

### 6.3 Vzpěrná únosnost prutů

#### 6.3.1 Tlačené pruty stálého průřezu

##### 6.3.1.1 Vzpěrná únosnost

(1) Tlačený prut se má posuzovat na vzpěr podle podmínky:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1,0 \quad (6.46)$$

kde  $N_{Ed}$  je návrhová hodnota tlakové síly;

$N_{b,Rd}$  návrhová vzpěrná únosnost tlačeného prutu.

(2) U prutů s nesymetrickým průřezem třídy 4 se má uvažovat přídatný moment  $\Delta M_{Ed}$  v důsledku excentricity těžištové osy účinného průřezu, viz také 6.2.2.5(4). Interakce tlaku a ohybu se má posoudit podle 6.3.4 nebo 6.3.3.

(3) Návrhová vzpěrná únosnost tlačeného prutu se má určit z výrazu:

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi A f_y}{\gamma_{M1}} \quad \text{pro průřezy třídy 1, 2 a 3} \quad (6.47)$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi A_{eff} f_y}{\gamma_{M1}} \quad \text{pro průřezy třídy 4} \quad (6.48)$$

kde  $\chi$  je součinitel vzpěrnosti pro příslušný způsob vybočení.

POZNÁMKA Pro určení vzpěrné únosnosti prutů po délce proměnného průřezu nebo při nerovnoměrném rozdělení tlakové síly se může provést analýza druhého řádu podle 5.3.4(2). Pro vzpěr z roviny, viz také 6.3.4.

(4) Při stanovení  $A$  a  $A_{eff}$  není nutné uvažovat díry pro spojovací prostředky na koncích sloupů.

##### 6.3.1.2 Křivky vzpěrné pevnosti

(1) Pro osový tlak v prutu se má hodnota  $\chi$  pro odpovídající poměrnou štíhlost  $\bar{\lambda}$  určit z příslušné křivky vzpěrné pevnosti z výrazu:

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} \quad \text{ale} \quad \chi \leq 1,0 \quad (6.49)$$

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

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A f_y}{N_{cr}}} \quad \text{pro průřezy třídy 1, 2 a 3}$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A_{eff} f_y}{N_{cr}}} \quad \text{pro průřezy třídy 4}$$

$\alpha$  je součinitel imperfekce;

$N_{cr}$  pružná kritická síla pro příslušný způsob vybočení, určená pro vlastnosti plného průřezu.

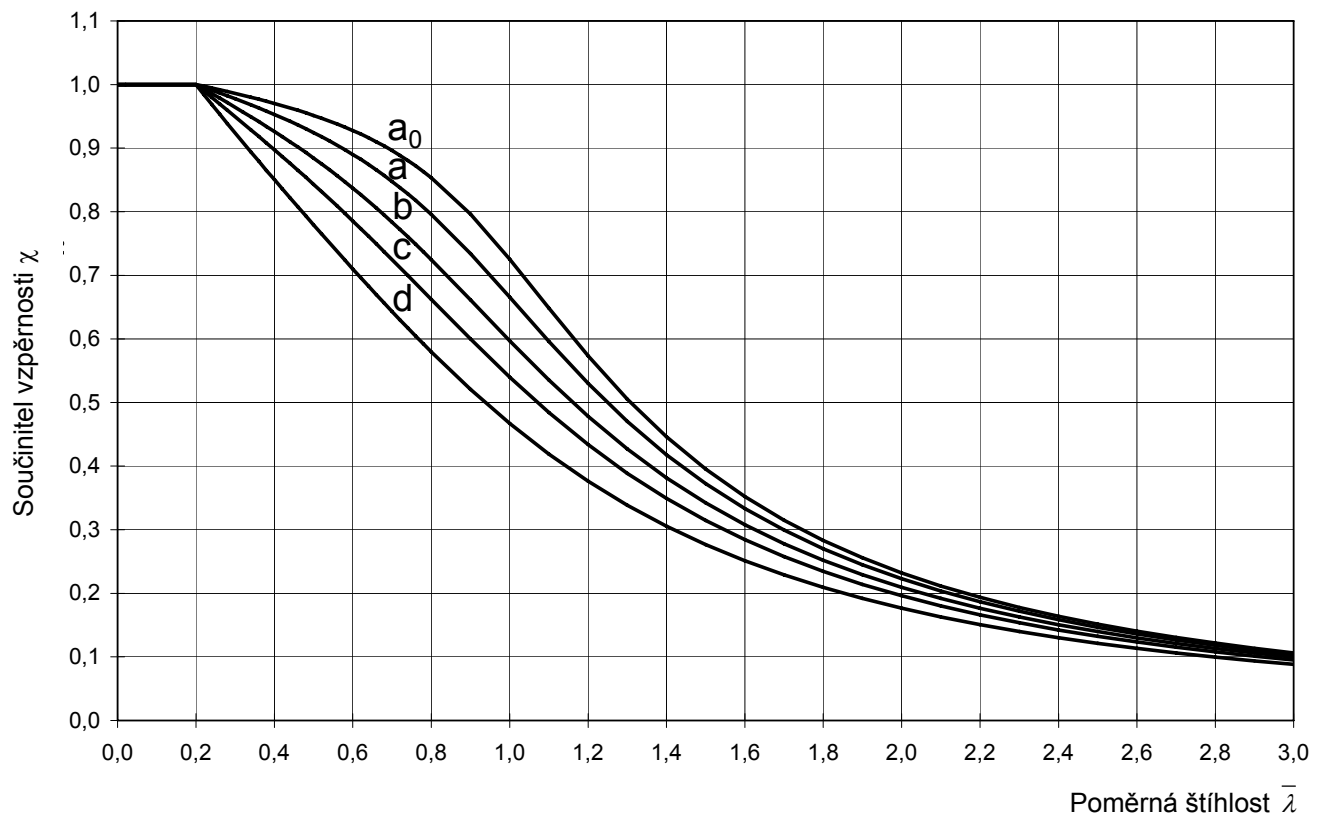
(2) Součinitel imperfekce  $\alpha$  pro jednotlivé křivky vzpěrné pevnosti se má stanovit podle tabulek 6.1 a 6.2.

**Tabulka 6.1 – Součinitele imperfekce pro křivky vzpěrné pevnosti**

Křivka vzpěrné pevnosti	$a_0$	a	b	c	d
Součinitel imperfekce $\alpha$	0,13	0,21	0,34	0,49	0,76

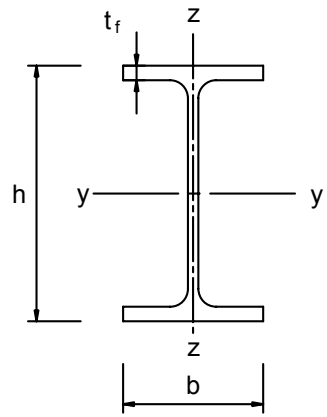
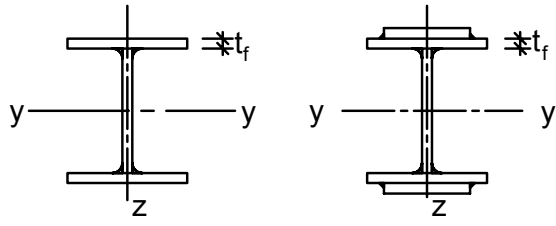
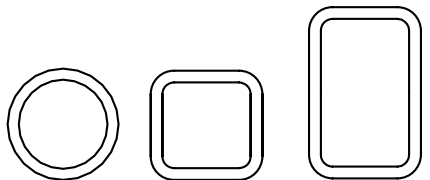
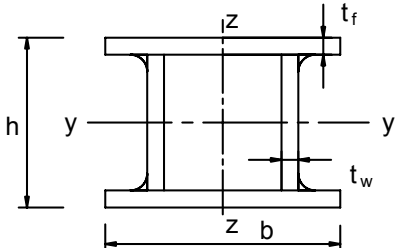
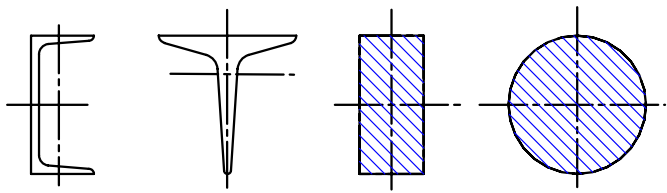
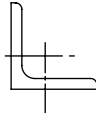
(3) Hodnoty součinitele vzpěrnosti  $\chi$  pro příslušnou poměrnou štíhlost  $\bar{\lambda}$  je možné stanovit z obrázku 6.4.

