### 6.3.2 Prúty s konštantným prierezom namáhané ohybom

#### 6.3.2.1 Vzperná odolnosť

(1) Prúty namáhané ohybom v rovine väčšej tuhosti, ktoré nie sú podopreté proti vybočeniu, sa majú overiť na stratu stability klopením nasledujúcim spôsobom:

$$\frac{M_{Ed}}{M_{b,Rd}} \leq 1{,}0 \tag{6.54}$$

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

$M_{b,Rd}$ návrhový moment vzpernej odolnosti.

(2) Nosníky s dostatočným bočným podopretím tlačenej pásnice nie sú citlivé na stratu stability klopením. Okrem nich nie sú na stratu stability klopením citlivé ani nosníky s určitými typmi prierezov, ako sú hranaté alebo kruhové duté profily, zvárané kruhové rúrky alebo hranaté komorové prierezy.

(3) Návrhový moment vzpernej odolnosti nosníka nepodopretého proti vybočeniu sa má určiť takto:

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

kde $W_y$ je príslušný prierezový modul, ktorý sa určí takto:

- $W_y = W_{pl,y}$ pre prierezy triedy 1 alebo 2
- $W_y = W_{el,y}$ prierezy triedy 3
- $W_y = W_{eff,y}$ pre prierezy triedy 4

$\chi_{LT}$ súčiniteľ klopenia pri strate stability klopením.

POZNÁMKA 1. – Na určenie momentu vzpernej odolnosti nosníkov s premennými prierezmi sa môže vykonať analýza druhého rádu podľa o 5.3.4(3). Stratu stability pretvorením z roviny pozri tiež v 6.3.4.

POZNÁMKA 2B. – Stratu stability prvkov konštrukcií budov pozri tiež v prílohe BB.

(4) Pri určovaní $W_y$ sa nemusia uvažovať diery pre spojovacie prostriedky na koncoch nosníka.

#### 6.3.2.2 Vzperné krivky klopenia – všeobecný prípad

(1) Pokiaľ to nie je stanovené inakšie (pozri 6.3.2.3), má sa hodnota $\chi_{LT}$ ohýbaných prútov s konštantným prierezom určiť pre príslušnú pomernú štíhlosť $\bar{\lambda}_{LT}$ zo vzorcov:

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

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

$\alpha_{LT}$ je miera imperfekcie;

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

$M_{cr}$ kritický moment v pružnom stave pri strate stability klopením.

(2) $M_{cr}$ sa určí pomocou charakteristík neoslabeného prierezu so zohľadnením podmienok zaťaženia, skutočného priebehu momentov a podopretia proti vybočeniu.

POZNÁMKA. – Hodnota miery imperfekcie $\alpha_{LT}$ zodpovedajúcej príslušnej vzpernej krivke sa môže uvážiť podľa národnej prílohy. Odporúčané hodnoty $\alpha_{LT}$ sú uvedené v tabuľke 6.3.

**Tabuľka 6.3 – Odporúčané hodnoty miery imperfekcie pre vzperné krivky klopenia**

| **Vzperná krivka** | a | b | c | d |
|---|---|---|---|---|
| **Miera imperfekcie $\alpha_{LT}$** | 0,21 | 0,34 | 0,49 | 0,76 |

Odporúčané priradenia vzperných kriviek sú dané v tabuľke 6.4.

**Tabuľka 6.4 – Odporúčané priradenia vzperných kriviek klopenia k prierezom pri použití výrazu (6.56)**

| **Prierez** | **Medze** | **Vzperná krivka** |
|---|---|---|
| Valcované I-profily | $h/b \leq 2$<br>$h/b > 2$ | **a**<br>**b** |
| Zvárané I-profily | $h/b \leq 2$<br>$h/b > 2$ | **c**<br>**d** |
| Iné prierezy | – | **d** |

(3) Hodnoty súčiniteľa klopenia $\chi_{LT}$ pre príslušnú pomernú štíhlosť $\bar{\lambda}_{LT}$ sa môžu brať do úvahy podľa obrázka 6.4.

(4) Pre štíhlosti $\bar{\lambda}_{LT} \leq \bar{\lambda}_{LT,0}$ (pozri 6.3.2.3) alebo pre $\frac{M_{Ed}}{M_{cr}} \leq \bar{\lambda}_{LT,0}^{\,2}$ (pozri 6.3.2.3) sa môžu účinky straty stability klopením zanedbať a vykonajú sa iba posúdenia prierezu.

