



Jednotný programový dokument pro cíl 3 regionu (NUTS2) hl. m. Praha (JPD3)

Projekt **DALŠÍ VZDĚLÁVÁNÍ PEDAGOGŮ V OBLASTI
NAVRHOVÁNÍ STAVEBNÍCH KONSTRUKCÍ PODLE EVROPSKÝCH NOREM**

Projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem (ESF), státním rozpočtem České republiky a rozpočtem hlavního města Prahy.

Ocelové konstrukce

**České vysoké učení technické v Praze
Fakulta stavební**





1. Předmluva a všeobecně

Vývoj Eurokódů: 1975 rozhodnutí Komise ES.

1989 CPD (směrnice pro stav. výrobky),
předáno CEN.

Požadavky CPD: Základní - mechanická únosnost a stabilita,
- bezpečnost při požáru.

Kompatibilita s normami výrobků:

EN, ETA, ETAG.

ČSN EN 1993-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní
stavby.

Norma má 12 částí.



Pokračování týkající se normy ČSN EN 1993-1-1:

Všeobecně:

- P (zásady),
- aplikační pravidla (ostatní),
- B (týká se jen pozemních staveb),
- $t \geq 3$ mm,
- zatížení má index S (N_{Sd}).

Národní příloha: 25 národních parametrů.



2. Zásady navrhování

Metodika: ČSN EN 1990 (návrhové situace)

Zatížení: ČSN EN 1991

V České republice platí:

$$g_G = 1,35 \text{ a } g_Q = 1,5$$

součinitele kombinace ψ_0 (např. pro sníh 0,5)

popř. ψ_1 (např. pro vítr 0,2)

Trvalá a dočasná návrhová situace: více možností,
Ize však použít způsob platný i v ČSN EN 1993-1-1:

$$\sum_{j \geq 1} g_{G,j} G_{k,j} + g_P P + g_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} g_{Q,i} Y_{0,i} Q_{k,i}$$



3. Materiály

ČSN EN 10025/2004:

**S 235 až S 460 bez G1, G2
bez G3, G4 (+N, +AR)
N, M, Q, NL, ML, QL, QL1**

**S 235 W, S 355 W (typ Atmofix)
od září 06 požadovat evropskou zn. CE**

Křehký lom: EN 1993-1-10, v ČR uvažovat -35 °C

Namáhání kolmo k povrchu:

zlepšené vlastnosti: tab. hodnoty Z_{Ed}

Materiál pro spoje: EN 1993-1-8

Ocelové konstrukce



4. Trvanlivost

Obecné požadavky uvádí ČSN EN 1990.

- **zajistit ochranu proti korozi**
(u vnitřních částí pozemních staveb s relativní vlhkostí do 80 % není potřebná),
- **zajistit přístupnost pro kontrolu a údržbu,**
- **konstrukce zatížené pohyblivým zatížením a zatížením rázy je nutné posoudit na únavu.**



5. Analýza konstrukce

5.1 Modelování konstrukce:

- vliv spojů a interakce s podložím se uvažují výjimečně.

5.2 Globální analýza (stanovení vnitřních sil):

- pružnostní řešení (nelineární analýza v odstavci 5.4),
- změny oproti ČSN ENV 1993-1:
 - neuvádí se „posuvné“ a „neposuvné“ styčníky,
 - stabilita konstrukcí se posuzuje odlišně.



Pokračování:

Prvořadě rozhodnout, lze-li řešit teorií 1. řádu:

pružnostní analýza

plasticitní analýza

$$a_{cr} = \frac{F_{cr}}{F_{Ed}} \geq 10$$

$$a_{cr} = \frac{F_{cr}}{F_{Ed}} \geq 15$$

Ize i přibližně

$$a_{cr} = \frac{H_{Ed}}{V_{Ed}} \frac{h}{\delta_{H,Ed}}$$

Jinak nutno uvažovat účinky 2. řádu.

