

B0002

PRVKY KOVOVÝCH KONSTRUKCÍ

PODKLADY DO CVIČENÍ

VYPRACOVAL: Ing. MARTIN HORÁČEK, Ph.D.

AKADEMICKÝ ROK: 2019/2020 rev.3

Obsah

1	Technické normy	- 3 -
2	Navrhování podle mezních stavů	- 3 -
3	Materiálové vlastnosti oceli	- 3 -
4	Šroubové spoje	- 4 -
4.1	Metrické šrouby	- 4 -
4.2	Typy šroubů	- 4 -
4.3	Typy matic	- 5 -
4.4	Typy podložek	- 5 -
4.5	Pevnostní třídy	- 5 -
4.6	Otvory pro šrouby	- 6 -
4.7	Základní případy namáhání obyčejných šroubových spojů	- 6 -
4.8	Páčení šroubů	- 8 -
4.9	Třecí spoje s vysokopevnostními šrouby	- 8 -
5	Svařované spoje	- 9 -
5.1	Princip svařování	- 9 -
5.2	Tavné svařování	- 9 -
5.3	Odporové svařování	- 11 -
5.4	Tupé svary	- 12 -
5.5	Koutové svary	- 12 -
5.6	Porovnání způsobu posouzení koutových a tupých svarů	- 13 -
6	Základní případy namáhání	- 15 -
6.1	Klasifikace průřezů	- 15 -
6.2	Prvky namáhané osovým tahem	- 17 -
6.3	Prvky namáhané osovým tlakem	- 17 -
6.4	Prvky namáhané ohybem	- 18 -
6.5	Prvky namáhané smykem	- 18 -
6.6	Prvky namáhané kroucením	- 19 -
6.7	Kombinace ohybu a smyku	- 21 -
6.8	Kombinace ohybu a osové síly	- 21 -
7	Vzpěr celistvých prutů	- 22 -
8	Vzpěr členěných prutů	- 26 -
8.1	Vybočení v rovině kolmé na hmotnou osu y	- 26 -
8.2	Vybočení v rovině kolmé na nehmotnou osu z	- 27 -
8.3	Složené a křížové členěné pruty	- 28 -
9	Klopení nosníků	- 29 -
	Použitá literatura	- 32 -

1 Technické normy

ČSN 73 14 01 Navrhování ocelových konstrukcí (původní již neplatná norma nahrazená EC)

ČSN EN 1993 Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí

1993 - 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby

1-3: Obecná pravidla – Doplnující pravidla pro tenkostěnné za studena tvarované prvky a plošné profily

1-5: Boulení stěn

1-8: Navrhování styčníků

1993-2: Ocelové mosty

1993-3: Věže, stožáry a komíny

2 Navrhování podle mezních stavů

Posouzení konstrukcí dle evropských norem je založeno na metodě mezních stavů. Jedná se o koncepci posuzování spolehlivosti konstrukcí založenou na pravděpodobnostním přístupu. V praxi se při navrhování podle mezních stavů používá metoda dílčích součinitelů. Konstrukce je z daného hlediska spolehlivá, jestliže je splněna následující podmínka:

$$E_d = E_k \cdot \gamma_F \leq R_d = \frac{R_k}{\gamma_M}$$

kde E_k je charakteristická hodnota účinků zatížení,

R_k je charakteristická hodnota odolnosti konstrukce,

γ_F je dílčí součinitel zatížení vyjadřující rozptyl účinků zatížení,

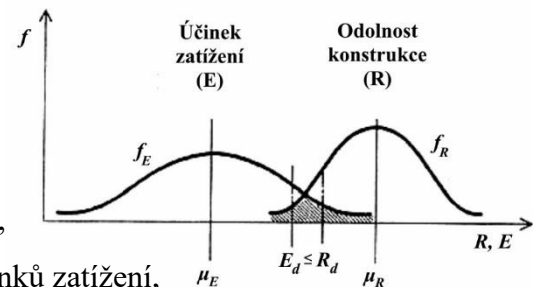
γ_m je **dílčí součinitel spolehlivosti materiálu** vyjadřující rozptyl odolnosti konstrukce:

$\gamma_{M0} = 1,00$ pro základní případy namáhání (tah, prostý tlak, ohyb, smyk, kroucení)

$\gamma_{M1} = 1,00$ pro stabilitní problémy (vzpěr tlačných prutů, klopení ohýbaných prutů)

(hodnota $\gamma_{M1} = 1,00$ platí pro pozemní stavby, pro mosty platí $\gamma_{M1} = 1,10$)

$\gamma_{M2} = 1,25$ pro spoje (šroubové, svařované, čepové, nýtované)



3 Materiálové vlastnosti oceli

Hustota $\rho = 7850 \text{ kg/m}^3$

Modul pružnosti $E = 210\,000 \text{ MPa}$

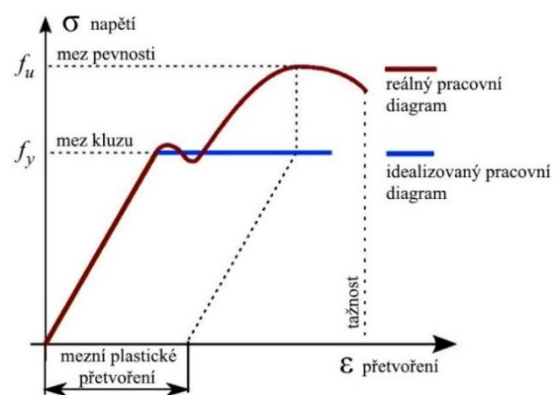
Modul pružnosti ve smyku $G = 81\,000 \text{ MPa}$

Součinitel teplotní roztažnosti $\alpha = 1,2 \cdot 10^{-5} \text{ K}^{-1}$

Poissonův součinitel $\nu = 0,3$

Mez kluzu f_y (hodnoty viz tabulka)

Mez pevnosti v tahu f_u (hodnoty viz tabulka)

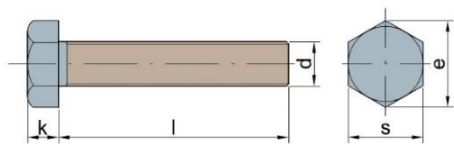
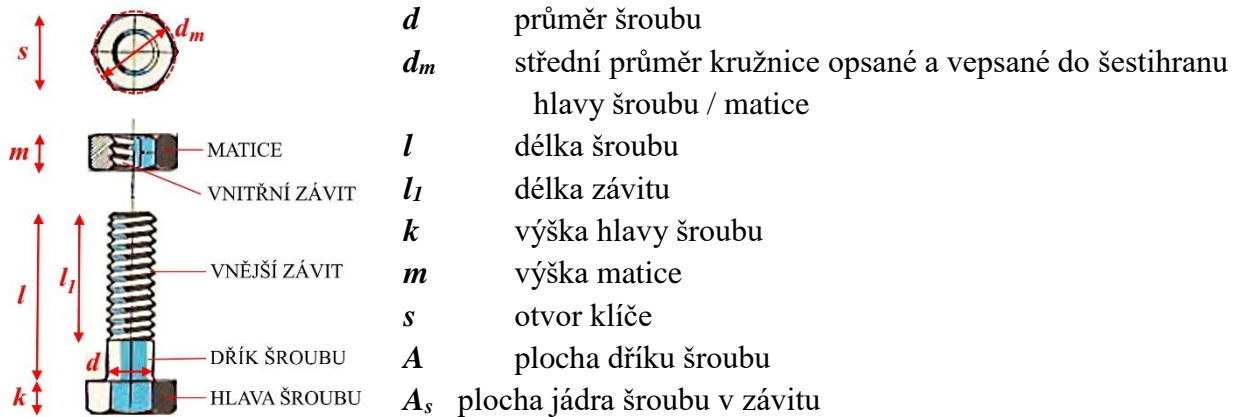


pevnostní třída oceli	S235	S275	S355	S420	S460
mez kluzu f_y [MPa]	235	275	355	420	460
mez pevnosti v tahu f_u [MPa]	360	430	490 ^{*)}	520	540

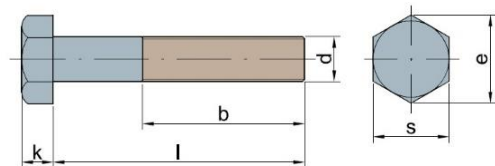
*) Oprava 1 normy ČSN EN 1993-1-1 uvádí u oceli S355 změnu meze pevnosti f_u z 510 na 490 MPa

4 Šroubové spoje

4.1 Metrické šrouby



Šroub s plným závitem



Šroub s částečným závitem

	M8	M10	M12	M16	M20	M24	M27	M30	M36
d [mm]	8	10	12	16	20	24	27	30	36
d_m [mm]	14	18.3	20.5	25.9	32.3	38.8	44.2	49.6	56
A [mm ²]	50	79	113	201	314	452	572	707	1017
A_s [mm ²]	37	58	84	157	245	353	459	561	817

Pro nosné spoje používat šrouby M16 a větší

4.2 Typy šroubů

Přehled vybraných typů šroubů podle normy DIN [4].

<p>Šrouby se šestihrannou hlavou (DIN 933)</p> 	<p>Šrouby s válcovou hlavou a vnitřním šestihranem (DIN 912)</p> 	<p>Šrouby se zápustnou hlavou s vnitřním šestihranem (DIN 7991)</p> 
<p>Šrouby s půlkulatou hlavou s vnitřním šestihranem (DIN 963)</p> 	<p>Šrouby s velkou zaoblenou hlavou a čtyřhranem (DIN 603)</p> 	<p>Šrouby s šestihrannou hlavou a límcem (DIN 6921)</p> 






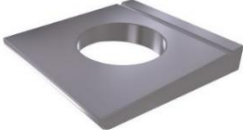
4.3 Typy matic

Přehled vybraných typů matic podle normy DIN [4].

<p>Matice šestihranná (DIN 934)</p> 	<p>Matice samojistná šestihranná (DIN 982)</p> 	<p>Matice šestihranná s nákrůžkem (DIN 6923)</p> 
<p>Matice uzavřená nízká (DIN 917)</p> 	<p>Matice uzavřená vysoká (DIN 1587)</p> 	<p>Matice korunová (DIN 935)</p> 

4.4 Typy podložek

Přehled vybraných typů podložek podle normy DIN [4].

<p>Podložka pro šrouby se šestihrannou hlavou (DIN 125)</p> 	<p>Pružná podložka s obdélníkovým průřezem (DIN 127)</p> 	<p>Vydutá podložka (DIN 6798)</p> 
<p>Vějířová podložka (DIN 6798)</p> 	<p>Klobouková podložka (DIN 6319)</p> 	<p>Podložka klínová pro ocelové profily I (DIN 435)</p> 

4.5 Pevnostní třídy

Pevnostní třídy šroubů se značí dvojicí čísel oddělených tečkou:

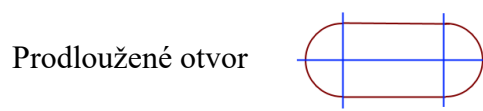
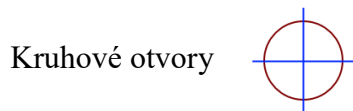
8.8 \rightarrow setina meze pevnosti šroubu v tahu f_{ub} v MPa
 \rightarrow desetinný poměr meze kluzu šroubu f_{yb} vůči mezi pevnosti šroubu v tahu f_{ub}

Např. pro pevnostní třídu oceli 8.8 platí: $f_{ub} = 8 \cdot 100 = 800 \text{ MPa}$ $f_{yb} = 800 \cdot 0,8 = 640 \text{ MPa}$

pevnostní třída	4.6	4.8	5.6	5.8	6.8	8.8	10.9
mez kluzu f_{yb} [MPa]	240	320	300	400	480	640	900
mez pevnosti v tahu f_{ub} [MPa]	400	400	500	500	600	800	1000