(4) Při poměrné štíhlosti  $\bar{\lambda} \leq 0,2$  nebo pro  $\frac{\gamma_M N_{Ed}}{N_{cr}} \leq 0,04$  je možné účinky vzpěru zanedbat a posuzovat pouze průřez na prostý tlak.



Obrázek 6.4 – Křivky vzpěrné pevnosti

Tabulka 6.2 – Přiřazení křivek vzpěrné pevnosti k průřezům

Průřez	Meze	Vybočení kolmo k ose	Křivka vzpěrné pevnosti		
			S235 S275 S355 S420	S460	
<p>Válcované průřezy</p> 	$h/b > 1,2$	$t_f \leq 40 \text{ mm}$	y-y z-z	a b	a <sub>0</sub> a <sub>0</sub>
		$40 \text{ mm} < t_f \leq 100 \text{ mm}$	y-y z-z	b c	a a
	$h/b \leq 1,2$	$t_f \leq 100 \text{ mm}$	y-y z-z	b c	a a
		$t_f > 100 \text{ mm}$	y-y z-z	d d	c c
<p>Svařované průřezy</p> 	$t_f \leq 40 \text{ mm}$	y-y z-z	b c	b c	
		$t_f > 40 \text{ mm}$	y-y z-z	c d	c d
<p>Duté průřezy</p> 	válcované za tepla	všechny	a	a <sub>0</sub>	
	tvarované za studena	všechny	c	c	
<p>Svařované duté průřezy</p> 	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	
<p>U, T a plné průřezy</p> 	všechny	c	c		
<p>Úhelníky</p> 	všechny	b	b		

### 6.3.1.3 Štíhlosti pro rovinný vzpěr

(1) Poměrná štíhlost  $\bar{\lambda}$  se stanoví z výrazu:

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{Af_y}{N_{cr}}} = \frac{L_{cr}}{i} \frac{1}{\lambda_1} \quad \text{pro průřezy třídy 1, 2 a 3} \quad (6.50)$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A_{eff}f_y}{N_{cr}}} = \frac{L_{cr}}{i} \frac{\sqrt{\frac{A_{eff}}{A}}}{\lambda_1} \quad \text{pro průřezy třídy 4} \quad (6.51)$$

kde  $L_{cr}$  je vzpěrná délka v uvažované rovině vybočení;

$i$  poloměr setrvačnosti plného průřezu k příslušné ose.

$$\lambda_1 = \pi \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 93,9\varepsilon$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} \quad (f_y \text{ v N/mm}^2)$$

POZNÁMKA Pro vzpěr prutů konstrukcí pozemních staveb viz přílohu BB.

(2) Pro rovinný vzpěr se příslušná křivka vzpěrné pevnosti stanoví z tabulky 6.2.

### 6.3.1.4 Štíhlosti pro vzpěr zkroucením a prostorový vzpěr

(1) U prutů s otevřeným průřezem se má uvážit možnost, že jejich únosnost v důsledku zkroucení nebo prostorového vzpěru může být nižší než při rovinném vzpěru.

(2) Poměrná štíhlost  $\bar{\lambda}_T$  pro vzpěr zkroucením nebo prostorový vzpěr se má stanovit z výrazu:

$$\bar{\lambda}_T = \sqrt{\frac{Af_y}{N_{cr}}} \quad \text{pro průřezy třídy 1, 2 a 3} \quad (6.52)$$

$$\bar{\lambda}_T = \sqrt{\frac{A_{eff}f_y}{N_{cr}}} \quad \text{pro průřezy třídy 4} \quad (6.53)$$

kde  $N_{cr} = N_{cr,TF}$  ale  $N_{cr} < N_{cr,T}$

$N_{cr,TF}$  je pružná kritická síla pro vybočení při prostorovém vzpěru;

$N_{cr,T}$  pružná kritická vzpěrná síla při vybočení zkroucením.

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

## 6.3.2 Ohyb prutů stálého průřezu

### 6.3.2.1 Únosnost na klopení

(1) Příčně nepodepřený nosník, namáhaný na ohyb k hlavní ose větší tuhosti, se má na klopení posoudit následovně:

$$\frac{M_{Ed}}{M_{b,Rd}} \leq 1,0 \quad (6.54)$$

kde  $M_{Ed}$  je návrhová hodnota ohybového momentu;

$M_{b,Rd}$  návrhový moment únosnosti nosníku při klopení.

(2) Nosníky s dostatečným podepřením tlačené pásnice nejsou citlivé na klopení. Rovněž nosníky s určitými typy průřezů, jako jsou čtvercové nebo kruhové duté průřezy, svařované kruhové trubky nebo svařované čtvercové duté průřezy, nejsou citlivé na klopení.

(3) Návrhový moment únosnosti na klopení příčně nepodepřeného nosníku se stanoví z výrazu:

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} W_y \frac{f_y}{\gamma_{M1}} \quad (6.55)$$

kde  $W_y$  je příslušný průřezový modul, který se určí následovně:

$$W_y = W_{pl,y} \quad \text{pro průřezy třídy 1 nebo 2;}$$

$$W_y = W_{el,y} \quad \text{pro průřezy třídy 3;}$$

$$W_y = W_{eff,y} \quad \text{pro průřezy třídy 4;}$$

$\chi_{LT}$  je součinitel klopení.

POZNÁMKA 1 Pro určení únosnosti na klopení nosníků po délce proměnného průřezu se může provést analýza druhého řádu podle 5.3.4(3). Pro vybočení z roviny, viz též 6.3.4.

POZNÁMKA 2B Pro klopení částí konstrukcí pozemních staveb viz také přílohu BB.

(4) Při stanovení  $W_y$  není potřebné uvažovat díry pro spojovací prostředky na konci nosníků.

### 6.3.2.2 Křivky klopení – obecný případ

(1) Pokud není stanoveno jinak, viz 6.3.2.3, má se součinitel klopení  $\chi_{LT}$  ohýbaných prutů stálého průřezu stanovit pro poměrnou štíhlost  $\lambda_{LT}$  z výrazu:

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2}} \quad \text{ale} \quad \chi_{LT} \leq 1,0 \quad (6.56)$$

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

$\alpha_{LT}$  je součinitel imperfekce při klopení;

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_y f_y}{M_{cr}}}$$

$M_{cr}$  pružný kritický moment při klopení.<sup>NP)</sup>

(2)  $M_{cr}$  se určí pro plný průřez s uvažováním zatěžovacích podmínek, skutečného rozdělení momentů a příčného podepření.