(téměř vždy oblouky, vždy lanové konstrukce)



Pokračování:

Posouzení stability:

**a) Imperfektní konstrukci (globální + lokální imperfekce)
řešit 2. řádem a posoudit jen **pevnostně**.**

**b) Konstrukci jen s globálními imperfekcemi (naklonění)
řešit 2. řádem. Posouzení prutů pro **systemové délky**.**

Účinky 2. řádu lze též určit přibližně (pro $a_{cr} \geq 3$):

přenásobit účinky posunu styčniců souč. 2. řádu

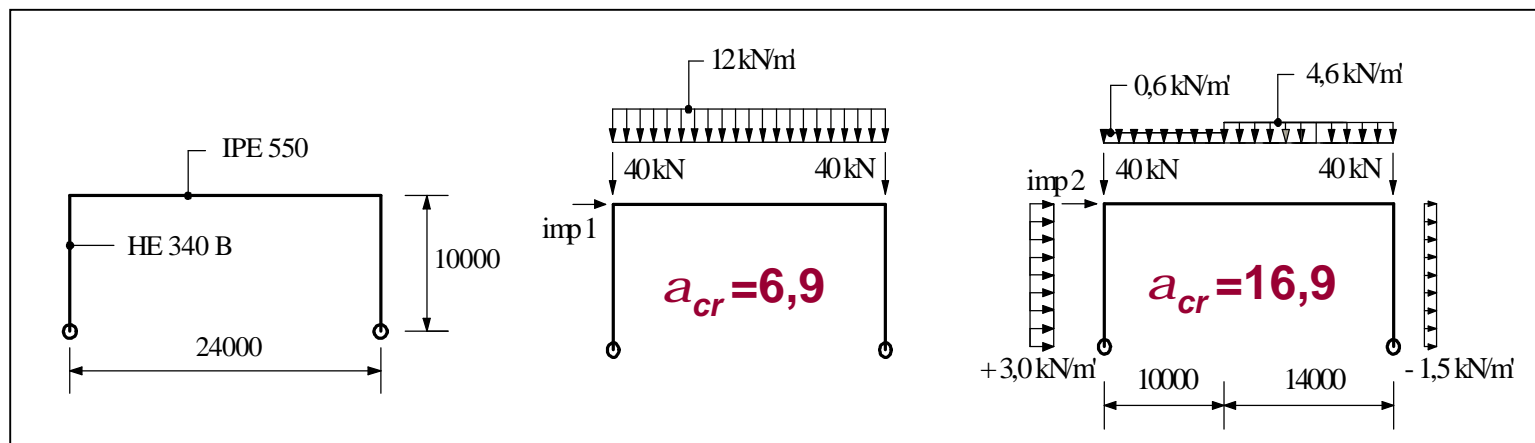
$$1 - \frac{1}{a_{cr}}$$

Pokračování:

c) Pokud $a_{cr} > 10$:

- lze řešit teorií 1. řádu,
- vzpěrné délky určit z globálního vybočení,
- posoudit ekvivalentní prut (součinitelé c , c_{LT}).

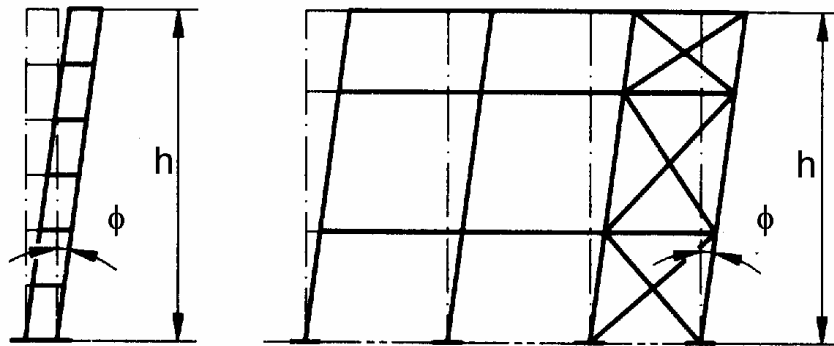
Příklad:



5.3 Imperfekce:

Zavádí se ekvivalentní geometrické imperfekce.

a) Náklon patrové soustavy $F = F_0 a_h a_m$



Zahrnuje:

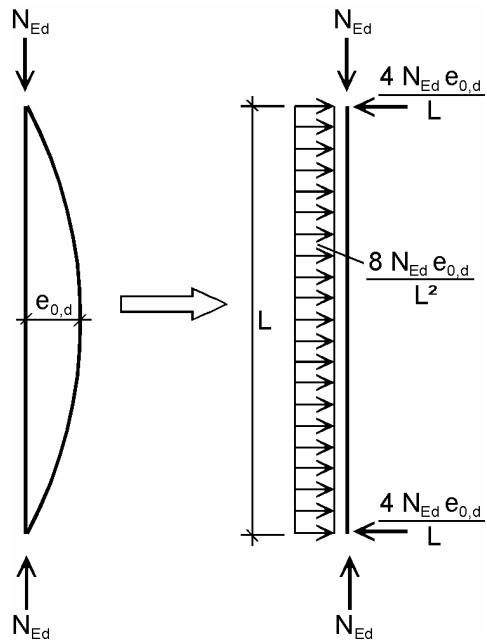
- vliv výšky
- vliv počtu sloupů

Pro $H_{Ed} \geq 0,15 V_{Ed}$

lze zanedbat.

Pokračování:

b) Prutové imperfekce



b1) Přímo z tabulky:

Křivka vzpěrné pevnosti podle tabulky normy 6.1	pružnostní analýza	plasticitní analýza
	e_0 / L	
a_0	1/350	1/300
a	1/300	1/250
b	1/250	1/200
c	1/200	1/150
d	1/150	1/100

Pokračování:

b2) Z „kritického tvaru“ (1. vlastní tvar)

amplituda e_0 : z podmínky aby únosnost stanovená 2. řádem pro rozhodující prut byla stejná jako při výpočtu se součiniteli c a c_{LT}

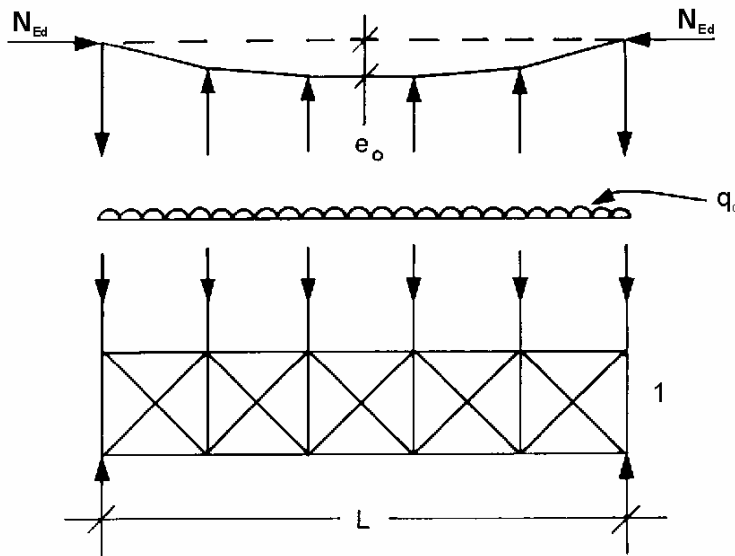
Příklad:



$$e_0 = a \left(\bar{I} - 0,2 \right) \frac{M_{RK}}{N_{RK}} \frac{1 - \frac{c \bar{I}^2}{g_{M1}}}{1 - c \bar{I}^2}$$

Pokračování:

c) Imperfekce výztužných systémů



- tvar sinusovky:

$$e_0 = a_m L / 500$$

- popř. ekvív. zatížení:

$$q_d = \sum N_{Ed} \cdot 8 \frac{e_0 + d_q}{L^2}$$



5.4 Nelinearita materiálu (plasticitní řešení)

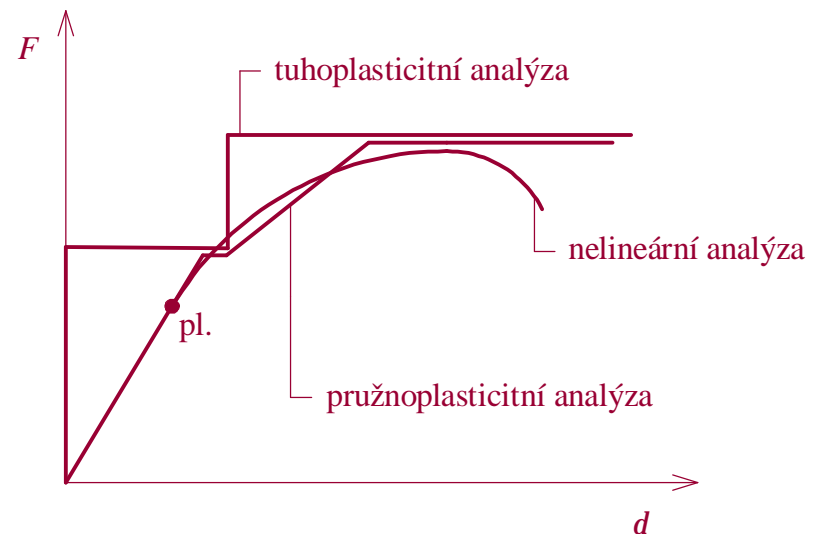
- V ČSN EN 1993-1 jen obecná kapitola.
- Vždy lze řešit pružnostně (je konzervativní).
- Plasticity za určitých podmínek:
 - průřez 1. třídy,
 - stabilitu řešit 2. řádem,
 - průřez symetrický v rovině rotace,
 - plastické klouby příčně zajistit a stojinu vyztužit,
pokud $V_{Ed} > 0,1 V_{Rd}$



Pokračování:

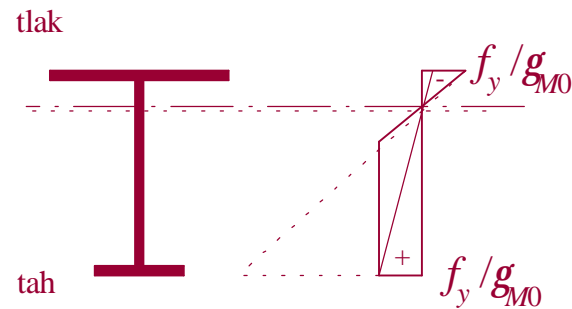
Řešení:

- nelineární analýza se vznikem plastických zón (počítač),
- pružnoplasticky se vznikem plastických kloubů (počítač),
- tuhoplasticitní analýza (kloubové mechanismy).



5.5 Klasifikace průřezů

- 4 třídy,
- u průřezu 3 třídy:
 - lze využít plasticitu v tažené oblasti,



- jsou-li pásnice třídy 1 nebo 2, lze zavést účinný průřez třídy 2 (část stojiny neuvažovat).



Pokračování:

Důležité upozornění:

veškeré boulení

- od normálového napětí (průřezy třídy 4),
 - od smyku při velké štíhlosti stojin,
 - vyztužené stojiny a pásnice výztuhami,
- jsou řešeny v ČSN EN 1993-1-5 (Boulení stěn)**



6. Mezní stavy únosnosti

Součinitele spolehlivosti materiálu g_{Mi} :

- průřezy $g_{M0} = 1,0$
- stabilita prutů $g_{M1} = 1,0$
- oslabené průřezy $g_{M2} = 1,25$
- spoje viz EN 1993-1-8



Mezní stavy únosnosti

6.2 Posouzení průřezu

- Tah, tlak, ohyb – shodné s ENV
- Kombinace M+N – shodné s ENV
- Možnost pružného posouzení:

$$\left(\frac{\sigma_{x,Ed}}{f_y/\gamma_{M0}} \right)^2 + \left(\frac{\sigma_{z,Ed}}{f_y/\gamma_{M0}} \right)^2 - \left(\frac{\sigma_{x,Ed}}{f_y/\gamma_{M0}} \right) \left(\frac{\sigma_{z,Ed}}{f_y/\gamma_{M0}} \right) + 3 \left(\frac{\tau_{Ed}}{f_y/\gamma_{M0}} \right)^2 \leq 1$$