Vysokopevnostní šrouby pro třecí spoje

4.6 Otvory pro šrouby

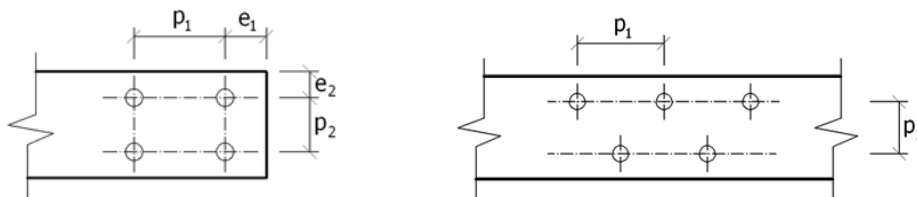


4.6.1 Jmenovité vůle v otvorech

- spoje přesné - průměr otvoru d_o = průměr dřívku d
- spoje hrubé - $d_o > d$

$M12, M14$	$d_o = d + 1mm$
$M16 - M24$	$d_o = d + 2mm$
$\geq M27$	$d_o = d + 3mm$

4.6.2 Rozteče otvorů



rozteče	minimální	doporučené	maximální
e_1	$1,2 d_o$	$2,0 d_o$	$4t + 40 \text{ mm}$
p_1	$2,2 d_o$	$3,5 d_o$	min ($14t; 200 \text{ mm}$)
e_2	$1,2 d_o$	$1,5 d_o$	$4t + 40 \text{ mm}$
p_2	$2,4 d_o$	$3,5 d_o$	min ($14t; 200 \text{ mm}$)

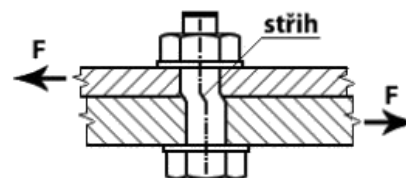
4.7 Základní případy namáhání obyčejných šroubových spojů

4.7.1 Návrhová únosnost ve stříhu

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

f_{ub} je mez pevnosti šroubu v tahu [MPa]

n je počet stříhových rovin



Rovina stříhu prochází závitem:

$A = A_s$ (plocha jádra šroubu)

$\alpha_v = 0,6$ pro třídy 4.6, 5.6, 8.8

$\alpha_v = 0,5$ pro třídy 4.8, 5.8, 6.8, 10.9

Rovina stříhu neprochází závitem:

$A = \frac{\pi \cdot d^2}{4}$ (průřezová plocha dřívku šroubu)

$\alpha_v = 0,6$ pro všechny pevnostní třídy

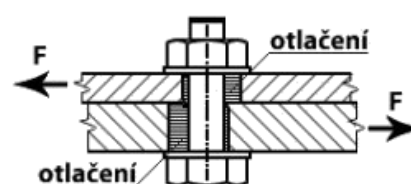
4.7.2 Návrhová únosnost v otláčení

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

f_u je mez pevnosti spojovaného prvku [MPa]

d je průměr dřívku šroubu [mm]

t je tloušťka otláčovaného prvku [mm]



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

$$\text{Krajní šrouby: } \alpha_d = e_1 / 3 \cdot d_0 \quad k_1 = \min(2,8 \cdot e_2 / d_0 - 1,7; 2,5)$$

$$\text{Vnitřní šrouby: } \alpha_d = p_1 / 3 \cdot d_0 - 1/4 \quad k_1 = \min(1,4 \cdot p_2 / d_0 - 1,7; 2,5)$$

Pozn.: Při splnění podmínek pro doporučené rozteče platí, že $k_1 = 2,5$.

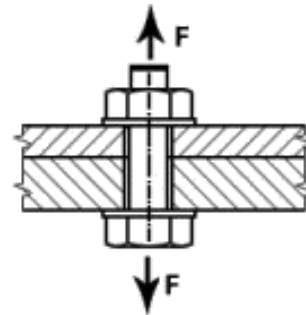
4.7.3 Návrhová únosnost v tahu

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

f_{ub} je mez pevnosti šroubu v tahu [MPa]

$k_2 = 0,63$ pro zapuštěné šrouby

0,90 pro ostatní šrouby



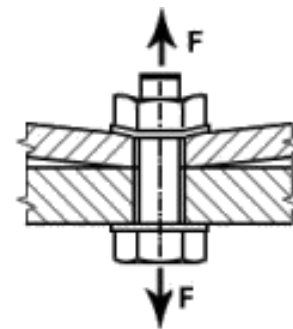
4.7.4 Návrhová únosnost v protlačení

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

f_u je mez pevnosti spojovaného prvku [MPa]

d_m je střední průměr kružnice opsané a vepsané do šestihranu hlavy šroubu / matice

t_p je minimální tloušťka spojovaného prvku



4.7.5 Kombinace stříhu a tahu

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

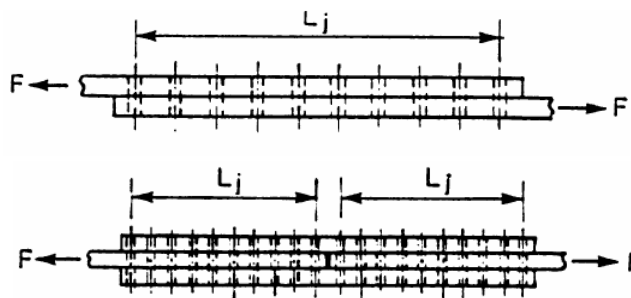
4.7.6 Redukce únosností

$0,8 \cdot F_{b,Rd}$ pro šrouby v nadměrných otvorech

$0,6 \cdot F_{b,Rd}$ pro šrouby v prodloužených otvorech, pokud síla působí kolmo na podélnou osu

$\beta_{Lf} \cdot F_{v,Rd}$ pro šrouby v dlouhých spojích (pokud $L_j \geq 15 \cdot d$)

$$\beta_{Lf} = 1 - \frac{L_j - 15 \cdot d}{200 \cdot d} \wedge 0,75 \leq \beta_{Lf} \leq 1,00$$



4.8 Páčení šroubů

Spojovací prvky, které přenášejí tahovou sílu, musí být dimenzované tak, aby přenesly i přídavné namáhání od páčení.

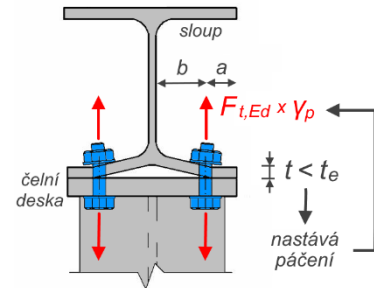
Eurokód řeší tuto problematiku pomocí **metody komponent**.

Původní norma ČSN 73 1401 uváděla zjednodušený postup:

pokud tloušťka desky $t < t_e = 4,3 \cdot \sqrt[3]{\frac{b \cdot d^2}{a}}$, nastává páčení a

návrhová tahová síla $F_{t,Ed}$ ve šroubu se zvyšuje součinitelem páčení γ_p .

$$\gamma_p = 1 + 0,005 \cdot \frac{t_e^3 - t^3}{d^2} \quad \text{Rozměry } a, b \text{ viz obrázek, } d \text{ je průměr dřívku (vše dosazovat v mm!)}$$



4.9 Třecí spoje s vysokopevnostními šrouby

4.9.1 Návrhová únosnost třecího spoje v prokluzu

$$F_{s,Rd} = \frac{k_s \cdot n \cdot \mu}{\gamma_{M3}} \cdot F_{p,c}$$

$F_{p,c}$ je předpínací síla $F_{p,c} = 0,7 \cdot f_{ub} \cdot A_s$

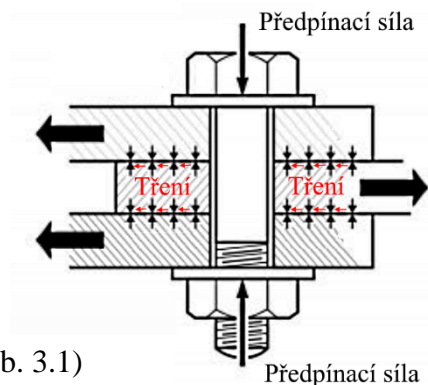
f_{ub} je mez pevnosti šroubu v tahu [MPa]

A_s je plocha jádra šroubu [mm²]

k_s je součinitel závisící na tvaru otvoru (viz tab. 3.1)

n je počet třecích ploch

μ je součinitel tření dle třídy třecího povrchu (viz tab. 3.2)



Tab. 3.1 Součinitele k_s závisící na tvaru otvoru

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

Tab. 3.2 Součinitele tření μ dle třídy třecího povrchu

Třída třecího povrchu	μ
A – tryskaný povrch nebo tryskaný povrch se zinkovým povlakem	0,5
B – tryskaný povrch s alkalicko-zinkovým silikátovým nátěrem	0,4
C – povrch čištěný kartáčem nebo plamenem bez rzi	0,3
D – povrch bez úprav	0,2

Kombinace smyku a tahu

Návrhová únosnost v prokluzu při současném působení tahové síly $F_{t,Ed}$

$$F_{S,Rd} = \frac{k_s \cdot n \cdot \mu \cdot (F_{p,C} - 0,8 \cdot F_{t,Ed})}{\gamma_{M3}}$$

5 Svařované spoje

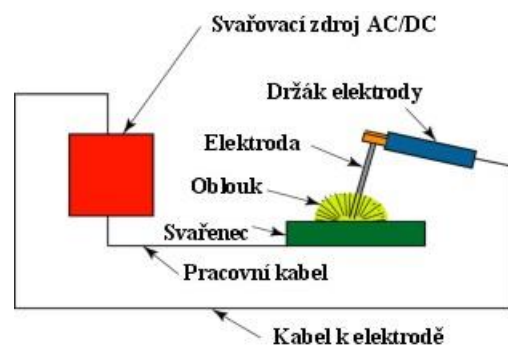
5.1 Princip svařování

Aby se kovy mohly spojit metalografickým spojem, vyžaduje většina svařovacích metod vytvoření vysoké lokální teploty, která nataví základní a přídavný materiál. Typ zdroje ohřevu označuje často svařovací metodu, např. svařování plamenem, obloukové svařování, odporové, třením apod. Jedním z hlavních problémů při svařování je, že kovy reagují s atmosférou (O_2 , N_2 , H_2) rychleji, když stoupá jejich teplota. Pokud se nezabrání přístupu a vlivu těchto atmosférických plynů na roztavenou svarovou lázeň, dochází výraznému znehodnocení svarového spoje, jak vizuálnímu (póry a bubliny), tak mechanickým hodnotám spoje (pevnost, tažnost, vrubová houževnatost apod.) Metoda, jak chránit roztavený svarový kov před znehodnocením atmosférou, je druhým nejdůležitějším rozlišujícím znakem.

5.2 Tavné svařování

5.2.1 Svařování elektrickým obloukem

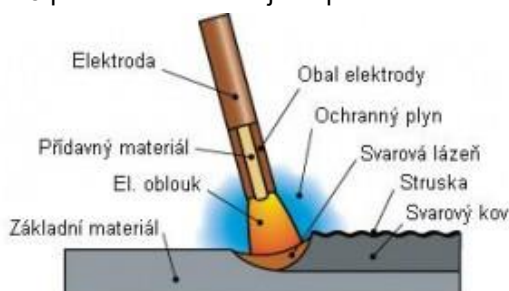
Metoda svařování obloukem, poprvé zavedená koncem 19. století, však zůstává nejvýznamnější a nejvíce používanou technikou. Jak název napovídá, zdrojem tepla je elektrický oblouk vytvořený nejčastěji mezi svařovaným dílem a elektrodou nebo svařovacím drátem. Elektrická energie přeměněná na teplo vytváří oblouk o teplotě až $6\,000^\circ\text{C}$ ve středu oblouku.



Do obloukového svařování patří zejména:

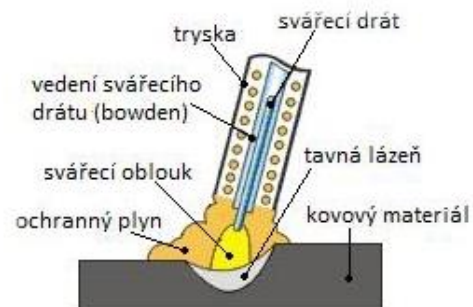
Ruční svařování obalenou elektrodou

Obloukové svařování obalenou elektrodou je manuální proces, kde zdrojem tepla je elektrický oblouk. V okamžiku zážehu oblouku mezi elektrodou a svařovaným materiálem vzniká vysoká teplota, která roztavuje jak materiál elektrody, tak i základní materiál. Obalená elektroda je složena z plného materiálu tzv. jádra a obalového materiálu. Jádro elektrody pak tvoří nezbytnou složku přídavného materiálu. Další funkční složkou je obalový materiál elektrody, který zabezpečuje ochranu svarové lázně a vytváří tak ochranu atmosféru a strusku. Při procesu chladnutí je pak svar chráněn povrchovou struskou. Po procesu chladnutí je doporučeno strusku odstranit.