POZNÁMKA Hodnoty součinitele imperfekce při klopení  $\alpha_{LT}$  pro příslušné křivky klopení se mohou stanovit v národní příloze. Doporučené hodnoty  $\alpha_{LT}$  jsou uvedeny v tabulce 6.3.<sup>NP15)</sup>

**Tabulka 6.3 – Doporučené hodnoty součinitelů imperfekce pro křivky klopení**

Křivka klopení	a	b	c	d
Součinitel imperfekce při klopení $\alpha_{LT}$	0,21	0,34	0,49	0,76

Doporučení pro volbu křivek klopení je uvedeno v tabulce 6.4.

**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

<sup>NP)</sup> NÁRODNÍ POZNÁMKA Viz národní příloha, NB.3

<sup>NP15)</sup> NÁRODNÍ POZNÁMKA V ČR platí doporučené hodnoty, viz národní příloha, NA.2.15.

(3) Hodnoty součinitele klopení  $\chi_{LT}$  se pro příslušnou poměrnou štíhlost  $\bar{\lambda}_{LT}$  mohou stanovit z obrázku 6.4.

(4) Pro štíhlosti  $\bar{\lambda}_{LT} \leq \bar{\lambda}_{LT,0}$  nebo pro  $\frac{\gamma_M M_{Ed}}{M_{cr}} \leq \bar{\lambda}_{LT,0}^2$  (viz 6.3.2.3) se mohou účinky klopení zanedbat a posuzovat pouze únosnost průřezu.

### 6.3.2.3 Křivky klopení válcovaných průřezů nebo ekvivalentních svařovaných průřezů

(1) Pro ohýbané válcované průřezy nebo ekvivalentní svařované průřezy se mohou hodnoty  $\chi_{LT}$  stanovit pro příslušnou poměrnou štíhlost z výrazu:

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \beta \bar{\lambda}_{LT}^{-2}}} \quad \text{ale} \quad \begin{cases} \chi_{LT} \leq 1,0 \\ \chi_{LT} \leq \frac{1}{\bar{\lambda}_{LT}^2} \end{cases} \quad (6.57)$$

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

POZNÁMKA Parametry  $\bar{\lambda}_{LT,0}$  a  $\beta$  a jakákoliv jiná omezení platnosti, která se týkají výšky nosníku nebo poměru  $h/b$ , se mohou stanovit v národní příloze. Pro válcované průřezy nebo ekvivalentní svařované průřezy jsou doporučeny následující hodnoty.<sup>NP16)</sup>

$$\bar{\lambda}_{LT,0} = 0,4 \text{ (největší hodnota)}, \quad \beta = 0,75 \text{ (nejmenší hodnota)}$$

Doporučení pro volbu křivky klopení je uvedeno v tabulce 6.5.

**Tabulka 6.5 – Doporučené přiřazení křivek klopení k průřezům při použití výrazu (6.57)**

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

(2) Součinitel klopení je možné redukovat v závislosti na rozdělení momentu v úseku mezi příčným podepřením prutu následovně:

$$\chi_{LT,mod} = \frac{\chi_{LT}}{f} \quad \text{ale} \quad \chi_{LT,mod} \leq 1 \quad (6.58)$$

POZNÁMKA Hodnoty  $f$  se mohou stanovit v národní příloze. Jsou doporučeny následující nejmenší hodnoty.<sup>NP17)</sup>









$$f = 1 - 0,5(1 - k_c) \left[ 1 - 2,0 (\bar{\lambda}_{LT} - 0,8)^2 \right] \quad \text{ale} \quad f \leq 1,0$$

$k_c$  je opravný součinitel, který se stanoví podle tabulky 6.6.

<sup>NP16)</sup> NÁRODNÍ POZNÁMKA V ČR platí doporučené hodnoty, viz národní příloha, NA.2.16.

<sup>NP17)</sup> NÁRODNÍ POZNÁMKA V ČR platí doporučené hodnoty, viz národní příloha, NA.2.17.

**Tabulka 6.6 – Opravné součinitele  $k_c$**

Rozdělení momentů	$k_c$
 $\psi = 1$	1,00
 $-1 \leq \psi \leq 1$	$\frac{1}{1,33 - 0,33\psi}$
	0,94
	0,90
	0,91
	0,86
	0,77
	0,82

#### 6.3.2.4 Zjednodušené metody posuzování příčně podepřených nosníků pozemních staveb

(1)B Pruty s jednotlivými příčnými podporami tlačené pásnice nejsou citlivé na klopení, jestliže vzdálenost  $L_c$  mezi příčnými podporami nebo výsledná štíhlost  $\bar{\lambda}_f$  ekvivalentní tlačené pásnice vyhovuje podmínce:

$$\bar{\lambda}_f = \frac{k_c L_c}{i_{f,z} \lambda_1} \leq \bar{\lambda}_{c0} \frac{M_{c,Rd}}{M_{y,Ed}} \quad (6.59)$$

kde  $M_{y,Ed}$  je největší návrhová hodnota ohybového momentu v úseku mezi příčnými podporami;

$$M_{c,Rd} = W_y \frac{f_y}{\gamma_{M1}}$$

$W_y$  je příslušný modul průřezu, vztažený k tlačené pásnici;

$k_c$  opravný součinitel štíhlosti pro rozdělení momentů mezi příčnými podporami, viz tabulku 6.6;

$i_{f,z}$  poloměr setrvačnosti průřezu ekvivalentní tlačené pásnice, složené z tlačené pásnice a 1/3 tlačené části plochy stojiny, k ose nejmenší tuhosti průřezu;

$\bar{\lambda}_{c0}$  největší štíhlost ekvivalentní tlačené pásnice, definované výše;

$$\lambda_1 = \pi \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 93,9\varepsilon$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}}$$

POZNÁMKA 1B Pro průřezy třídy 4 lze  $i_{f,z}$  stanovit z výrazu:

$$i_{f,z} = \sqrt{\frac{I_{\text{eff},f}}{A_{\text{eff},f} + \frac{1}{3} A_{\text{eff},w,c}}}$$

kde  $I_{\text{eff},f}$  je účinný moment setrvačnosti tlačené pásnice k ose nejmenší tuhosti průřezu;

$A_{\text{eff},f}$  účinná plocha tlačené pásnice;

$A_{\text{eff},w,c}$  účinná plocha tlačené části stojiny.

POZNÁMKA 2B Největší hodnota štíhlosti  $\bar{\lambda}_{c0}$  se může stanovit v národní příloze. Doporučuje se hodnota  $\bar{\lambda}_{c0} = \bar{\lambda}_{LT,0} + 0,1$ , viz 6.3.2.3.<sup>NP18)</sup>

(2)B Jestliže štíhlost tlačené pásnice  $\bar{\lambda}_f$  je větší než hodnota podle (1)B, lze návrhový moment únosnosti při klopení stanovit z výrazu:

$$M_{b,Rd} = k_{ff} \chi M_{c,Rd} \quad \text{ale} \quad M_{b,Rd} \leq M_{c,Rd} \quad (6.60)$$

kde  $\chi$  je součinitel klopení ekvivalentní tlačené pásnice, stanovený pro štíhlost  $\bar{\lambda}_f$ ;

$k_{ff}$  opravný součinitel, který se zavádí v důsledku konzervativnosti metody ekvivalentní tlačené pásnice.

POZNÁMKA B Hodnota součinitele pro úpravu návrhové únosnosti se může stanovit v národní příloze. Doporučuje se hodnota  $k_{ff} = 1,10$ .<sup>NP19)</sup>

(3)B Ve výpočtu podle (2)B se mají uvažovat následující křivky klopení:

křivka d pro svařované průřezy, pokud je:

$$\frac{h}{t_f} \leq 44 \varepsilon$$

křivka c pro všechny další průřezy, kde:

$h$  je celková výška průřezu;

$t_f$  tloušťka tlačené pásnice.