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



Mezní stavy únosnosti

6.2 Posouzení průřezu

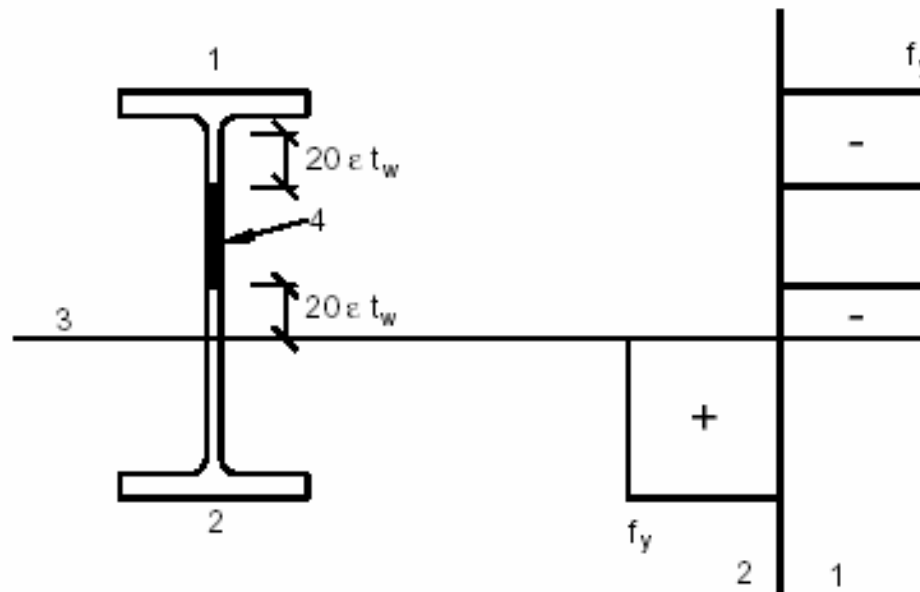
- Smyk – drobné změny v určení smykové plochy
- Pro I nebo H průřezy lze:

$$\tau_{Ed} = \frac{V_{Ed}}{A_w} \text{ , pokud } A_f / A_w \geq 0,6$$

Mezní stavy únosnosti

6.2 Posouzení průřezu

- Zatřídění – stojina třídy 3, pásnice třídy 1 nebo 2





Mezní stavy únosnosti

Posouzení průřezu - kroucení

Viz ENV 1993-1-1, Příloha G

Vztah:

$$\frac{T_{Ed}}{T_{Rd}} \leq 1,0$$

- není uvedeno určení vnitřních sil T_t , T_w , B
↳ Národní příloha NB

Mezní stavy únosnosti

Posouzení průřezu - kroucení

Kombinace smykové síly a krouticího momentu:

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

- **pro průřezy I, H :**
$$V_{pl,T,Rd} = \sqrt{1 - \frac{\tau_{t,Ed}}{1,25(f_y/\sqrt{3})/\gamma_{M0}}} V_{pl,Rd}$$

- **pro průřezy U :**

$$V_{pl,T,Rd} = \left[\sqrt{1 - \frac{\tau_{t,Ed}}{1,25(f_y/\sqrt{3})/\gamma_{M0}} - \frac{\tau_{w,Ed}}{(f_y/\sqrt{3})/\gamma_{M0}}} \right] V_{pl,Rd}$$



Mezní stavy únosnosti

6.3 Vzpěrná únosnost prutů

- **Tlak**
- **Ohyb**
- **Kombinace M+N**



Mezní stavy únosnosti

6.3.1 Vzpěrná únosnost prutů - tlak

- viz ENV
- drobné zpřesnění přiřazení průřezů k vzpěrnostním křivkám



Mezní stavy únosnosti

6.3.2 Vzpěrná únosnost prutů - ohyb

Postup pro výpočet M_{cr} v Národní příloze

Součinitel klopení c_{LT} :

- Obecný postup
- Alternativní postup (pro válcované a ekvivalentní svařované průřezy)
- Zjednodušená metoda (vzpěr tlačené pásnice)