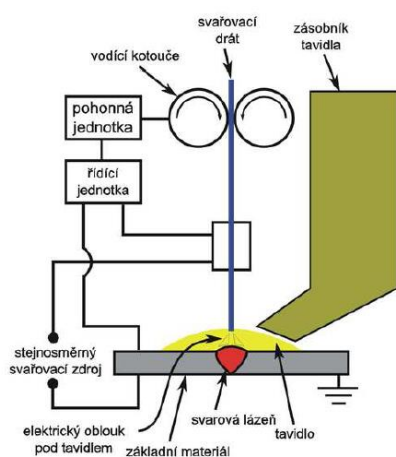
Svařování v ochranných atmosférách

Průběžné svařování v ochranné atmosféře se často označuje jako M.I.G. (Metal Inert Gas) a M.A.G. (Metal Active Gas) nebo G.M.A.W. (Gas Metal Arc Welding). Jedná se o způsob, při němž je potřebný žár vytvářen elektrickým obloukem udržovaným mezi svařovaným materiálem a svářecím drátem. Do místa svařování je trvale dodáván přídatný svářecí materiál (svářecí drát) speciálním hořákem, který současně dodává i ochranný plyn (nebo směs plynů), jehož úkolem je ochrana tavné lázně, oblouku a nejbližší okolní plochy před atmosférickou oxidací.



Svařování pod tavidlem

Svařování pod tavidlem (někdy také svařování automatem pod tavidlem ve zkratce APT) je metoda automatického vysokovýkonného obloukového svařování používaná zejména pro svařování ocelových svařenců dlouhými a nepřerušovanými svary nebo ocelových vinutých trub. Tento tavný způsob svařování využívá teplo dodávané hořením elektrického oblouku k roztavení svarových ploch a přídatného materiálu v tzv. svarové lázni. Svarová lázeň je chráněna před oxidací plyny, které se uvolňují při tavení granulovaného tavidla. Tavidlo je přidáváno do svarového úkosu před svarovou lázeň. Tavidlo má obdobnou funkci i složení jako obaly elektrod ručního obloukového svařování. Svarový kov vzniká z přídatného materiálu – na cívce navinutého svařovacího drátu.



5.2.2 Svařování plamenem

Svařování plamenem nebo plamenové svařování, zastarale autogenní svařování, patří mezi tzv. tavné metody svařování. Metoda využívá teplo dodávané spalováním směsi hořlavého plynu a kyslíku nebo vzduchu pro natavení svarových ploch a roztavení přídatného materiálu. Nejvhodnější pro svařování ocelí je kyslíko-acetylenový plamen, jiné směsi hořlavých plynů a kyslíku nebo vzduchu se používají pro kovy s nižší teplotou tavení. S drobnými rozdíly ve vybavení a použití směsi plynů se podobná technika využívá i při plamenovém řezání kovů kyslíkem.

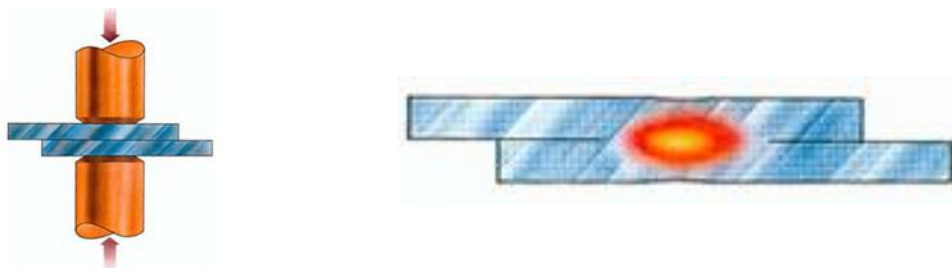


5.3 Odporové svařování

Odporové svařování je způsob svařování, při kterém se využívá odporové (Jouleovo) teplo vznikající průchodem svařovacího proudu spojovanými materiály, které tvoří část svařovacího okruhu. Po ohřátí se součásti stlačí a tím se spojí. Podle konstrukčního uspořádání elektrod a pracovního postupu rozdělujeme metody odporového svařování na:

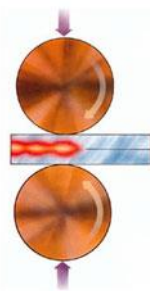
5.3.1 Bodové

Svarové spoje se vytvářejí v podobě svarových čoček (bodových svarů) mezi přeplátovanými díly



5.3.2 Švové (vysokofrekvenční)

Svarové spoje se vytvářejí s využitím kotoučových elektrod obvykle mezi přeplátovanými díly jako souvislé nebo přerušované.



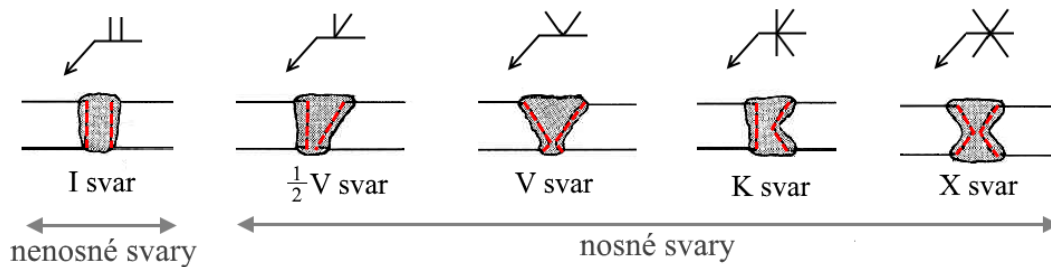
5.3.3 Výstupkové

Svarové spoje se vytvářejí na místech přirozených nebo záměrně vytvořených výstupků (někdy označováno jako bradavkové nebo odporové svařování na lisu)



5.4 Tupé svary

5.4.1 Typy tupých svarů



5.4.2 Návrhová únosnost tupého svaru

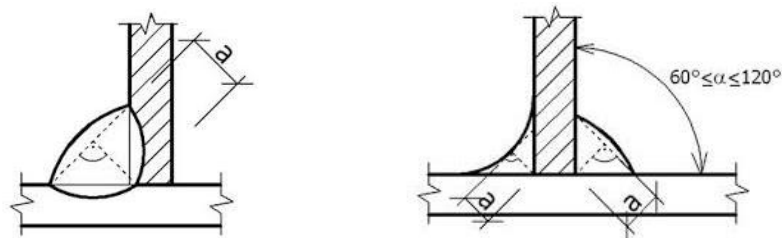
U tupých svarů s plným provařením je návrhová únosnost rovna návrhové únosnosti slabšího spojovaného prvku, pokud byl svar proveden přídavným materiálem alespoň s takovou mezí kluzu jako u připojovaných prvků.

5.5 Koutové svary

Koutové svary navrhujeme pro spojení dvou prvků, které svírají úhel v rozmezí 60° až 120° .

5.5.1 Účinná tloušťka svaru

Uvažovaný výpočtový průřez svaru vychází z vepsaného rovnoramenného trojúhelníku do průřezu svaru. Výška rovnoramenného trojúhelníku je tzv. **účinná tloušťka svaru** (zn. a).



Volba tloušťky koutového svaru závisí také na tloušťce spojovaných prvků:

$a = 3\text{mm}$ pro $t \leq 10\text{mm}$ ($a = 3\text{mm}$ je minimální tloušťka koutového svaru)

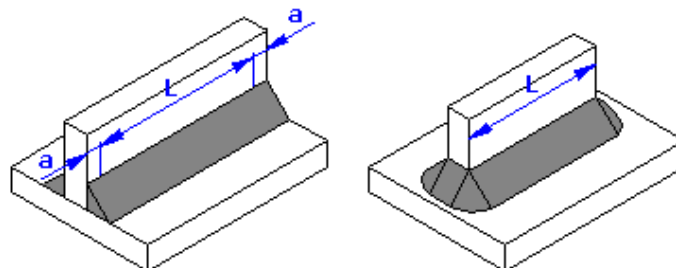
$a = 4\text{mm}$ pro $11\text{mm} \leq t \leq 20\text{mm}$

$a = 5\text{mm}$ pro $21\text{mm} \leq t \leq 30\text{mm}$

$a = 6\text{mm}$ pro $t \geq 31\text{mm}$

5.5.2 Účinná délka svaru

Účinná délka svaru (zn. l) je délka, na které má svar plný průřez. Minimální účinná délka svaru činní 6-ti násobek účinné tloušťky svaru a , ne však méně než 30 mm.



5.5.3 Návrhová únosnost koutového svaru – metoda uvažující směr namáhání

Síly namáhající svar se rozkládají do složek rovnoběžných a příčných k podélné ose svaru, přičemž vznikají složky kolmé (normálové) a rovnoběžné (smykové) vzhledem k účinné rovině

v průřezu svaru. Předpokládá se, že návrhová plocha svaru je soustředěna v kořeni svaru (účinky zatížení se vztahují ke kořeni svaru).

σ_{\perp} je normálové napětí kolmé na účinnou plochu svaru

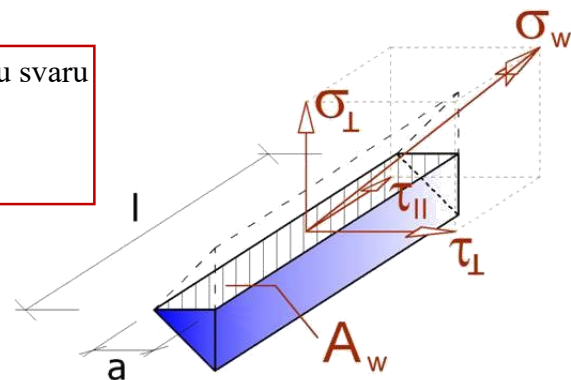
τ_{\perp} je smykové napětí kolmé na osu svaru

τ_{\parallel} je smykové napětí rovnoběžné s osou svaru

Pro výsledné srovnávací napětí platí podmínka:

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

srovnávací napětí



Pro normálové napětí σ_{\perp} má být splněna i podmínka: $\sigma_{\perp} \leq \frac{0,9 \cdot f_u}{\gamma_{M2}}$

β_w je korelační součinitel:

$\beta_w = 0,8$ pro S235, $\beta_w = 0,85$ pro S275, $\beta_w = 0,9$ pro S355, $\beta_w = 1,0$ pro S420 a S460

5.5.4 Návrhová únosnost koutového svaru – zjednodušená metoda

Zjednodušená metoda je méně přesná oproti metodě uvažující směr namáhání.