POZNÁMKA B Pro klopení příčně podepřených prvků konstrukcí pozemních staveb, viz také přílohu BB.3.

### 6.3.3 Ohyb a osový tlak prutů stálého průřezu

(1) Pokud se nepoužije analýza druhého řádu s imperfekcemi podle 5.3.2, má se stabilita dvojose souměrných prutů stálého průřezu, u kterých se nepředpokládají distorzní deformace průřezu, posoudit podle následujících článků. Přitom se rozlišují:

- pruty, které nejsou náchylné na deformace od zkroucení, například kruhové duté průřezy nebo průřezy podepřené proti zkroucení;
- pruty, které jsou náchylné na deformace od zkroucení, například pruty otevřeného průřezu, nepodepřené proti zkroucení.

(2) Navíc má únosnost prutů na obou koncích prutu splňovat požadavky podle 6.2.

POZNÁMKA 1 Interakční vztahy jsou založeny na modelu prostě podepřeného prutu o jednom poli s vidlicovým podepřením na koncích, který je nebo není spojitě příčně podepřen a který je zatížen tlakovými silami, koncovými momenty a/nebo příčným zatížením.

POZNÁMKA 2 Jestliže nejsou aplikační podmínky (1) a (2) splněny, viz 6.3.4.

(3) Únosnost prutů konstrukčních systémů je možné posoudit jako únosnost jednotlivých prutů o jednom poli, uvažovaných jako výřez z konstrukčního systému. Účinky druhého řádu z naklonění soustavy (P-Δ účinky) se musí uvážit buď pomocí momentů na koncích prutu nebo pomocí příslušných vzpěrných délek, viz 5.2.2(3)c) a 5.2.2(8).

<sup>NP18)</sup> NÁRODNÍ POZNÁMKA V ČR platí doporučené hodnoty, viz národní příloha, NA.2.18.

<sup>NP19)</sup> NÁRODNÍ POZNÁMKA V ČR platí doporučené hodnoty, viz národní příloha, NA.2.19.



(4) Pruty namáhané kombinací ohybu a osového tlaku mají splňovat podmínky:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk}} + k_{yy} \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} M_{y,Rk}} + k_{yz} \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{M_{z,Rk}} \leq 1 \quad (6.61)$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk}} + k_{zy} \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} M_{y,Rk}} + k_{zz} \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{M_{z,Rk}} \leq 1 \quad (6.62)$$

kde  $N_{Ed}$ ,  $M_{y,Ed}$  a  $M_{z,Ed}$  jsou návrhové hodnoty tlakové síly a největších momentů k ose y-y a z-z, působící na prutu;

$M_{y,Ed}$ ,  $\Delta M_{z,Ed}$  momenty v důsledku posunu těžišťové osy podle 6.2.9.3, pro průřezy třídy 4, viz tabulku 6.7;

$\chi_y$  a  $\chi_z$  součinitele vzpěrnosti při rovinném vzpěru podle 6.3.1;

$\chi_{LT}$  součinitel klopení podle 6.3.2;

$k_{yy}$ ,  $k_{yz}$ ,  $k_{zy}$ ,  $k_{zz}$  součinitele interakce.

**Tabulka 6.7 – Hodnoty pro výpočet  $N_{Rk} = f_y A_i$ ,  $M_{i,Rk} = f_y W_i$  a  $\Delta M_{i,Ed}$**

Třída průřezu	1	2	3	4
$A_i$	A	A	A	$A_{eff}$
$W_y$	$W_{pl,y}$	$W_{pl,y}$	$W_{el,y}$	$W_{eff,y}$
$W_z$	$W_{pl,z}$	$W_{pl,z}$	$W_{el,z}$	$W_{eff,z}$
$\Delta M_{y,Ed}$	0	0	0	$e_{N,y} N_{Ed}$
$\Delta M_{z,Ed}$	0	0	0	$e_{N,z} N_{Ed}$

POZNÁMKA Pro pruty necitlivé na distorzní deformace se uvažuje  $\chi_{LT} = 1,0$ .

(5) Součinitele interakce  $k_{yy}$ ,  $k_{yz}$ ,  $k_{zy}$ ,  $k_{zz}$  závisí na metodě, která se použije.

POZNÁMKA 1 Součinitele interakce  $k_{yy}$ ,  $k_{yz}$ ,  $k_{zy}$  a  $k_{zz}$  byly odvozeny ze dvou alternativních postupů. Hodnoty těchto součinitelů je možné získat z přílohy A (alternativní metoda 1) nebo z přílohy B (alternativní metoda 2).

POZNÁMKA 2 Národní příloha může vybrat mezi alternativní metodou 1 nebo alternativní metodou 2.<sup>NP20)</sup>

POZNÁMKA 3 Pro jednoduchost lze ověřování provádět pouze v pružné oblasti.

### 6.3.4 Obecná metoda pro vzpěr z roviny a klopení konstrukčních částí

(1) Následující metoda se může použít, jestliže metody podle 6.3.1, 6.3.2 a 6.3.3 nejsou vhodné. Umožňuje ověřit únosnost při vzpěru z roviny a při klopení částí konstrukce, jako jsou:

- samostatné pruty, členěné nebo celistvé, stálého nebo proměnného průřezu, vetknuté nebo prostě podepřené, nebo
- rovinné prutové konstrukce nebo dílčí konstrukce, složené z takových prutů;

kteřé jsou namáhány tlakem a/nebo ohybem v rovině, ale neobsahují otočné plastické klouby.

POZNÁMKA V národní příloze je možné stanovit obor a meze platnosti této metody.<sup>NP21)</sup>

(2) Celková únosnost libovolných konstrukčních prvků při klopení, jejichž přehled je v (1), se může prokázat splněním podmínky:

<sup>NP20)</sup> NÁRODNÍ POZNÁMKA Viz národní příloha, NA.2.20.

<sup>NP21)</sup> NÁRODNÍ POZNÁMKA Další informace nejsou v NA uvedeny, viz národní příloha, NA.2.21.

$$\frac{\chi_{op} \alpha_{ult,k}}{\gamma_{M1}} \geq 1,0 \quad (6.63)$$

kde  $\alpha_{ult,k}$  je nejmenší násobitel návrhového zatížení, při kterém se dosáhne hodnota charakteristické únosnosti v rozhodujícím průřezu konstrukční části při jeho namáhání v rovině, ale bez uvažování vzpěru z roviny nebo klopení. Přitom se však uvažují všechny příslušné účinky globálních a místních deformací a imperfekcí v rovině,

$\chi_{op}$  součinitel vzpěrnosti pro poměrnou štíhlost  $\bar{\lambda}_{op}$ , viz (3), uvažující vzpěr z roviny a klopení.

(3) Globální poměrná štíhlost  $\bar{\lambda}_{op}$  konstrukční části se má stanovit z výrazu:

$$\bar{\lambda}_{op} = \sqrt{\frac{\alpha_{ult,k}}{\alpha_{cr,op}}} \quad (6.64)$$

kde  $\alpha_{ult,k}$  je definováno v (2);

$\alpha_{cr,op}$  nejmenší násobitel návrhových zatížení působících v rovině, při kterém se dosáhne pružná kritická únosnost konstrukční části, stanovená s ohledem na vzpěr z roviny a klopení, ale bez uvažování vybočení v rovině zatížení.

POZNÁMKA Pro stanovení  $\alpha_{cr,op}$  a  $\alpha_{ult,k}$  se může použít analýza metodou konečných prvků.