Mezní stavy únosnosti

Vzpěrná únosnost prutů - ohyb

- **Alternativní postup:**

$$c_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \beta \bar{I}_{LT}^2}} \quad \text{ale} \quad \begin{cases} c_{LT} \leq 1,0 \\ c_{LT} \leq \frac{1}{\bar{I}_{LT}^2} \end{cases}$$

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

$$\bar{\lambda}_{LT,0} = 0,4 \quad b = 0,75$$

$$\chi_{LT,mod} = \frac{\chi_{LT}}{f}$$

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



Mezní stavy únosnosti

6.3.3 Vzpěrná únosnost prutů - tlak + ohyb

Nové interakční vztahy:

$$\frac{\frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{yy} \frac{\frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} M_{y,Rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{yz} \frac{\frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rk}}}{\gamma_{M1}} \leq 1$$

$$\frac{\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{zy} \frac{\frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} M_{y,Rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{zz} \frac{\frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rk}}}{\gamma_{M1}} \leq 1$$

- **2 alter. postupy pro $k_{yy} - k_{zz}$:** Příloha A
Příloha B



Mezní stavy únosnosti

6.3.4 Vzpěrná únosnost prutů - tlak + ohyb

Alternativní metoda pro přímé řešení
II. řádem v rovině ohybu

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

pro prut namáhaný pouze momentem:

$$\alpha_{ult,k} = \frac{M_{Rk}}{M_{Ed}}$$

$$\bar{\lambda}_{op} = \sqrt{\frac{\alpha_{ult,k}}{\alpha_{cr,op}}} \quad \text{P} \quad \chi_{op}$$



Mezní stavy únosnosti

Vzpěrná únosnost prutů - členěné pruty

- viz ENV
- ohyb k nehmotné ose průřezu:

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



7. Mezní stavy použitelnosti

- **Obecné požadavky v EN 1990**
- **V EN 1993-1-1 nejsou mezní průhyby**
- **Doporučené hodnoty mezních průhybů jsou v Národní příloze**



Příloha BA

Doplňková návrhová ustanovení

- **Analýza konstrukce s uvážením nelinearity vlastností materiálu**
- **Spojité stropní nosníky - rozmístění nahodilého zatížení**



Příloha BB

Vzpěr částí konstrukcí pozemních staveb

- Výplňové pruty z úhelníků
- Pruty z dutých průřezů
- Nosníky s jednou pásnicí podepřenou pláštěm
- Nosníky s plastickými klouby, podepřené diskrétně z roviny ohybu nebo proti natočení



Příloha BB

Výplňové pruty z úhelníků

- **Přípoj min. dvěma šrouby nebo svarem:**
 - posouzení na vzpěrný tlak
 - vztahy pro výpočet poměrných štíhlostí
- **Přípoj jedním šroubem: tlak + ohyb**
- **$N_{u,Rd}$ oslabeného průřezu – viz EN 1993-1-8**

Příloha BB

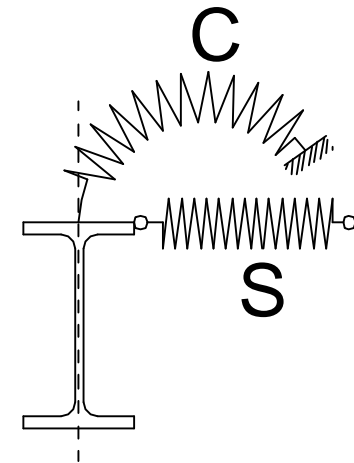
Nosníky s jednou pásnicí podepřenou pláštěm

- **Spojité příčné podepření**

$$S \geq \left(EI_w \frac{\pi^2}{L^2} + GI_T + EI_z \frac{\pi^2}{L^2} 0,25h^2 \right) \frac{70}{h^2}$$