Návrhová únosnost koutového svaru je dostatečná, jestliže výslednice sil přenášená svarem splňuje podmínku:

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

$F_{w,Ed}$ je návrhová síla působící na jednotku délky svaru (např. na 1 mm délky svaru)

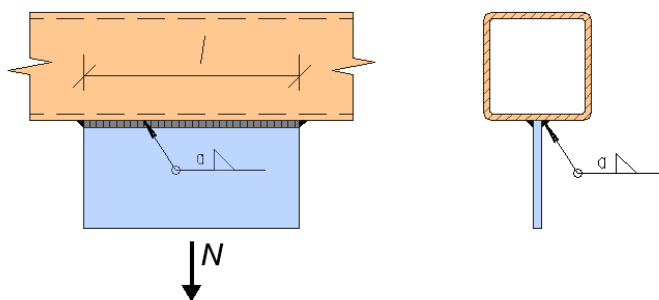
$F_{w,Rd}$ je návrhová únosnost svaru o jednotkové délce (např. svaru o délce 1 mm) a vypočítá se jako $F_{w,Rd} = f_{vw,Rd} \cdot a$,

kde $f_{vw,Rd}$ je návrhová pevnost svaru ve smyku dle vztahu $f_{vw,Rd} = \frac{f_u}{\sqrt{3} \cdot \beta_w \cdot \gamma_{M2}}$

5.6 Porovnání způsobu posouzení koutových a tupých svarů

5.6.1 Svarový přípoj namáhaný normálovou silou

Koutový svar



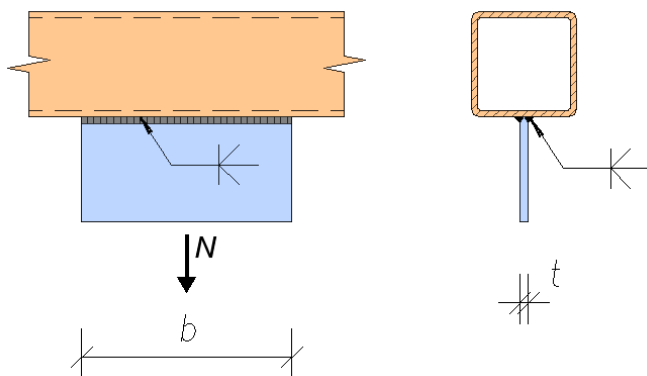
Ve svaru vznikají složky napětí:

$$\sigma_N = \frac{N}{2 \cdot a \cdot l}$$

$$\tau_{\parallel} = 0; \sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{\sigma_N}{\sqrt{2}}$$

Posouzení: $\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} \quad \wedge \quad \sigma_{\perp} \leq \frac{0,9 \cdot f_u}{\gamma_{M2}}$

Tupý svar



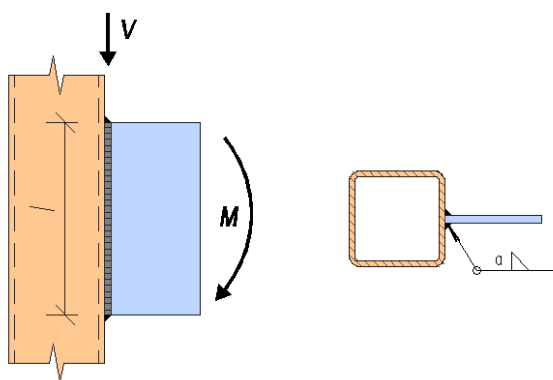
Únosnost tupého svaru je rovna únosnosti připojovaného plechu v tahu:

$$N_{w,Rd} = N_{t,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{b \cdot t \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

Posouzení v tahu: $\frac{N}{N_{w,Rd}} \leq 1,0$

5.6.2 Svarový přípoj namáhaný posouvající silou a ohybovým momentem

Koutový svar



Ve svaru vznikají složky napětí:

- od vlivu posouvající síly V:

$$\tau_{\parallel} = \frac{V_{Ed}}{2 \cdot a \cdot l}$$

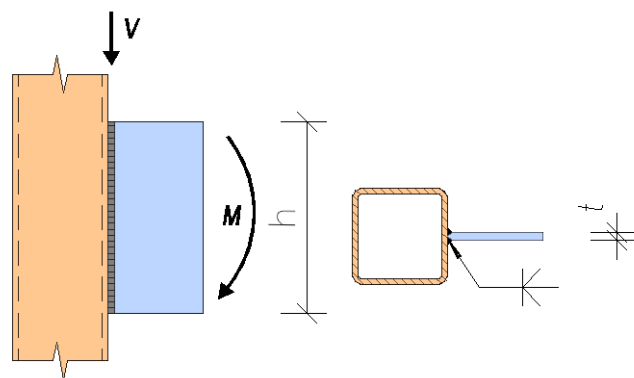
- od vlivu momentu M:

$$\sigma_M = \frac{M}{W_w}, \text{ kde } W_w = 2 \cdot \frac{1}{6} \cdot a \cdot l^2$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{\sigma_M}{\sqrt{2}}$$

Posouzení: $\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} \wedge \sigma_{\perp} \leq \frac{0,9 \cdot f_u}{\gamma_{M2}}$

Tupý svar



Únosnost tupého svaru je rovna únosnosti připojovaného plechu:

- ve smyku:

$$V_{w,Rd} = V_{pl,Rd} = \frac{A_v \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}}$$

$$A_v = t \cdot h$$

- v ohybu:

$$M_{w,Rd} = M_{c,Rd} = \frac{W_y \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$W_y = \frac{1}{6} \cdot t \cdot h^2$$

Posouzení na smyk: $\frac{V}{V_{w,Rd}} \leq 1,0$

Posouzení na ohyb: $\frac{M}{M_{w,Rd}} \leq 1,0$

6 Základní případy namáhání

6.1 Klasifikace průřezů

Prvním krokem při posuzování průřezu je jeho klasifikace. **Při klasifikaci je průřez podle štíhlosti jednotlivých stěn a podle způsobu namáhání zařazen do jedné ze čtyř tříd.**

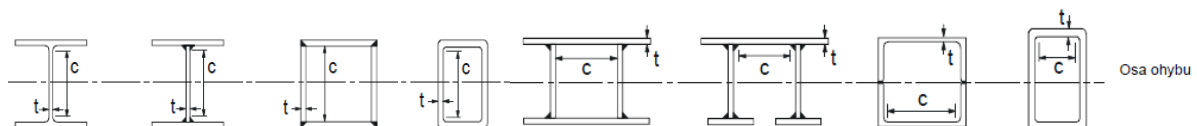
Definují se následující 4 třídy průřezů:

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

U průřezů 1. a 2. třídy se počítá s využitím plasticity. Průřezy 3. třídy se posuzují s využitím pouze pružné oblasti chování materiálu. Pro průřezy 4. třídy, nejnáchylnější k lokálnímu boulení stěn, se průřez redukuje na tzv. efektivní průřez (viz EN 1993-1-5, kapitola 5.2.2) a na něm se počítá únosnost s využitím pružného chování materiálu.

Klasifikace se provádí **pro každou stěnu průřezu samostatně** a výsledná třída je pak **nejvyšší z takto získaných hodnot tříd**.

Zatřídění vnitřních tlačенých částí průřezu

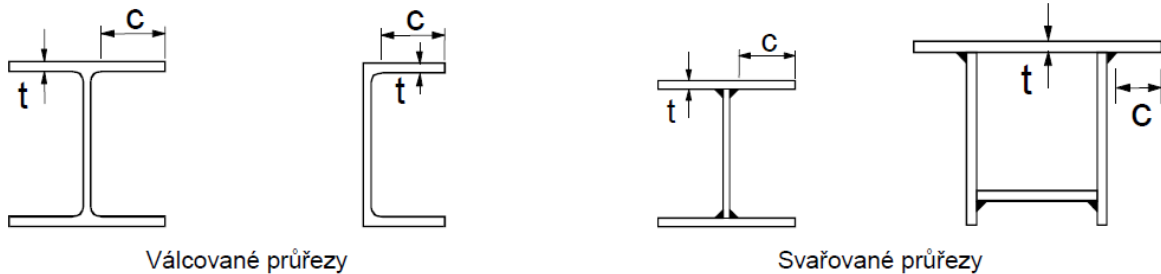


Třída průřezu	Ohybaná část	Tlačенá část	Tlačенá a ohybaná část
Rozdělení napětí v částech (tlak má znaménko +)			
1	$c/t \leq 72\varepsilon$	$c/t \leq 33\varepsilon$	$\alpha > 0,5 : c/t \leq \frac{396\varepsilon}{13\alpha - 1}$ $\alpha \leq 0,5 : c/t \leq \frac{36\varepsilon}{\alpha}$
2	$c/t \leq 83\varepsilon$	$c/t \leq 38\varepsilon$	$\alpha > 0,5 : c/t \leq \frac{456\varepsilon}{13\alpha - 1}$ $\alpha \leq 0,5 : c/t \leq \frac{41,5\varepsilon}{\alpha}$

Třída průřezu	Ohybaná část	Tlačená část	Tlačená a ohybaná část			
Rozdělení napětí v částech (tlak má znaménko +)						
3	$c/t \leq 124\varepsilon$	$c/t \leq 42\varepsilon$	$\psi > -1: c/t \leq \frac{42\varepsilon}{0,67 + 0,33\psi}$ $\psi \leq -1^*): c/t \leq 62\varepsilon(1 - \psi) \sqrt{(-\psi)}$			
$\varepsilon = \sqrt{235 / f_y}$	f_y	235	275	355	420	460
	ε	1,00	0,92	0,81	0,75	0,71

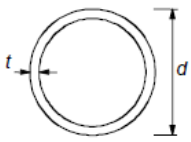
*^{a)} $\psi \leq -1$ platí pro napětí v tlaku $\sigma \leq f_y$, nebo pro poměrné přetvoření $\varepsilon_y > f_y / E$

Zatřídění přechínajících částí pásnic



Třída průřezu	Tlačená část	Tlačená a ohybaná část				
		tlačený konec	tažený konec			
Rozdělení napětí v částech (tlak má znaménko +)						
1	$c/t \leq 9\varepsilon$	$c/t \leq \frac{9\varepsilon}{\alpha}$	$c/t \leq \frac{9\varepsilon}{\alpha\sqrt{\alpha}}$			
2	$c/t \leq 10\varepsilon$	$c/t \leq \frac{10\varepsilon}{\alpha}$	$c/t \leq \frac{10\varepsilon}{\alpha\sqrt{\alpha}}$			
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

Zatřídění kruhových trubek

Trubky						
						
Třída průřezu	Ohýbaný a/nebo tlačенý 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

6.2 Prvky namáhané osovým tahem

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

Návrhová plastická únosnost neoslabeného průřezu: $N_{t,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$

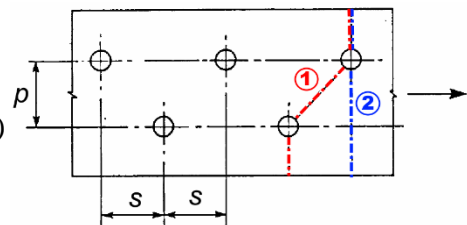
Návrhová únosnost průřezu oslabeného dírami: $N_{t,Rd} = N_{u,Rd} = \frac{0,9 \cdot A_{net} \cdot f_u}{\gamma_{M2}}$

Oslabená plocha průřezu A_{net} se má uvažovat jako plocha neoslabeného průřezu, zmenšená vhodným způsobem o všechny otvory pro prvky s:

- nevystřídánými dírami: $A_{net} = A - t \cdot n \cdot d_0$ (řez 2)

- vystřídánými dírami: $A_{net} = A - t \cdot (n \cdot d_0 - \sum \frac{s^2}{4p})$ (řez 1)

nebo $A_{net} = A - t \cdot n \cdot d_0$ (řez 2)

**6.3 Prvky namáhané osovým tlakem****6.3.1 Prvky namáhané prostým tlakem**

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

Návrhová únosnost průřezu v prostém tlaku: $N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$ pro průřezy třídy 1, 2 nebo 3

$N_{c,Rd} = \frac{A_{eff} \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$ pro průřezy třídy 4

6.3.2 Prvky namáhané na vzpěr

Podmínka spolehlivosti: $\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1,0$

Výpočet návrhové vzpěrné únosnosti tlačенého prutu $N_{b,Rd}$ je uveden v kap. 7.

6.4 Prvky namáhané ohybem**6.4.1 Prvky namáhané prostým rovinným ohybem**

Podmínka spolehlivosti pro prostý rovinný ohyb: $\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1,0$

Návrhová únosnost v ohybu k některé hlavní ose průřezu:

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} \quad \text{pro průřezy třídy 1 nebo 2}$$

$$M_{c,Rd} = M_{el,Rd} = \frac{W_{el,min} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} \quad \text{pro průřezy třídy 3}$$

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{eff,min} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} \quad \text{pro průřezy třídy 4}$$

6.4.2 Prvky namáhané prostým šikmým ohybem

Podmínka spolehlivosti pro prostý šikmý ohyb: $\frac{M_{y,Ed}}{M_{c,y,Rd}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{c,z,Rd}} \leq 1,0$

6.4.3 Prvky namáhané ohybem s vlivem klopení

Podmínka spolehlivosti pro klopení: $\frac{M_{Ed}}{M_{b,Rd}} \leq 1,0$

Výpočet návrhové ohybové únosnosti prutu při klopení $M_{b,Rd}$ je uveden v kap. 9.