(4) Součinitel vzpěrnosti  $\chi_{op}$  se může určit pomocí jedné z následujících metod:

a) jako menší z hodnot:

$\chi$  pro vzpěr z roviny podle 6.3.1;

$\chi_{LT}$  pro klopení podle 6.3.2;

vypočtených pro globální poměrnou štíhlost  $\bar{\lambda}_{op}$ .

POZNÁMKA Například, když  $\alpha_{ult,k}$  se stanoví z posouzení průřezu  $\frac{1}{\alpha_{ult,k}} = \frac{N_{Ed}}{N_{Rk}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rk}}$ , vede tato metoda

k výrazu:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{Rk}/\gamma_{M1}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rk}/\gamma_{M1}} \leq \chi_{op} \quad (6.65)$$

b) jako hodnota určená interpolací mezi hodnotami  $\chi$  a  $\chi_{LT}$ , určenými v a), s použitím vztahu pro  $\alpha_{ult,k}$  v rozhodujícím průřezu.

POZNÁMKA Například když  $\alpha_{ult,k}$  se stanoví z posouzení průřezu  $\frac{1}{\alpha_{ult,k}} = \frac{N_{Ed}}{N_{Rk}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rk}}$ , vede tato metoda

k výrazu:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi N_{Rk}/\gamma_{M1}} + \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} M_{y,Rk}/\gamma_{M1}} \leq 1 \quad (6.66)$$

### 6.3.5 Klopení prutů s plastickými klouby

#### 6.3.5.1 Všeobecně

(1)B Konstrukce mohou být navrženy pomocí plasticitní analýzy za předpokladu, že se klopení prutové konstrukce zabrání následujícími způsoby:

- podepřením v místech „rotačních“ plastických kloubů, viz 6.3.5.2, a
- ověřením stability v úseku mezi příčnými podporami plastických kloubů a jinými příčnými podporami, viz 6.3.5.3.

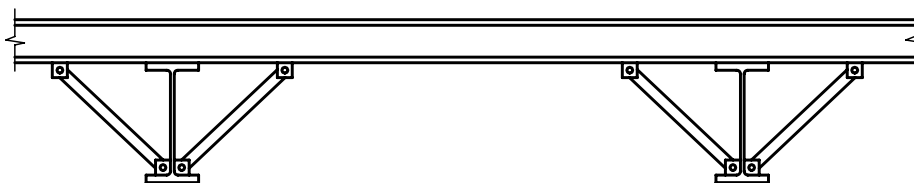
(2)B Jestliže při všech kombinacích zatížení v mezních stavech únosnosti jsou plastické klouby „nerotační“, není příčné podepření těchto plastických kloubů nutné.

### 6.3.5.2 Podepření rotačních plastických kloubů

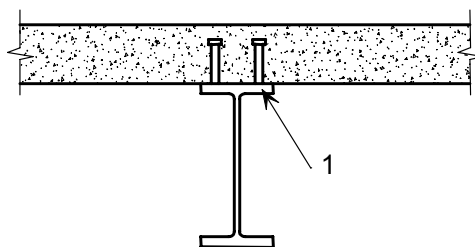
(1)B V místech všech rotačních plastických kloubů má být průřez účinně podepřen proti příčnému vybočení a zkroucení. Toto podepření má mít potřebnou únosnost pro příčné síly a kroucení, vyvolané místními plastickými deformacemi prutu v posuzovaném místě.

(2)B Účinné podepření má být provedeno:

- u prutů přenášejících moment nebo moment a osovou sílu pomocí příčného podepření obou pásnic. Může být také provedeno pomocí příčného podepření jedné pásnice a tuhým podepřením průřezu proti zkroucení, které zabezpečuje průřez proti příčnému posunutí tlačené pásnice vzhledem k tažené pásnici, viz obrázek 6.5;
- u prutů přenášejících pouze moment nebo moment a osový tah, jejichž tlačená pásnice je spojena se stropní deskou, pomocí podepření tlačené pásnice proti příčnému posunutí a zkroucení (například spojením s deskou, viz obrázek 6.6). U průřezů štíhlejších než válcované I a H průřezy se má zabránit jejich distorzi v místě plastického kloubu (například výztuhou stojiny, připojenou k tlačené pásnici, která je tuze spojena s deskou).



Obrázek 6.5 – Typické tuhé podepření proti zkroucení



Legenda:

1 tlačená pásnice

Obrázek 6.6 – Typické podepření tlačené pásnice proti příčnému posunutí a zkroucení spojením s deskou

(3)B V místě každého plastického kloubu má být přípoj tlačené pásnice (například šrouby) k podporujícímu prvku v tomto místě (například vaznice) a všechny navazující prvky (například šikmá vzpěra) navrženy tak, aby přenesly místní sílu rovnu neméně 2,5 %  $N_{f,Ed}$  (definováno v 6.3.5.2(5)B), přenášenou pásnicí v její rovině, kolmé k rovině stojiny, bez kombinace s jinými zatíženími.

(4)B Jestliže není praktické provést takové podepření přímo v místě plastického kloubu, má se provést ve vzdálenosti menší než  $h/2$  podél délky prutu, kde  $h$  je celková výška průřezu v místě plastického kloubu.

(5)B Při navrhování výztužného systému, viz 5.3.3, se má kromě uvážení vlivu imperfekcí podle 5.3.3 posoudit, že výztužný systém může odolávat účinkům místních sil  $Q_m$ , působících na všechny stabilizované pruty v místech plastických kloubů, kde:

$$Q_m = 1,5 \alpha_m \frac{N_{f,Ed}}{100} \quad (6.67)$$

kde  $N_{f,Ed}$  je osová síla v tlačené pásnici stabilizovaného prutu v místě plastického kloubu;

$\alpha_m$  se stanoví podle 5.3.3(1).

POZNÁMKA Pro kombinaci s vnějším zatížením, viz také 5.3.3(5).

### 6.3.5.3 Ověření stabilní délky úseku mezi podporami

(1)B Klopení úseků mezi příčnými podporami se může ověřit posouzením vzdálenosti mezi příčnými podporami, která nemá být větší než stabilní délka.

Stabilní délka úseku nosníku stálého I nebo H průřezu s  $\frac{h}{t_f} \leq 40\varepsilon$ , zatíženého koncovými momenty bez významného osového tlaku, se může stanovit z výrazů:

$$\begin{aligned} L_{\text{stable}} &= 35\varepsilon i_z && \text{pro } 0,625 \leq \psi \leq 1 \\ L_{\text{stable}} &= (60 - 40\psi)\varepsilon i_z && \text{pro } -1 \leq \psi \leq 0,625 \end{aligned} \quad (6.68)$$

kde  $\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}}$

$$\psi = \frac{M_{\text{Ed,min}}}{M_{\text{pl,Rd}}} = \text{poměr koncových momentů v úseku.}$$

POZNÁMKA B Pro určení stabilní délky úseku, viz také přílohu BB.3.

(2)B Jestliže je rotační plastický kloub v těsné blízkosti jednoho konce náběhu, není nutné zkosený úsek posuzovat jako úsek v blízkosti plastického kloubu, jestliže jsou splněny následující podmínky:

- podepření v místě plastického kloubu je v menší vzdálenosti než  $h/2$  podél délky zkoseného úseku;
- namáhání tlačené pásnice v celé délce náběhu zůstává v pružné oblasti.

POZNÁMKA B Pro více informací, viz přílohu BB.3.

