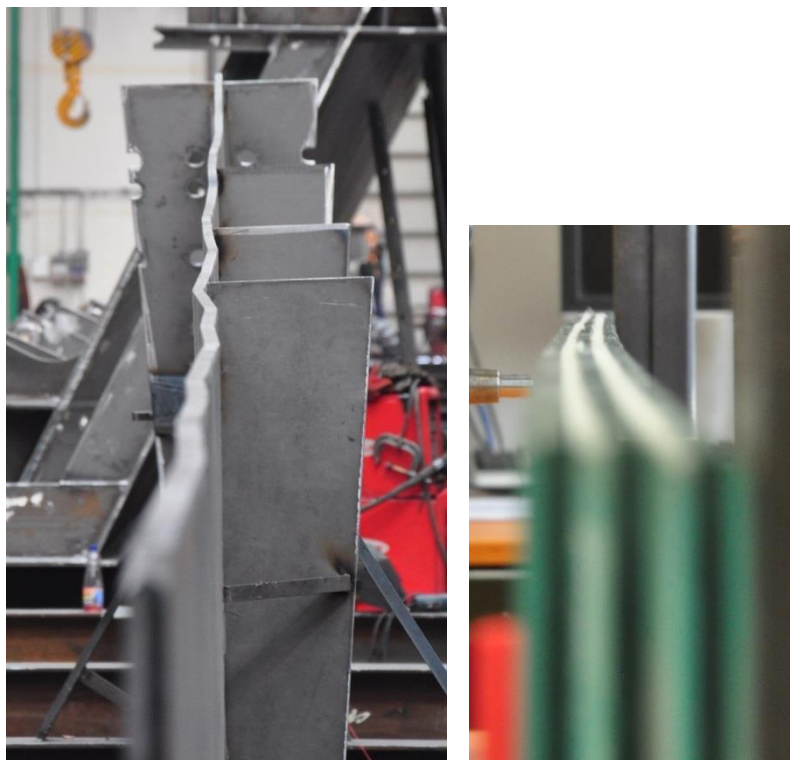
Tabulka B.2 – Interakční součinitele k_{ij} pro pruty, které jsou náchylné ke zkroucení

Interakční součinitele	Předpoklady navrhování	
	Pružnostní návrh – průřezy třídy 3 a 4	Plasticitní návrh – průřezy třídy 1 a 2
k_{yy}	k_{yy} z tabulky B.1	k_{yy} z tabulky B.1
k_{yz}	k_{yz} z tabulky B.1	k_{yz} z tabulky B.1
k_{zy}	$\left[1 - \frac{0,05 \bar{\lambda}_z}{(C_{mLT} - 0,25) \chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right]$ $\geq \left[1 - \frac{0,05}{(C_{mLT} - 0,25) \chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right]$	$\left[1 - \frac{0,1 \bar{\lambda}_z}{(C_{mLT} - 0,25) \chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right]$ $\geq \left[1 - \frac{0,1}{(C_{mLT} - 0,25) \chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right]$ <p>pro $\bar{\lambda}_z < 0,4$:</p> $k_{zy} = 0,6 + \bar{\lambda}_z \leq 1 - \frac{0,1 \bar{\lambda}_z}{(C_{mLT} - 0,25) \chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}}$
k_{zz}	k_{zz} z tabulky B.1	k_{zz} z tabulky B.1

Tabulka B.3 – Součinitele C_m ekvivalentního konstantního momentu v tabulkách B.1 a B.2

Průběh momentu	Rozsah		C_{my} a C_{mz} a C_{mLT}	
			rovnoměrné zatížení	soustředěné zatížení
 ψM	$-1 \leq \psi \leq 1$		$0,6 + 0,4\psi \geq 0,4$	
 ψM_h $\alpha_s = M_s/M_h$	$0 \leq \alpha_s \leq 1$	$-1 \leq \psi \leq 1$	$0,2 + 0,8\alpha_s \geq 0,4$	$0,2 + 0,8\alpha_s \geq 0,4$
	$-1 \leq \alpha_s < 0$	$0 \leq \psi \leq 1$	$0,1 - 0,8\alpha_s \geq 0,4$	$-0,8\alpha_s \geq 0,4$
		$-1 \leq \psi < 0$	$0,1(1 - \psi) - 0,8\alpha_s \geq 0,4$	$0,2(-\psi) - 0,8\alpha_s \geq 0,4$
 ψM_h $\alpha_h = M_h/M_s$	$0 \leq \alpha_h \leq 1$	$-1 \leq \psi \leq 1$	$0,95 + 0,05\alpha_h$	$0,90 + 0,10\alpha_h$
	$-1 \leq \alpha_h < 0$	$0 \leq \psi \leq 1$	$0,95 + 0,05\alpha_h$	$0,90 + 0,10\alpha_h$
		$-1 \leq \psi < 0$	$0,95 + 0,05\alpha_h(1+2\psi)$	$0,90 + 0,10\alpha_h(1+2\psi)^{NP}$
Součinitel ekvivalentního konstantního momentu při vybočení s posuvem styčniců se má uvažovat $C_{my} = 0,9$ nebo $C_{mz} = 0,9$.				
C_{my} , C_{mz} a C_{mLT} se mají stanovovat v závislosti na průběhu momentu mezi příslušnými body podepření následovně:				
Součinitel:	osa ohybu:	body podepřené ve směru:		
C_{my}	y-y	z-z		
C_{mz}	z-z	y-y		
C_{mLT}	y-y	y-y		

Obr. Geometrická imperfekce štíhlé ocelové stojiny a skleněného prutu



© Ondřej Pešek, Ústav kovových a dřevěných konstrukcí, Fakulta stavební, VUT v Brně