6.5 Prvky namáhané smykem**6.5.1 Plastický návrh**

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

Návrhová plastická únosnost ve smyku: $V_{c,Rd} = V_{pl,Rd} = \frac{A_v \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}}$

Smyková plocha A_v se uvažuje pro:

- válcované I a H průřezy zatížené rovnoběžně se stojin $A_v = A - 2 \cdot b \cdot t_f + (t_w + 2 \cdot r) \cdot t_f$
- válcované U průřezy zatížené rovnoběžně se stojin $A_v = A - 2 \cdot b \cdot t_f + (t_w + r) \cdot t_f$
- válcované T průřezy zatížené rovnoběžně se stojin $A_v = 0,9 \cdot (A - b \cdot t_f)$
- kruhové duté průřezy $A_v = 2 \cdot A / \pi$

6.5.2 Pružnostní návrh

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

Návrhové smykové napětí v rozhodujícím bodu průřezu: $\tau_{Ed} = \frac{V_{Ed} \cdot S}{I \cdot t}$

Pro I a H průřezy se smykové napětí ve stojině stanoví jako $\tau_{Ed} = \frac{V_{Ed}}{A_w}$, jestliže $A_f / A_w \geq 0,6$.

6.6 Prvky namáhané kroucením

6.6.1 Kroucení otevřených průřezů

A. Prosté kroucení

Při prostém kroucení vzniká pouze **smyskové napětí**: $\tau_{t,Ed} = \frac{T_{t,Ed}}{I_t} \cdot t$,

kde $T_{t,Ed}$ je návrhový krouticí moment prostého kroucení,
 t je tloušťka stěny průřezu v posuzovaném místě,
 I_t je moment tuhosti v prostém kroucení:

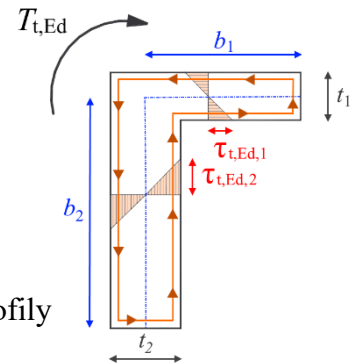
$$I_t = \frac{1}{3} \cdot \alpha \cdot \sum b_i \cdot t_i^3$$

α je součinitel zahrnující spojitost a tvar průřezu:

$\alpha = 1,3$ pro válcované a příčně vyztužené svařované I profily

$\alpha = 1,2$ pro válcované U profily a pro úhelníky

$\alpha = 1,0$ pro obdélníkové průřezy a průřezy z plechu tvarované za studena



B. Vázané kroucení

Při vázaném kroucení vznikají dvě složky napětí:

Normálové výsečové napětí: $\sigma_{\omega,Ed} = \frac{B_{Ed} \cdot \omega}{I_{\omega}}$,

kde B_{Ed} je návrhová hodnota bimomentu,

ω je výsečový statický moment v posuzovaném místě,

I_{ω} je výsečový moment setrvačnosti průřezu.

Druhotné smyskové napětí: $\tau_{\omega,Ed} = \frac{T_{\omega,Ed} \cdot S_{\omega}}{t \cdot I_{\omega}}$,

kde $T_{\omega,Ed}$ je návrhový krouticí moment vázaného kroucení,

S_{ω} je hlavní výsečová souřadnice v posuzovaném místě,

I_{ω} je výsečový moment setrvačnosti průřezu,

t je tloušťka stěny průřezu v posuzovaném místě.

6.6.2 Kroucení uzavřených průřezů

A. Prosté kroucení

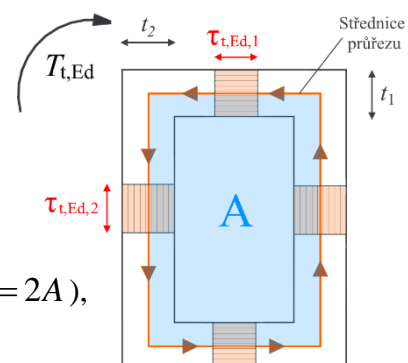
Při prostém kroucení vzniká pouze **smyskové napětí**:

$$\tau_{t,Ed} = \frac{T_{t,Ed}}{\Omega \cdot t}$$

kde $T_{t,Ed}$ je návrhový krouticí moment prostého kroucení,

Ω je dvojnásobek plochy uzavřené střednicí průřezu ($\Omega = 2A$),

t je tloušťka stěny průřezu v posuzovaném místě.

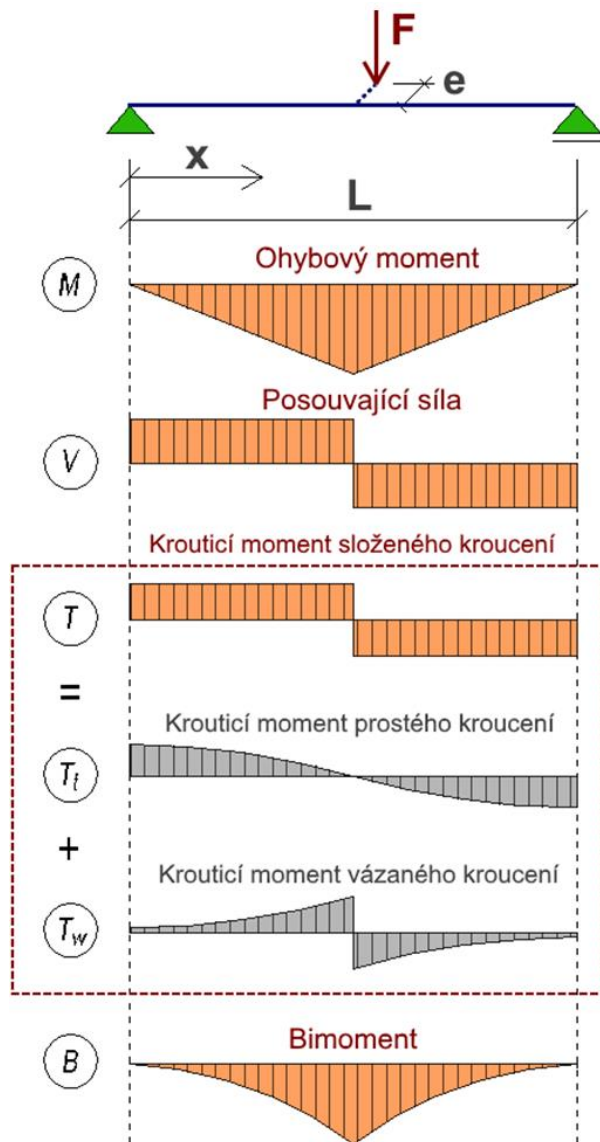


B. Vázané kroucení

Při vázaném kroucení vznikají dvě složky napětí – normálové výsečové $\sigma_{\omega,Ed}$ a druhotné smyskové napětí $\tau_{\omega,Ed}$. **Jejich hodnota je velmi malá, tudíž se při posudcích zanedbávají.**

6.6.3 Přesný výpočet vnitřních sil při složeném kroucení

Přesný výpočet vychází z řešení diferenciálních rovnic popisujících složené kroucení pro příslušné zatížení a okrajové podmínky.



Parament kroucení $\psi \cdot L = L \cdot \sqrt{\frac{G \cdot I_t}{E \cdot I_\omega}}$

$$M(x) = \frac{F}{2} \cdot x \quad M_{\max} = \frac{F \cdot L}{4}$$

$$V(x) = \frac{F}{2} = V_{\max}$$

$$T(x) = V(x) \cdot e = \frac{F}{2} \cdot e \quad T(x) = T_t(x) + T_w(x)$$

$$T_t(x) = \frac{1}{2} \cdot F \cdot e \cdot \left(1 - \frac{\cosh(\psi \cdot x)}{\cosh\left(\frac{\psi \cdot L}{2}\right)} \right)$$

$$T_w(x) = \frac{1}{2} \cdot F \cdot e \cdot \frac{\cosh(\psi \cdot x)}{\cosh\left(\frac{\psi \cdot L}{2}\right)}$$

$$B(x) = \frac{1}{2} \cdot \frac{F \cdot e}{\psi} \cdot \left(1 - \frac{\sinh(\psi \cdot x)}{\cosh\left(\frac{\psi \cdot L}{2}\right)} \right)$$

6.6.4 Modifikovaná analogie ohybu a složeného kroucení

Dle modifikované analogie ohybu a složeného kroucení lze přibližně vyčíslit vnitřní síly při složeném kroucení:

Kroučící moment složeného kroucení $T = T_t + T_w = V \cdot e$	Kroučící moment od prostého kroucení $T_t = V \cdot e \cdot \kappa$	Bimoment $B = M \cdot e \cdot (1 - \kappa)$
	Kroučící moment od vázaného kroucení $T_w = V \cdot e \cdot (1 - \kappa)$	

Opravný součinitel: $\kappa = 1 / \left[\beta + (\alpha / K_t)^2 \right]$

Bezrozměrný parametr tuhosti při kroucení: $K_t = L \cdot \sqrt{\frac{G \cdot I_t}{E \cdot I_\omega}}$

Tabulka NB.2.1 - Koeficienty α a β pro typ zatížení a okrajových podmínek

Okrajové podmínky při kroucení		Kroucí zatížení		α	β
Oboustranné podepření nosníku	prosté podepřené (volná deplanace)	plně rovnoměrné		3,1	1,00
		obecné		3,7	1,08
	vetknutí (deplanaci je bráněno)	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

6.7 Kombinace ohybu a smyku

Pokud platí, že $V_{Ed} \leq 0,5 \cdot V_{pl,Rd}$, zanedbává se vliv smyku na momentovou únosnost průřezu.

Pokud platí, že $V_{Ed} > 0,5 \cdot V_{pl,Rd}$, stanoví se redukovaná momentová únosnost průřezu vypočtená s použitím redukované meze kluzu $(1 - \rho) \cdot f_y$ v oblasti smykové plochy.

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

Pro I průřezy se stejnými pásnicemi, ohýbané okolo osy větší tuhosti, lze redukovanou ohybovou únosnost stanovit jako:

$$M_{y,V,Rd} = \frac{\left(W_{pl,y} - \frac{\rho \cdot A_w^2}{4 \cdot t_w} \right) \cdot f_y}{\gamma_{M0}}, \text{ kde } A_w = h_w \cdot t_w. \text{ Zároveň musí platit, že } M_{y,V,Rd} \leq M_{y,c,Rd}.$$

6.8 Kombinace ohybu a osové síly

6.8.1 Plastický návrh

Pro třídy průřezu 1 a 2 platí podmínka spolehlivosti: $M_{Ed} \leq M_{N,Rd}$

Návrhový plastický moment únosnosti $M_{N,Rd}$, redukovaný v důsledku působení osové síly N_{Ed} se určí pro dle kap. 6.2.9 normy ČSN EN 1993-1-1.