## 6.4 Členěné tlačené pruty stálého průřezu

### 6.4.1 Všeobecně

(1) Členěné tlačené pruty stálého průřezu na koncích kloubově uložené a příčně podepřené, se mají navrhovat podle následujícího modelu, viz obrázek 6.7:

- prut se může uvažovat jako tlačенý prvek s imperfekcemi ve tvaru sinusoidy, kde  $e_0 = \frac{L}{500}$ ;
- pružné deformace příhradových nebo rámových spojek, viz obrázek 6.7, se mohou uvažovat jako spojitá (rozmazaná) smyková tuhost  $S_v$  sloupu.

POZNÁMKA Pro jiné okrajové podmínky se mohou provést příslušné úpravy.

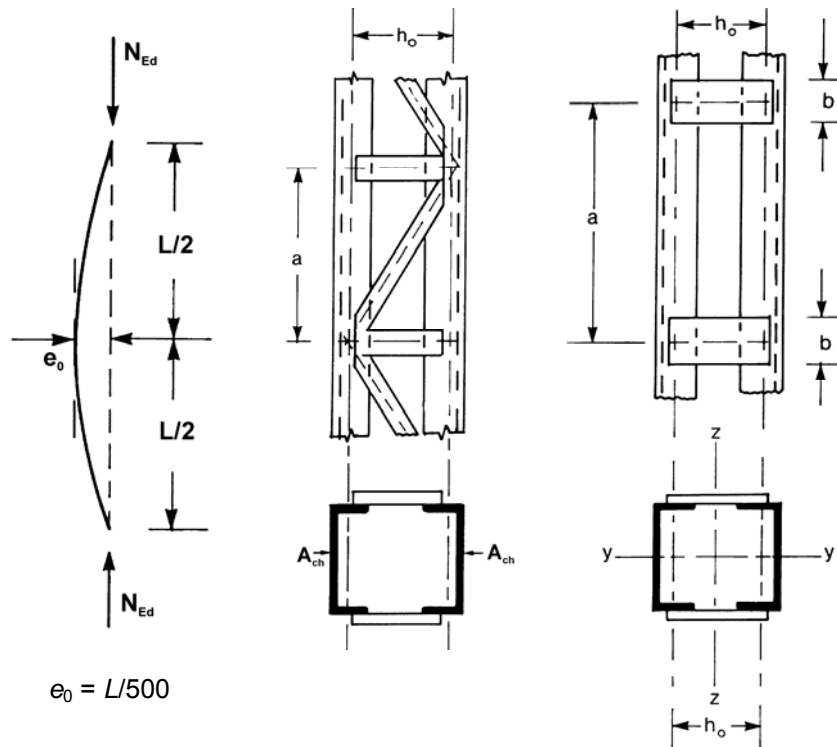
(2) Model členěného tlačěného prutu stálého průřezu se použije, jestliže:

- příhradové nebo rámové spojky tvoří stejné panely s rovnoběžnými pásy;
- na prutu jsou nejméně tři panely.

POZNÁMKA Takový předpoklad umožňuje považovat konstrukci za pravidelnou a rozmazat členěnou konstrukci do kontinuální.

(3) Návrhový postup lze použít pro členěné pruty s příhradovými spojkami ve dvou rovinách, viz obrázek 6.8.

(4) Pásy mohou být z celistvých prutů nebo mohou být rovněž členěné s příhradovými nebo rámovými spojkami v kolmé rovině.



$$e_0 = L/500$$

**Obrázek 6.7 – Členěné pruty stálého průřezu s příhradovými a rámovými spojkami**

- (5) Pásky se mají posoudit na návrhovou sílu v pásu  $N_{ch,Ed}$ , která se stanoví z tlakových sil  $N_{Ed}$  a momentů  $M_{Ed}$  uprostřed výšky členěného prutu.
- (6) Pro prut se dvěma stejnými pásky se návrhová síla  $N_{ch,Ed}$  stanoví z výrazu:

$$N_{ch,Ed} = 0,5N_{Ed} + \frac{M_{Ed}h_0A_{ch}}{2l_{eff}} \quad (6.69)$$

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

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

$N_{cr}$  je účinná kritická síla členěného prutu;

$N_{Ed}$  návrhová hodnota tlakové síly členěného prutu;

$M_{Ed}$  návrhová hodnota největšího momentu uprostřed členěného prutu s uvážením účinků druhého řádu;

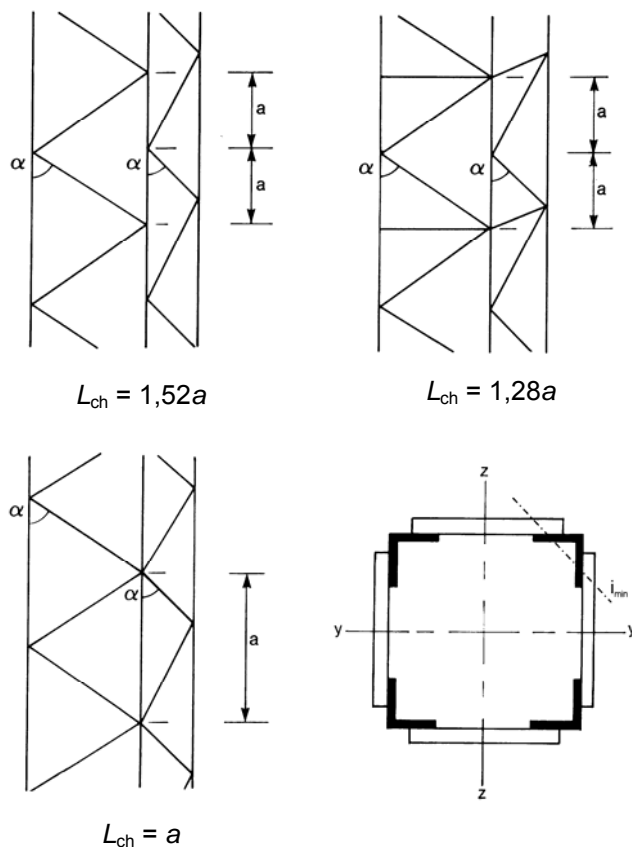
$M_{Ed}^1$  návrhová hodnota největšího momentu uprostřed členěného prutu bez uvážení účinků druhého řádu;

$h_0$  vzdálenost mezi těžišti pásků;

$A_{ch}$  průřezová plocha jednoho pásu;

$l_{eff}$  účinný moment setrvačnosti členěného prutu, viz 6.4.2 a 6.4.3;

$S_v$  smyková tuhost panelu s příhradovými nebo rámovými spojkami, viz 6.4.2 a 6.4.3.



**Obrázek 6.8 – Příhradové spojky ve čtyřech stěnách a vzpěrná délka  $L_{ch}$  pásů**

(7) Posouzení spojek členěného prutu s příhradovými spojkami nebo rámových momentů a smykových sil v panelech členěného prutu s rámovými spojkami, se má provést pro koncový panel s uvážením smykové síly členěného prutu:

$$V_{Ed} = \pi \frac{M_{Ed}}{L} \quad (6.70)$$

#### 6.4.2 Členěné tlačené pruty s příhradovými spojkami

##### 6.4.2.1 Únosnost součástí členěných tlačěných prutů s příhradovými spojkami

(1) Pásy a tlačěné diagonální spojky se mají posoudit na vzpěr.

POZNÁMKA Momenty druhého řádu je možné zanedbat.