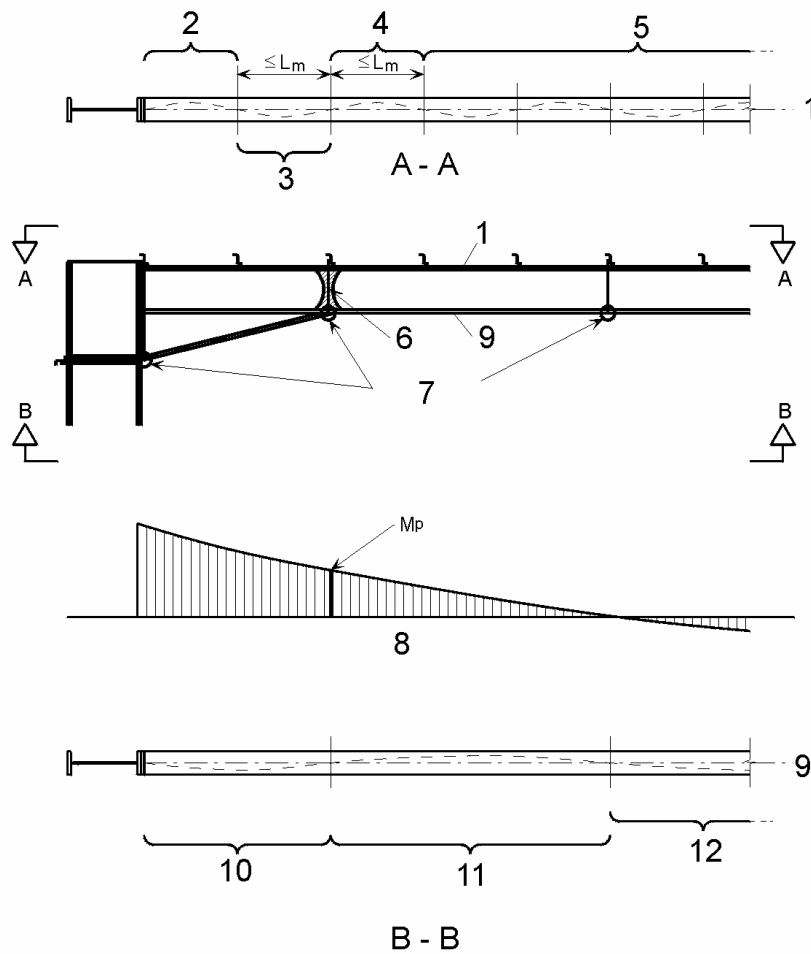
- **Spojité podepření proti zkroucení**

$$C_{\vartheta,k} > \frac{M_{pl,k}^2}{EI_z} K_{\vartheta} K_u$$



Příloha BB

Nosníky s plastickými klouby



- Vztahy pro délku úseku L_m
- $L < L_m \Rightarrow C_{LT} = 1$



Národní příloha

NA:

- **Národně stanovené parametry (25 článků)**
 - Doporučené mezní hodnoty průhybů
- **Opravy chyb anglického originálu**

NB - Doplňující informace:

- **Vnitřní síly od kroucení**
- **Pružný kritický moment**



Vybraná témata uvedená v doprovodném skriptu se zaměřením na vícepodlažní budovy:

- Koordinace návrhu z hlediska architektury a statického systému.
- Koncepce požární bezpečnosti pro vícepatrové komerční a bytové budovy.
- Přenos vodorovného zatížení ve vícepodlažních budovách.
- Plechobetonové (resp. spřažené) stropní desky.
- Stropnice.
- Průvlaky.
- Svislé nosné konstrukce.
- Výpočet součinitele kritického napětí a_{cr} .
- Vzpěrné délky sloupů.
- Předběžný návrh nespřažených nosníků.
- Předběžný návrh nespřažených sloupů průřezu H.
- Nosníky s otvory ve stojinách.



Vybraná témata uvedená v doprovodném skriptu se zaměřením na jednopodlažní budovy (haly):

- Přehled konstrukčních systémů jednopodlažních budov
- Detaily rámových konstrukcí z válcovaných profilů
- Návrh rámových konstrukcí s použitím svařovaných profilů
- Tuhost kotvení sloupu v globální analýze
- Návrh vetknuté patky
- Pružný kritický moment pro klopení
- Návrhový model styku pásů uzavřených průřezů pomocí čelních desek