Pro dvojose symetrické I a H průřezy nebo jiné průřezy s pásnicemi **není nutné uvažovat** účinek osové síly na plastický moment únosnosti při ohybu kolem osy y-y, **pokud jsou splněny obě následující podmínky:**

$$N_{Ed} \leq 0,25 \cdot N_{pl,Rd} \quad \wedge \quad N_{Ed} \leq \frac{0,5 \cdot h_w \cdot t_w \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

6.8.2 Pružnostní návrh

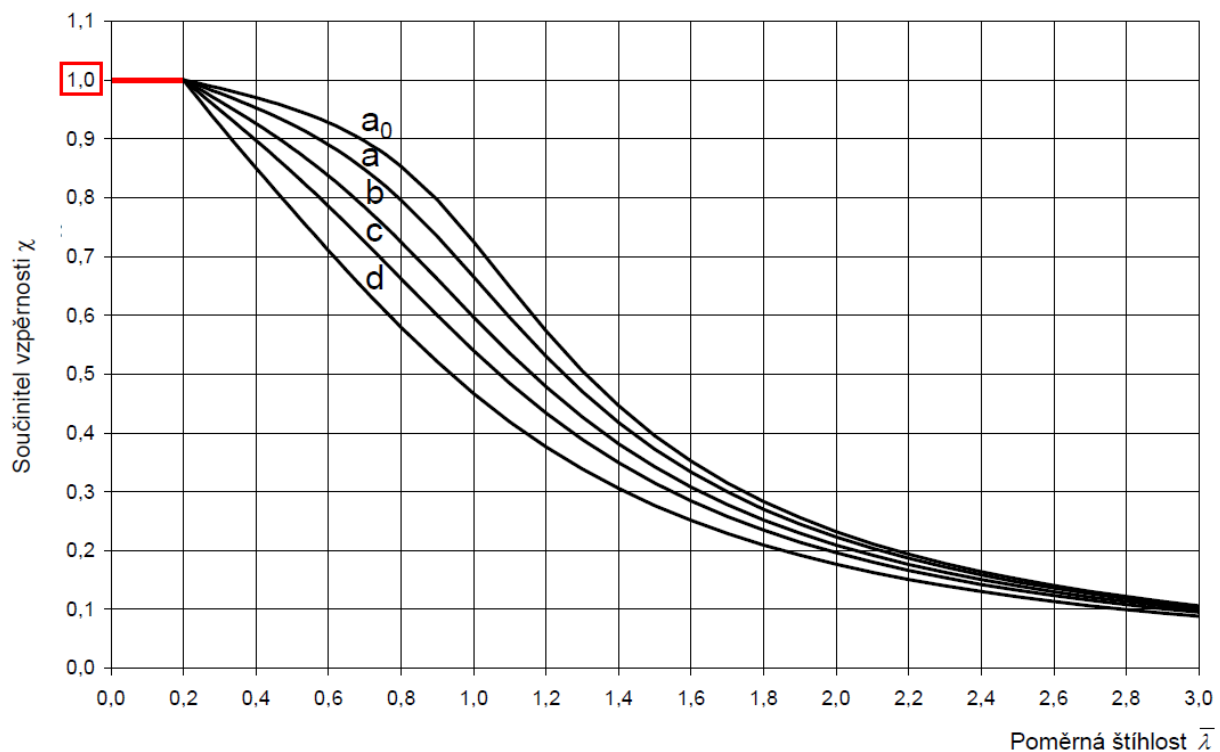
Jestliže nepůsobí smyková síla, platí pro průřezy třídy 3 podmínka spolehlivosti: $\sigma_{x,Ed} \leq \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$

Normálové napětí od osové síly a ohybu se určí jako: $\sigma_{x,Ed} = \frac{N_{Ed}}{A} + \frac{M_{y,Ed}}{W_{y,el,min}} + \frac{M_{z,Ed}}{W_{z,el,min}}$

7 Vzpěr celistvých prutů

Poměrná štíhlost $\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$, kde N_{cr} je pružná kritická síla (viz vzorce v tabulkách níže).

Vzpěr dvouose symetrických nebo středově symetrických průřezů	
	<p>Rovinný vzpěr v rovině kolmé k ose symetrie y-y</p> $N_{cr,y} = \pi^2 \frac{E \cdot I_y}{L_{cr,y}^2}$
	<p>Rovinný vzpěr v rovině kolmé k ose symetrie z-z</p> $N_{cr,z} = \pi^2 \frac{E \cdot I_z}{L_{cr,z}^2}$
	<p>Vzpěr zkroucením (<u>nenastává u uzavřených průřezů</u>)</p> $N_{cr,T} = \frac{1}{i_0^2} \cdot \left(G \cdot I_t + \pi^2 \frac{E \cdot I_\omega}{L_{cr,\omega}^2} \right), \text{ kde } i_0^2 = i_y^2 + i_z^2 + y_0^2 + z_0^2$
Vzpěr jednoose symetrických průřezů	
Symetrické k ose y-y	<p>Rovinný vzpěr v rovině kolmé k ose z-z</p> $N_{cr,z} = \pi^2 \frac{E \cdot I_z}{L_{cr,z}^2}$
	<p>Prostorový vzpěr v rovině kolmé k ose symetrie y-y</p> $N_{cr,TF} = \frac{N_{cr,y}}{2 \cdot \beta} \left[1 + \frac{N_{cr,T}}{N_{cr,y}} - \sqrt{\left(1 - \frac{N_{cr,T}}{N_{cr,y}} \right)^2 + 4 \cdot \left(\frac{y_0}{i_0} \right)^2 \cdot \frac{N_{cr,T}}{N_{cr,y}}} \right]; \beta = 1 - \left(\frac{y_0}{i_0} \right)^2$
Symetrické k ose z-z	<p>Rovinný vzpěr v rovině kolmé k ose y-y</p> $N_{cr,y} = \pi^2 \frac{E \cdot I_y}{L_{cr,y}^2}$
	<p>Prostorový vzpěr v rovině kolmé k ose symetrie z-z</p> $N_{cr,TF} = \frac{N_{cr,z}}{2 \cdot \beta} \left[1 + \frac{N_{cr,T}}{N_{cr,z}} - \sqrt{\left(1 - \frac{N_{cr,T}}{N_{cr,z}} \right)^2 + 4 \cdot \left(\frac{z_0}{i_0} \right)^2 \cdot \frac{N_{cr,T}}{N_{cr,z}}} \right]; \beta = 1 - \left(\frac{z_0}{i_0} \right)^2$
Vzpěr nesymetrických otevřených průřezů	
	<p>Obecný prostorový vzpěr</p> $N_{cr} = - \frac{a_3}{\sqrt[3]{a_2^3 + 3 \cdot a_0 \cdot a_3^2 - 3 \cdot a_1 \cdot a_2 \cdot a_3}}$ $a_0 = z_0^2 + y_0^2 - i_0^2$ $a_1 = i_0^2 \cdot (N_{cr,y} + N_{cr,z} + N_{cr,T}) - y_0^2 \cdot N_{cr,y} - z_0^2 \cdot N_{cr,z}$ $a_2 = -i_0^2 \cdot (N_{cr,y} \cdot N_{cr,z} + N_{cr,y} \cdot N_{cr,T} + N_{cr,z} \cdot N_{cr,T})$ $a_3 = i_0^2 \cdot N_{cr,y} \cdot N_{cr,z} \cdot N_{cr,T}$

Křivky vzpěrné pevnosti

Přiřazení křivek vzpěrné pevnosti se provádí dle tabulky na následující straně.

Součinitel vzpěrnosti:
$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} \leq 1,0$$

kde
$$\phi = 0,5 \cdot \left[1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2 \right]$$

α je součinitel imperfekce (hodnoty viz následující tabulka)

Křivka vzpěrné pevnosti	a ₀	a	b	c	d
Součinitel imperfekce α	0,13	0,21	0,34	0,49	0,76

Návrhová vzpěrná únosnost:
$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}}$$
 pro průřezy třídy 1, 2 nebo 3

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A_{eff} \cdot f_y}{\gamma_{M1}}$$
 pro průřezy třídy 4

kde χ je hodnota součinitele vzpěrnosti pro rozhodující způsob vybočení prutu (= minimální hodnota součinitele vzpěrnosti ze všech součinitelů vzpěrnosti vypočtených pro možné způsoby vybočení daného prutu).

Přřazení křivek vzpěrné pevnosti

Průřez	Meze	Vybočení kolmo k ose	Křivka vzpěrné pevnosti	
			S235 S275 S355 S420	S460
Válcované průřezy 	$h/b > 1,2$	$t_r \leq 40 \text{ mm}$ $40 \text{ mm} < t_r \leq 100 \text{ mm}$	y-y z-z	a a ₀
			y-y z-z	b a
	$h/b \leq 1,2$	$t_r \leq 100 \text{ mm}$	y-y z-z	b a
			y-y z-z	d c
Svařované průřezy 	$t_r \leq 40 \text{ mm}$	y-y z-z	b c	b c
	$t_r > 40 \text{ mm}$	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: $a > 0,5 t_r$ $b/t_r < 30$ $h/t_w < 30$	všechny	c	c
U, T a plné průřezy 		všechny	c	c
Úhelníky 		všechny	b	b

Poznámka: Pro vzpěr zkroucením se uvažuje křivka vzpěrné pevnosti pro směr vybočení kolmo k ose z-z