(2) Pásy se mají na vzpěr posoudit následovně:

$$\frac{N_{ch,Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1,0 \quad (6.71)$$

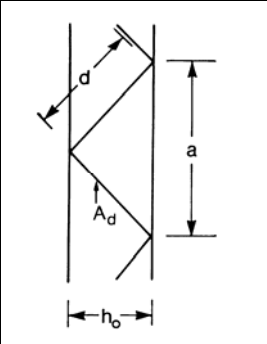
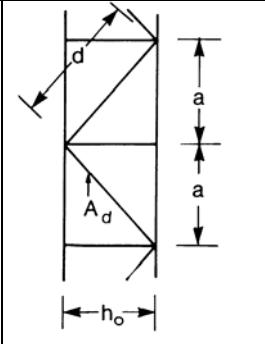
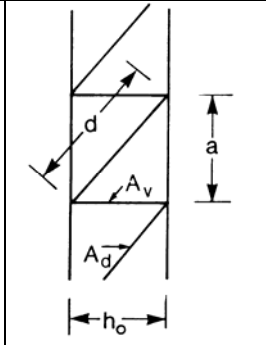
kde  $N_{ch,Ed}$  je návrhová tlaková síla v pásu uprostřed délky členěného prutu podle 6.4.1(6);

$N_{b,Rd}$  návrhová vzpěrná únosnost pásu pro vzpěrnou délku  $L_{ch}$  podle obrázku 6.8.

(3) Smyková tuhost  $S_V$  příhradových spojek se má stanovit podle obrázku 6.9.

(4) Účinný moment setrvačnosti členěných prutů s příhradovými spojkami lze stanovit z výrazu:

$$I_{eff} = 0,5 h_0^2 A_{ch} \quad (6.72)$$

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

**Obrázek 6.9 – Smyková tuhost příhradových spojek členěných prutů**

#### 6.4.2.2 Konstrukční detaily

(1) Jednoduchý příhradový systém spojek na protilehlých stranách členěného prutu se dvěma rovnoběžnými rovinami příhradových spojek má odpovídat uspořádání podle obrázku 6.10(a). Spojky v jedné rovině mají být uspořádány tak, že jsou vrženým stínem spojek ve druhé rovině.

(2) Jestliže je jednoduchý příhradový systém spojek na protilehlých stranách členěného prutu se dvěma rovnoběžnými rovinami příhradových spojek uspořádán vzájemně protisměrně podle obrázku 6.10(b), má se uvážit z toho plynoucí účinek kroucení prutu.

(3) Na koncích příhradového systému spojek v bodech, ve kterých je tento systém přerušen a v bodech spojení s jinými pruty má být provedeno vyztužení členěného průřezu.

#### 6.4.3 Členěné tlačené pruty s rámovými spojkami

##### 6.4.3.1 Únosnost součástí členěných tlačěných prutů s rámovými spojkami

(1) Pásy a rámové spojky a jejich přípoje k pásům se mají posoudit na skutečné momenty a síly v koncové sekci a uprostřed výšky, viz obrázek 6.11.

POZNÁMKA Pro zjednodušení je možné kombinovat největší síly v pásech  $N_{ch,Ed}$  s největší smykovou silou  $V_{Ed}$ .

(2) Smyková tuhost  $S_v$  se může stanovit následovně:

$$S_v = \frac{24E I_{ch}}{a^2 \left[ 1 + \frac{2I_{ch} h_0}{n I_b a} \right]} \leq \frac{2\pi^2 E I_{ch}}{a^2} \quad (6.73)$$

(3) Účinný moment setrvačnosti členěných prutů s rámovými spojkami se může stanovit z výrazu:

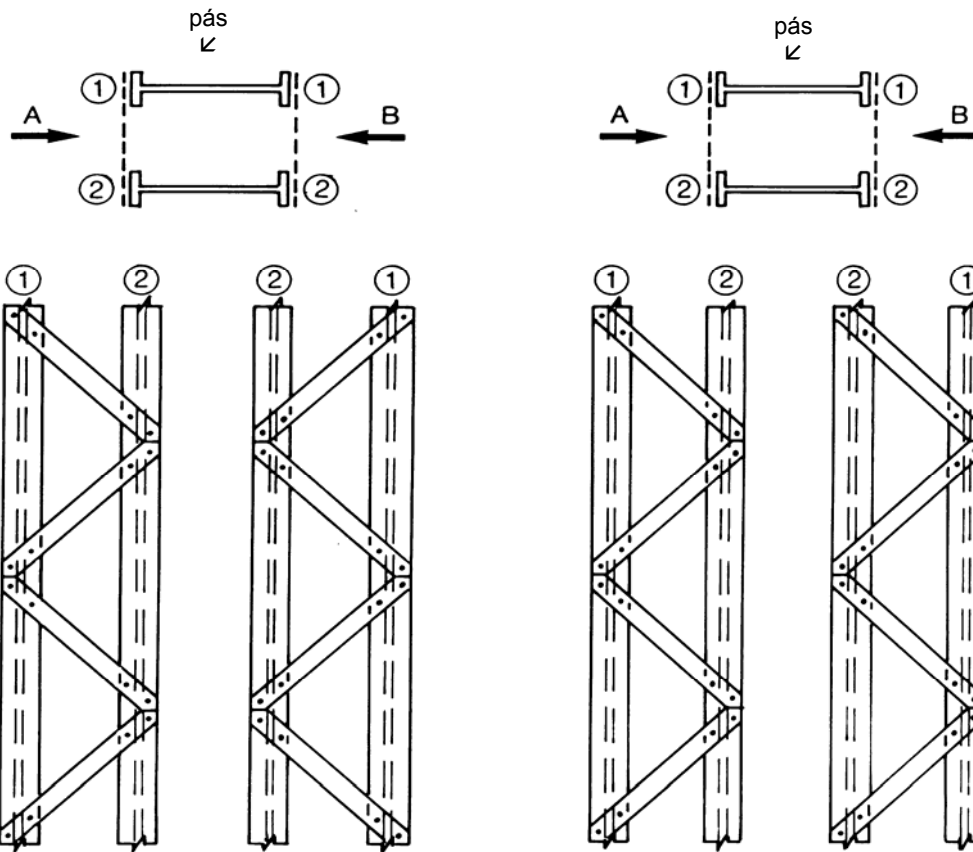
$$I_{eff} = 0,5h_0^2 A_{ch} + 2\mu I_{ch} \quad (6.74)$$

kde  $I_{ch}$  je moment setrvačnosti jednoho pásu v rovině;

$I_b$  moment setrvačnosti jedné rámové spojky v rovině;

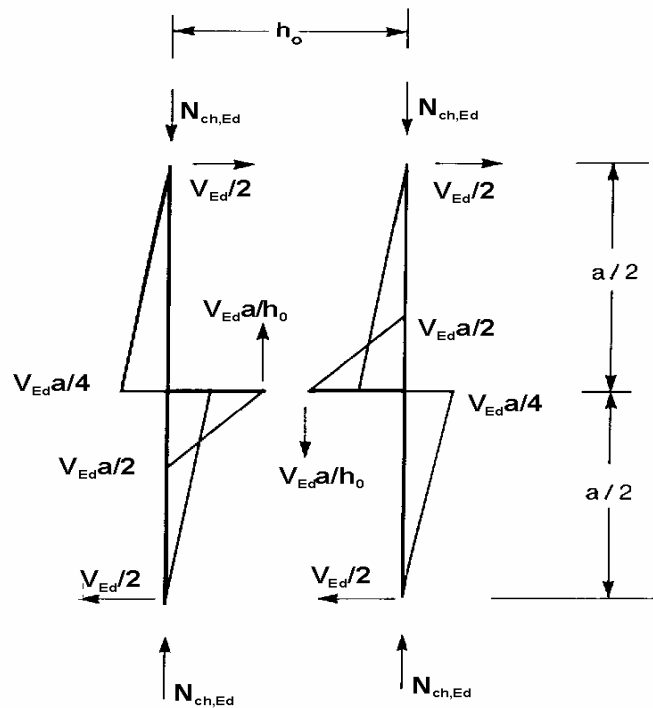
$\mu$  součinitel účinnosti podle tabulky 6.8;

$n$  počet rovin s rámovými spojkami.