Tabulka s hodnotami součinitele vzpěrnosti χ

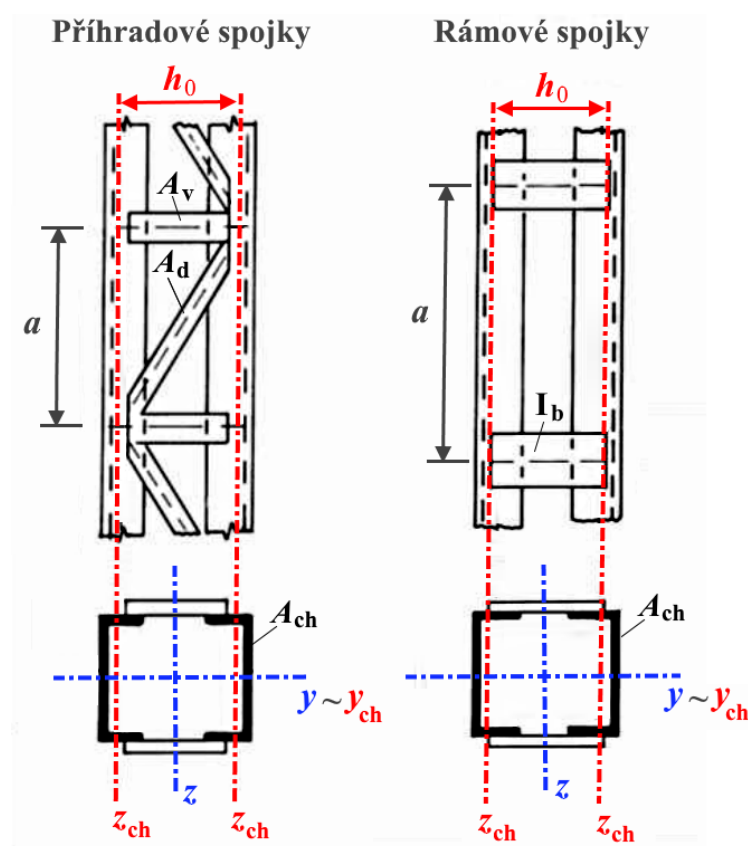
Součinitele vzpěrnosti χ

$\bar{\lambda}$	Křivka vzpěrné pevnosti					$\bar{\lambda}$	Křivka vzpěrné pevnosti					$\bar{\lambda}$	Křivka vzpěrné pevnosti					$\bar{\lambda}$	Křivka vzpěrné pevnosti				
	a_0	a	b	c	d		a_0	a	b	c	d		a_0	a	b	c	d		a_0	a	b	c	d
	$\alpha=0,13$	$\alpha=0,21$	$\alpha=0,34$	$\alpha=0,49$	$\alpha=0,76$		$\alpha=0,13$	$\alpha=0,21$	$\alpha=0,34$	$\alpha=0,49$	$\alpha=0,76$		$\alpha=0,13$	$\alpha=0,21$	$\alpha=0,34$	$\alpha=0,49$	$\alpha=0,76$		$\alpha=0,13$	$\alpha=0,21$	$\alpha=0,34$	$\alpha=0,49$	$\alpha=0,76$
0.20	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.00	0.725	0.666	0.597	0.540	0.467	1.80	0.283	0.270	0.252	0.235	0.209	2.60	0.140	0.136	0.130	0.123	0.113
0.21	0.999	0.998	0.996	0.995	0.992	1.01	0.718	0.659	0.591	0.534	0.462	1.81	0.280	0.268	0.250	0.232	0.207	2.61	0.139	0.135	0.129	0.123	0.113
0.22	0.997	0.996	0.993	0.990	0.984	1.02	0.710	0.652	0.584	0.528	0.457	1.82	0.277	0.265	0.247	0.229	0.206	2.62	0.138	0.134	0.128	0.122	0.112
0.23	0.996	0.993	0.989	0.985	0.977	1.03	0.702	0.645	0.578	0.523	0.452	1.83	0.275	0.262	0.245	0.228	0.204	2.63	0.137	0.133	0.127	0.121	0.111
0.24	0.995	0.991	0.986	0.980	0.969	1.04	0.695	0.638	0.572	0.517	0.447	1.84	0.272	0.260	0.243	0.226	0.202	2.64	0.136	0.132	0.126	0.120	0.110
0.25	0.993	0.989	0.982	0.975	0.961	1.05	0.687	0.631	0.566	0.511	0.442	1.85	0.269	0.257	0.240	0.224	0.200	2.65	0.135	0.131	0.125	0.119	0.110
0.26	0.992	0.987	0.979	0.969	0.954	1.06	0.679	0.624	0.559	0.506	0.438	1.86	0.266	0.255	0.238	0.222	0.199	2.66	0.134	0.130	0.125	0.118	0.109
0.27	0.990	0.984	0.975	0.964	0.946	1.07	0.672	0.617	0.553	0.500	0.433	1.87	0.264	0.252	0.236	0.220	0.197	2.67	0.133	0.129	0.124	0.118	0.108
0.28	0.989	0.982	0.971	0.959	0.938	1.08	0.664	0.610	0.547	0.495	0.428	1.88	0.261	0.250	0.234	0.218	0.195	2.68	0.132	0.129	0.123	0.117	0.108
0.29	0.987	0.980	0.968	0.954	0.931	1.09	0.656	0.603	0.541	0.490	0.423	1.89	0.259	0.247	0.231	0.216	0.194	2.69	0.131	0.128	0.122	0.116	0.107
0.30	0.986	0.977	0.964	0.949	0.923	1.10	0.648	0.596	0.535	0.484	0.419	1.90	0.256	0.245	0.229	0.214	0.192	2.70	0.130	0.127	0.121	0.115	0.106
0.31	0.984	0.975	0.960	0.944	0.916	1.11	0.641	0.589	0.529	0.479	0.414	1.91	0.253	0.243	0.227	0.212	0.190	2.71	0.130	0.126	0.120	0.115	0.106
0.32	0.983	0.973	0.957	0.939	0.909	1.12	0.633	0.582	0.523	0.474	0.410	1.92	0.251	0.240	0.225	0.210	0.189	2.72	0.129	0.125	0.119	0.114	0.105
0.33	0.981	0.970	0.953	0.934	0.901	1.13	0.625	0.576	0.518	0.469	0.406	1.93	0.248	0.238	0.223	0.209	0.187	2.73	0.128	0.124	0.119	0.113	0.104
0.34	0.980	0.968	0.949	0.929	0.894	1.14	0.618	0.569	0.512	0.463	0.401	1.94	0.246	0.236	0.221	0.207	0.186	2.74	0.127	0.123	0.118	0.112	0.104
0.35	0.978	0.966	0.945	0.923	0.887	1.15	0.610	0.562	0.506	0.458	0.397	1.95	0.244	0.234	0.219	0.205	0.184	2.75	0.126	0.122	0.117	0.111	0.103
0.36	0.977	0.963	0.942	0.918	0.879	1.16	0.603	0.556	0.500	0.453	0.393	1.96	0.241	0.231	0.217	0.203	0.183	2.76	0.125	0.122	0.116	0.111	0.102
0.37	0.975	0.961	0.938	0.913	0.872	1.17	0.595	0.549	0.495	0.448	0.388	1.97	0.239	0.229	0.215	0.201	0.181	2.77	0.124	0.121	0.115	0.110	0.102
0.38	0.973	0.958	0.934	0.908	0.865	1.18	0.588	0.543	0.489	0.443	0.384	1.98	0.237	0.227	0.213	0.200	0.180	2.78	0.123	0.120	0.115	0.109	0.101
0.39	0.972	0.955	0.930	0.903	0.858	1.19	0.580	0.536	0.484	0.439	0.380	1.99	0.235	0.225	0.211	0.198	0.178	2.79	0.122	0.119	0.114	0.109	0.100
0.40	0.970	0.953	0.926	0.897	0.850	1.20	0.573	0.530	0.478	0.434	0.376	2.00	0.232	0.223	0.209	0.196	0.177	2.80	0.122	0.118	0.113	0.108	0.100
0.41	0.968	0.950	0.922	0.892	0.843	1.21	0.566	0.524	0.473	0.429	0.372	2.01	0.230	0.221	0.208	0.195	0.175	2.81	0.121	0.117	0.112	0.107	0.099
0.42	0.967	0.947	0.918	0.887	0.836	1.22	0.559	0.518	0.467	0.424	0.368	2.02	0.228	0.219	0.206	0.193	0.174	2.82	0.120	0.117	0.112	0.107	0.098
0.43	0.965	0.945	0.914	0.881	0.829	1.23	0.552	0.511	0.462	0.420	0.364	2.03	0.226	0.217	0.204	0.191	0.172	2.83	0.119	0.116	0.111	0.106	0.098
0.44	0.963	0.942	0.910	0.876	0.822	1.24	0.545	0.505	0.457	0.415	0.361	2.04	0.224	0.215	0.202	0.190	0.171	2.84	0.118	0.115	0.110	0.105	0.097
0.45	0.961	0.939	0.906	0.871	0.815	1.25	0.538	0.499	0.452	0.411	0.357	2.05	0.222	0.213	0.200	0.188	0.170	2.85	0.117	0.114	0.109	0.104	0.097
0.46	0.959	0.936	0.902	0.865	0.808	1.26	0.531	0.493	0.447	0.406	0.353	2.06	0.220	0.211	0.199	0.186	0.168	2.86	0.117	0.114	0.109	0.104	0.096
0.47	0.957	0.933	0.897	0.860	0.800	1.27	0.525	0.487	0.442	0.402	0.349	2.07	0.218	0.209	0.197	0.185	0.167	2.87	0.116	0.113	0.108	0.103	0.095
0.48	0.955	0.930	0.893	0.854	0.793	1.28	0.518	0.482	0.437	0.397	0.346	2.08	0.216	0.207	0.195	0.183	0.166	2.88	0.115	0.112	0.107	0.102	0.095
0.49	0.953	0.927	0.889	0.849	0.786	1.29	0.512	0.476	0.432	0.393	0.342	2.09	0.214	0.205	0.194	0.182	0.164	2.89	0.114	0.111	0.107	0.102	0.094
0.50	0.951	0.924	0.884	0.843	0.779	1.30	0.505	0.470	0.427	0.389	0.339	2.10	0.212	0.204	0.192	0.180	0.163	2.90	0.114	0.111	0.106	0.101	0.094
0.51	0.949	0.921	0.880	0.837	0.772	1.31	0.499	0.465	0.422	0.385	0.335	2.11	0.210	0.202	0.190	0.179	0.162	2.91	0.113	0.110	0.105	0.101	0.093
0.52	0.947	0.918	0.875	0.832	0.765	1.32	0.493	0.459	0.417	0.380	0.332	2.12	0.208	0.200	0.189	0.177	0.160	2.92	0.112	0.109	0.105	0.100	0.093
0.53	0.945	0.915	0.871	0.826	0.758	1.33	0.487	0.454	0.413	0.376	0.328	2.13	0.206	0.198	0.187	0.176	0.159	2.93	0.111	0.108	0.104	0.099	0.092
0.54	0.943	0.911	0.866	0.820	0.751	1.34	0.481	0.448	0.408	0.372	0.325	2.14	0.204	0.197	0.186	0.174	0.158	2.94	0.111	0.108	0.103	0.099	0.091
0.55	0.940	0.908	0.861	0.815	0.744	1.35	0.475	0.443	0.404	0.368	0.321	2.15	0.202	0.195	0.184	0.173	0.157	2.95	0.110	0.107	0.103	0.098	0.091
0.56	0.938	0.905	0.857	0.809	0.738	1.36	0.469	0.438	0.399	0.364	0.318	2.16	0.201	0.193	0.182	0.172	0.156	2.96	0.109	0.106	0.102	0.097	0.090
0.57	0.935	0.901	0.852	0.803	0.731	1.37	0.463	0.433	0.395	0.361	0.315	2.17	0.199	0.192	0.181	0.170	0.154	2.97	0.108	0.106	0.101	0.097	0.090
0.58	0.933	0.897	0.847	0.797	0.724	1.38	0.457	0.428	0.390	0.357	0.312	2.18	0.197	0.190	0.179	0.169	0.153	2.98	0.108	0.105	0.101	0.096	0.089
0.59	0.930	0.894	0.842	0.791	0.717	1.39	0.452	0.423	0.386	0.353	0.309	2.19	0.195	0.188	0.178	0.168	0.152	2.99	0.107	0.104	0.100	0.096	0.089
0.60	0.928	0.890	0.837	0.785	0.710	1.40	0.446	0.418	0.382	0.349	0.306	2.20	0.194	0.187	0.176	0.166	0.151	3.00	0.106	0.104	0.099	0.095	0.088
0.61	0.925	0.886	0.832	0.779	0.703	1.41	0.441	0.413	0.378	0.346	0.302	2.21	0.192	0.185	0.175	0.165	0.150	3.01	0.106	0.103	0.099	0.095	0.088
0.62	0.922	0.882	0.827	0.773	0.696	1.42	0.435	0.408	0.373	0.342	0.299	2.22	0.190	0.184	0.174	0.164	0.149	3.02	0.105	0.102	0.098	0.094	0.087
0.63	0.919	0.878	0.822	0.767	0.690	1.43	0.430	0.404	0.369	0.338	0.296	2.23	0.189	0.182	0.172	0.162	0.147	3.03	0.104	0.102	0.098	0.093	0.087
0.64	0.916	0.874	0.816	0.761	0.683	1.44	0.425	0.399	0.365	0.335	0.293	2.24	0.187	0.180	0.171	0.161	0.146	3.04	0.104	0.101	0.097	0.093	0.086
0.65	0.913	0.870	0.811	0.755	0.676	1.45	0.420	0.394	0.361	0.331	0.291	2.25	0.186	0.179	0.169	0.160	0.145	3.05	0.103	0.100	0.096	0.092	0.086
0.66	0.910	0.866	0.806	0.749	0.670	1.46	0.415	0.390	0.357	0.328	0.288	2.26	0.184	0.178	0.168	0.159	0.144	3.06	0.102	0.100	0.096	0.092	0.085
0.67	0.907	0.861	0.800	0.743	0.663	1.47	0.410	0.38															

8 Vzpěr členěných prutů

Členěné pruty jsou pruty sestávající se z 2 nebo více (zpravidla 3 nebo 4) pásů, počet pásů značíme jako n_{ch} .

V těchto podkladech bude uveden postup výpočtu členěného prutu složeného z 2 pásů ($n_{ch}=2$) s příhradovými, respektive rámovými spojkami.



8.1 Vybočení v rovině kolmé na hmotnou osu y

Nastává rovinný vzpěr dílčích pásů prutu v rovině kolmé na hmotnou osu y .

Tlaková síla působící v jednom pásu: $N_{ch,y,Ed} = \frac{N_{Ed}}{n_{ch}}$; $n_{ch} = 2$

Kritická síla pro vzpěr jednoho pásu: $N_{cr,ch,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_{ch,y}}{L_{cr,y}^2}$

Poměrná štíhlost: $\bar{\lambda}_{ch,y} = \sqrt{\frac{A_{ch} \cdot f_y}{N_{cr,ch,y}}}$ → součinitel vzpěrnosti $\chi_{ch,y}$

Vzpěrná únosnost jednoho pásu: $N_{b,ch,y,Rd} = \frac{\chi_{ch,y} \cdot A_{ch} \cdot f_y}{\gamma_{M1}}$

Podmínka spolehlivosti: $\frac{N_{ch,y,Ed}}{N_{b,ch,y,Rd}} \leq 1,0$

8.2 Vybočení v rovině kolmé na nehmotnou osu z

Při výpočtu a posouzení se předpokládá počáteční imperfekce prutu e_0 odpovídající $L/500$, přičemž L lze konzervativně uvažovat jako maximum z dvou hodnot - vzpěrné délky $L_{cr,z}$ pro příslušný směr vybočení členěného prutu jako celku a délky členěného prutu L_0 .

Tlaková síla působící v jednom pásu:
$$N_{ch,z,Ed} = \frac{N_{Ed}}{n_{ch}} + \frac{M_{Ed} \cdot h_0 \cdot A_{ch}}{2 \cdot I_{eff}}$$

kde I_{eff} je účinný moment setrvačnosti členěného prutu.

Maximální moment uprostřed prutu s uvážením účinků II. řádu:

$$M_{Ed} = \frac{N_{Ed} \cdot e_0 + M_{Ed}^1}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr}} - \frac{N_{Ed}}{S_v}}$$

kde e_0 je počáteční imperfekce prutu:
$$e_0 = \frac{L}{500} = \frac{\max(L_{cr,z}; L_0)}{500}$$

M_{Ed}^1 je návrhová hodnota ohybového momentu od účinků zatížení,

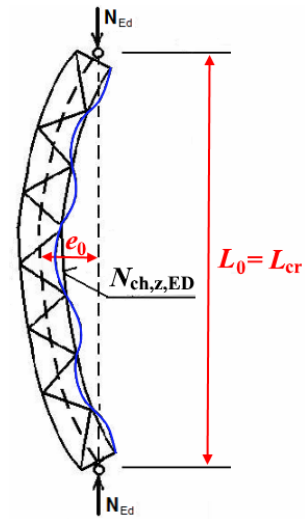
N_{cr} je kritická síla pro rovinný vzpěr členěného prutu jako celku:
$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_{eff}}{L_{cr,z}^2}$$

S_v je smyková tuhost panelu.

Kritická síla pásu pro vzpěr mezi uzly spojek:
$$N_{cr,ch,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_{ch,z}}{a^2} \rightarrow \text{souč. vzpěrnosti } \chi_{ch,z}$$

Vzpěrná únosnost pásu mezi uzly spojek:
$$N_{b,ch,z,Rd} = \frac{\chi_{ch,z} \cdot A_{ch} \cdot f_y}{\gamma_{M1}}$$

Podmínka spolehlivosti:
$$\frac{N_{ch,z,Ed}}{N_{b,ch,z,Rd}} \leq 1,0$$



8.2.1 Členěné pruty s příhradovými spojkami

Účinný moment setrvačnosti: $I_{eff} = 0,5 \cdot h_0^2 \cdot A_{ch}$

Smyková tuhost panelu:

$S_v = \frac{n \cdot E \cdot A_d \cdot a \cdot h_0^2}{2 \cdot d^3}$	$S_v = \frac{n \cdot E \cdot A_d \cdot a \cdot h_0^2}{d^3}$	$S_v = \frac{n \cdot E \cdot A_d \cdot a \cdot h_0^2}{d^3 \cdot \left[1 + \frac{A_d \cdot h_0^3}{A_v \cdot d^3} \right]}$

A_d a A_v jsou plochy průřezu diagonály a svislice

8.2.2 Členěné pruty s rámovými spojkami

Účinný moment setrvačnosti: $I_{eff} = 0,5 \cdot h_0^2 \cdot A_{ch} + 2 \cdot \mu \cdot I_{ch,z}$

kde μ je součinitel účinnosti a nabývá hodnot dle štíhlosti členěného prutu λ :

$$\mu = 0 \quad \text{pro } \lambda > 150$$

$$\mu = 2 - \frac{\lambda}{75} \quad \text{pro } 75 < \lambda < 150$$

$$\mu = 1,0 \quad \text{pro } \lambda \leq 75$$

Štíhlost členěného prutu: $\lambda = \frac{L}{i_0}$

Poloměr setrvačnosti členěného prutu: $i_0 = \sqrt{\frac{I_1}{2 \cdot A_{ch}}}$; $I_1 = 0,5 \cdot h_0^2 \cdot A_{ch} + 2 \cdot I_{ch,z}$

Smyková tuhost panelu: $S_v = \frac{24 \cdot E \cdot I_{ch,z}}{a^2 \left[1 + \frac{2 \cdot I_{ch,z} \cdot h_0}{n \cdot I_b \cdot a} \right]}$ \leq $\frac{2\pi^2 \cdot E \cdot I_{ch,z}}{a^2}$

poddajné spojky tuhé spojky

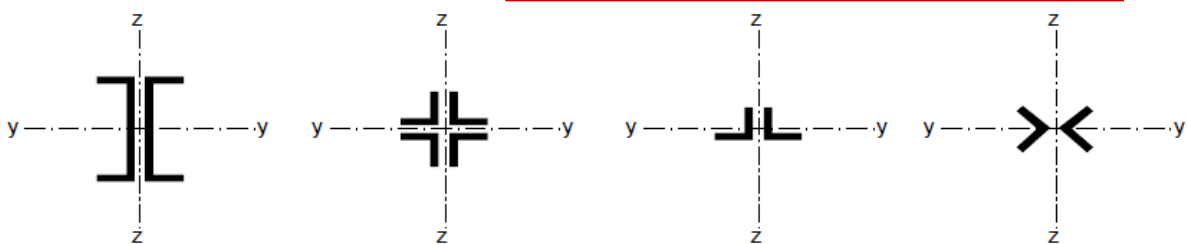
Pozn.: Smyková tuhost nemá být vyšší než smyková tuhost tuhých spojek.

I_b je moment setrvačnosti spojky v rovině spojek.

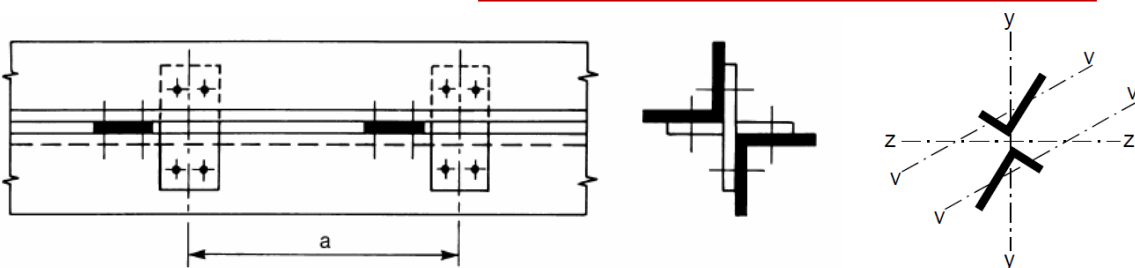
8.3 Složené a křížové členěné pruty

Složené členěné pruty, jejichž pásy na sebe doléhají nebo jsou umístěny blízko sebe a jsou vzájemně spojeny vložkami, nebo křížové pruty z úhelníků spojené dvojicemi spojek ve dvou kolmých rovinách se mají posuzovat na vzpěr jako jeden celistvý prut se zanedbáním vlivu smykové tuhosti ($S_v = \infty$), jestliže jsou splněny následující podmínky:

Podmínka pro složené členěné pruty: maximální vzdálenost mezi vložkami $\leq 15 \cdot i_{min}$



Podmínka pro křížové členěné pruty: maximální vzdálenost mezi spojkami $\leq 70 \cdot i_{min}$



i_{min} je nejmenší poloměr setrvačnosti jednoho pásu (jednoho úhelníku)

9 Klopení nosníků

Poměrná štíhlost $\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_y \cdot f_y}{M_{cr}}}$, kde M_{cr} je pružný kritický moment.

Výpočet pružného kritického momentu dle ČSN EN 1993-1-1, Národní přílohy NB.3

Pružný kritický moment M_{cr} pro ohyb k ose y-y se vypočte ze vztahu:

$$M_{cr} = \mu_{cr} \cdot \frac{\pi \cdot \sqrt{E \cdot I_z \cdot G \cdot I_t}}{L},$$

kde μ_{cr} je bezrozměrný kritický moment definovaný jako:

$$\mu_{cr} = \frac{C_1}{k_z} \cdot \left[\sqrt{1 + \kappa_{ot}^2 + (C_2 \cdot \zeta_g - C_3 \cdot \zeta_j)^2} - (C_2 \cdot \zeta_g - C_3 \cdot \zeta_j) \right],$$

kde $\kappa_{ot} = \frac{\pi}{k_{\omega} \cdot L} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_{\omega}}{G \cdot I_t}}$ je bezrozměrný parametr kroucení,

$\zeta_g = \frac{\pi \cdot z_g}{k_z \cdot L} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_z}{G \cdot I_t}}$ je bezrozměrný parametr působení zatížení vůči C_s ,

$\zeta_j = \frac{\pi \cdot z_j}{k_z \cdot L} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_z}{G \cdot I_t}}$ je bezrozměrný parametr nesymetrie průřezu,

přičemž:

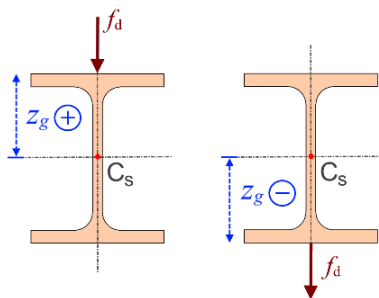
C_1, C_2, C_3 jsou součinitele závislé na zatížení a podmínkách uložení konců

L je délka nosníku mezi body zajištěnými proti posunu kolmo z roviny,

k_z je součinitel vzpěrné délky popisující okrajové podmínky uložení v ohybu,

k_{ω} je součinitel vzpěrné délky popisující okrajové podmínky uložení v kroucení,

z_g je svislá vzdálenost působení zatížení od středu smyku:



Kladná hodnota při pozici **nad** úrovní středu smyku.
Záporná hodnota při pozici **pod** úrovní středu smyku.

$$z_j = z_s - \frac{0,5}{I_y} \cdot \int_A (y^2 + z^2) \cdot z \cdot dA \quad \text{Pozn.: Pro průřezy symetrické k ose y-y je } z_j = 0.$$

Přiřazení křivek klopení:

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

Součinitel klopení:
$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2}} \leq 1,0$$

kde
$$\phi_{LT} = 0,5 \cdot \left[1 + \alpha_{LT} \cdot (\bar{\lambda}_{LT} - 0,2) + \bar{\lambda}_{LT}^2 \right]$$

α_{LT} je součinitel imperfekce (hodnoty viz následující tabulka)

Křivka klopení	a	b	c	d
Součinitel imperfekce α_{LT}	0,21	0,34	0,49	0,76

Návrhová ohybová únosnost při klopení:
$$M_{b,Rd} = \frac{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M1}}$$
 pro průřezy třídy 1, 2

$$M_{b,Rd} = \frac{\chi_{LT} \cdot W_{el,y,min} \cdot f_y}{\gamma_{M1}}$$
 pro průřezy třídy 3

$$M_{b,Rd} = \frac{\chi_{LT} \cdot W_{eff,y,min} \cdot f_y}{\gamma_{M1}}$$
 pro průřezy třídy 4

Tab.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 $-0,9 \leq \psi_f \leq 0,9$	T $\psi_f = 1$	\perp $\psi_f = -1$	I I I I $-0,9 \leq \psi_f \leq 0,9$	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
						$\psi_f = -1$	$-0,5 \leq \psi_f \leq 0,5$	$\psi_f = 1$	$\psi_f = -1$	$-0,5 \leq \psi_f \leq 0,5$	$\psi_f = 1$
	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:

- 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) Parametr ψ_f se vztahuje ke středu rozpětí.
- 3) 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 ohybu: $k_y = 1,0$ a 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 ψ_f	-0,125 - 0,7 ψ_f	-1,88
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 $\kappa_{wt} = 0$, $C_1 = C_{1,1}$ for $\kappa_{wt} \geq 1$) ²⁾ 0,7 L vetknutý levý konec, 0,7 R = vetknutý pravý konec.							

Použitá literatura

- [1] PILGR, M.: *Kovové konstrukce. Výpočet jeřábové dráhy pro mostové jeřáby podle ČSN EN 1991-3 a ČSN EN 1993-6*. Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., Brno, 2012.
- [2] ČSN EN 1993-1-1 Navrhování ocelových konstrukcí - Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby
- [3] Studijní opory k předmětu BO04 Kovové konstrukce I
- [4] <https://www.fasteners.eu>
- [5] <https://www.ocel.wz.cz>
- [6] <https://e-konstrukter.cz/technicke-vypocty>
- [7] <https://www.svarbazar.cz>