Příhradovina na povrchu A   Příhradovina na povrchu B   Příhradovina na povrchu A   Příhradovina na povrchu B  
 a) Souběžný systém příhradových spojek (Doporučený systém)      b) Vzájemně protisměrný systém příhradových spojek (Nedoporučuje se)

**Obrázek 6.10 – Jednoduchý systém příhradových spojek dvou protilehlých stran členěného prutu**



**Obrázek 6.11 – Momenty a síly v koncovém panelu členěného prutu s rámovými spojkami**



**Tabulka 6.8 – Součinitel účinnosti  $\mu$**

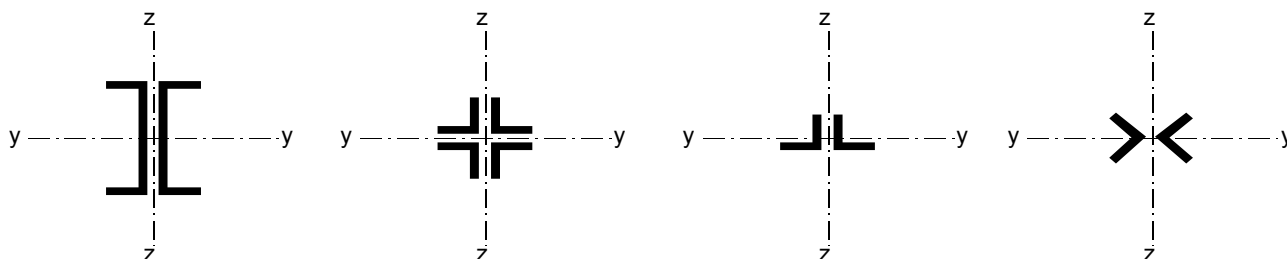
Podmínka	Součinitel účinnosti $\mu$
$\lambda \geq 150$	0
$75 < \lambda < 150$	$\mu = 2 - \frac{\lambda}{75}$
$\lambda \leq 75$	1,0
kde $\lambda = \frac{L}{i_0}$ ; $i_0 = \sqrt{\frac{I_1}{2A_{ch}}}$ ; $I_1 = 0,5h_0^2 A_{ch} + 2I_{ch}$	

### 6.4.3.2 Konstrukční detaily

- (1) Rámové spojky se mají provést na obou koncích prutu.
- (2) Jestliže jsou rámové spojky provedeny v rovnoběžných rovinách, mají být v obou rovinách uspořádány vzájemně proti sobě.
- (3) Rámové spojky se také mají provést v mezilehlých bodech, ve kterých se přenáší zatížení nebo je připojeno příčné podepření.

### 6.4.4 Složené členěné pruty

- (1) Tlačené členěné pruty, jejichž pásy na sebe doléhají nebo jsou umístěny blízko sebe a jsou spojeny vložkami, viz obrázek 6.12, nebo křížové pruty z úhelníků spojené dvojicemi spojek ve dvou kolmých rovinách, viz obrázek 6.13, se mají posuzovat na vzpěr jako jeden celistvý prut se zanedbáním vlivu smykové tuhosti ( $S_v = \infty$ ), jestliže jsou splněny podmínky uvedené v tabulce 6.9.



**Obrázek 6.12 – Složené členěné pruty**

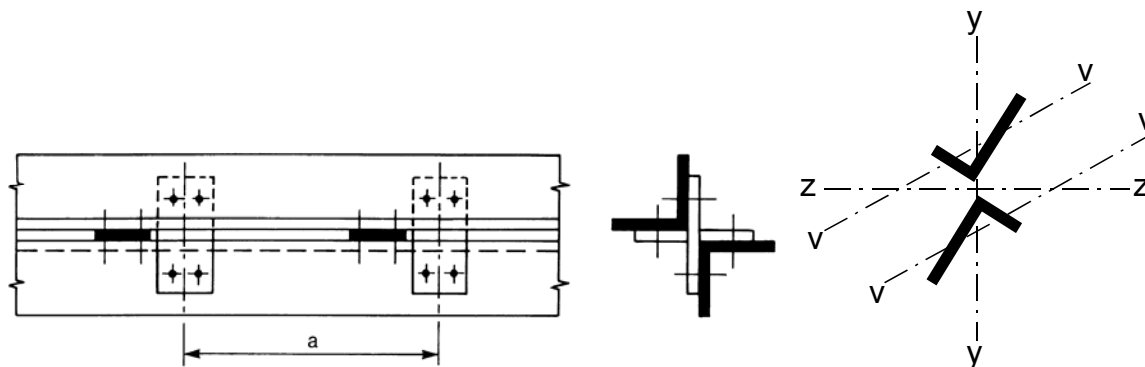
**Tabulka 6.9 – Největší rozteče spojek ve složených členěných prutech nebo v křížových členěných prutech z úhelníků**

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

- (2) Smykové síly přenášené spojkami se mají stanovit podle 6.4.3.1(1).
- (3) Při použití nerovnoramenných úhelníků, viz obrázek 6.13, se může vzpěr k ose y-y posuzovat s hodnotou:

$$i_y = \frac{i_0}{1,15} \tag{6.75}$$

kde  $i_0$  je nejmenší poloměr setrvačnosti členěného prutu.



Obrázek 6.13 – Křížové členěné pruty z úhelníků

## 7 Mezní stavy použitelnosti

### 7.1 Všeobecně

- (1) Ocelová konstrukce má být navržena a postavena tak, aby všechny příslušné podmínky použitelnosti byly splněny.
- (2) Základní požadavky mezních stavů použitelnosti jsou uvedeny v EN 1990, 3.4.
- (3) V projektu má být uvedena specifikace mezních stavů použitelnosti a příslušných zatěžovacích a výpočetních modelů.
- (4) Když se v mezním stavu únosnosti použije plasticitní globální analýza, může v mezním stavu použitelnosti nastat plastická redistribuce sil a momentů. Když takový případ nastane, mají se tyto účinky uvažovat.

### 7.2 Mezní stavy použitelnosti pozemních staveb

#### 7.2.1 Svislé průhyby

- (1)B Podle EN 1990, příloha A1.4 se mají největší hodnoty svislých průhybů podle obrázku A1.1 stanovit v projektu a dohodnout s objednatelem.

POZNÁMKA B Největší hodnoty svislých průhybů je možné stanovit v národní příloze.<sup>NP22)</sup>

#### 7.2.2 Vodorovné průhyby

- (1)B Podle EN 1990, příloha A1.4 se mají největší hodnoty vodorovných průhybů podle obrázku A1.2 stanovit v projektu a dohodnout s objednatelem.

POZNÁMKA B Největší hodnoty vodorovných průhybů je možné stanovit v národní příloze.<sup>NP23)</sup>

#### 7.2.3 Dynamické účinky

- (1)B Podle EN 1990, příloha A1.4.4 se má omezit kmitání veřejně přístupných konstrukcí, aby se vyloučilo podstatné nepohodlí uživatelů. Největší hodnoty se mají stanovit v projektu a dohodnout s objednatelem.

POZNÁMKA B Největší hodnoty kmitání stropů je možné stanovit v národní příloze.<sup>NP24)</sup>

NP22) NÁRODNÍ POZNÁMKA Viz národní příloha, NA.2.22.

NP23) NÁRODNÍ POZNÁMKA Viz národní příloha, NA.2.23.

NP24) NÁRODNÍ POZNÁMKA Viz národní příloha, NA.2.24.