### 6.3.2.3 Vzperné krivky klopenia pre valcované profily alebo ekvivalentné zvárané profily

(1) Pre valcované alebo ekvivalentné zvárané profily namáhané ohybom sa hodnoty $\chi_{LT}$ pre príslušné pomerné štíhlosti môžu určiť zo vzorcov:

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

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

POZNÁMKA. – Parametre $\bar{\lambda}_{LT,0}$ a $\beta$ a ľubovoľné obmedzenie týkajúce sa výšky nosníka alebo pomeru h/b sa môžu stanoviť v národnej prílohe. Pre valcované profily alebo ekvivalentné zvárané profily sa odporúčajú tieto hodnoty:

$\bar{\lambda}_{LT,0} = 0{,}4$ (najväčšia hodnota)

$\beta = 0{,}75$ (najmenšia hodnota)

Odporúčania na priradenie vzperných kriviek sú uvedené v tabuľke 6.5.

**Tabuľka 6.5 – Odporúčania na priradenie vzperných kriviek klopenia k prierezom pri použití výrazu (6.57)**

| Prierez | Medze | Vzperné krivky |
|---|---|---|
| Valcované I-profily | h/b ≤ 2<br>h/b > 2 | b<br>c |
| Zvárané I-profily | h/b ≤ 2<br>h/b > 2 | c<br>d |

(2) Súčiniteľ klopenia $\chi_{LT}$ sa môže upraviť v závislosti od priebehu momentov medzi podopretiami prútov proti vybočeniu nasledujúcim spôsobom:

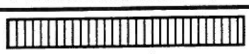
$$\chi_{LT,mod} = \frac{\chi_{LT}}{f} \quad \text{ale} \quad \chi_{LT,mod} \leq 1 \tag{6.58}$$

POZNÁMKA. – Hodnoty f sa môžu definovať v národnej prílohe. Odporúča sa použiť tieto minimálne hodnoty:

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

$k_c$ je opravný faktor podľa tabuľky 6.6.

**Tabuľka 6.6 – Opravné faktory $k_c$**

| Priebeh momentov | $k_c$ |
|---|---|
| <br>ψ = 1 | 1,0 |
| <br>-1 ≤ ψ ≤ 1 | $\dfrac{1}{1{,}33 - 0{,}33\psi}$ |
|  | 0,94 |
|  | 0,90 |
|  | 0,91 |
|  | 0,86 |
|  | 0,77 |
|  | 0,82 |

#### 6.3.2.4 Metódy zjednodušeného posudzovania bočne podopretých nosníkov v budovách

(1)B Prúty, ktorých body tlačenej pásnice sú podopreté proti vybočeniu, nie sú citlivé na stratu stability klopením vtedy, ak dĺžka $L_c$ medzi bočnými podopretiami alebo výsledná štíhlosť $\bar{\lambda}_f$ ekvivalentnej tlačenej pásnice spĺňajú podmienku:

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

kde $M_{y,Ed}$ je najväčšia návrhová hodnota ohybového momentu na úseku medzi bočnými podopretiami;

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

$W_y$ prierezový modul zodpovedajúci tlačenej pásnici;

$k_c$ opravný faktor štíhlosti pre priebeh momentu medzi bočnými podopretiami (pozri tabuľku 6.6);

$i_{f,z}$ polomer zotrvačnosti ekvivalentnej tlačenej pásnice, ktorú tvorí tlačená pásnica a 1/3 tlačenej časti plochy steny vztiahnutý na os najmenšej tuhosti prierezu;

$\bar{\lambda}_{c0}$ medzná štíhlosť vyššie definovanej ekvivalentnej tlačenej pásnice;

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

$\varepsilon = \sqrt{\dfrac{235}{f_y}}$ ($f_y$ v N/mm$^2$).

POZNÁMKA 1B. – Pre prierez triedy 4 sa $i_{f,z}$ môže určiť zo vzorca:

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

kde $I_{eff,f}$ je kvadratický moment plochy účinnej tlačenej pásnice k osi najmenšej tuhosti prierezu;

$A_{eff,f}$ plocha účinného prierezu tlačenej pásnice;

$A_{eff,w,c}$ plocha účinnej tlačenej časti steny.

POZNÁMKA 2B. – Medzná štíhlosť $\bar{\lambda}_{c0}$ sa môže definovať v národnej prílohe. Odporúča sa použiť medznú hodnotu $\bar{\lambda}_{c0} = \bar{\lambda}_{LT,0} + 0{,}1$ (pozri 6.3.2.3).

(2)B Ak štíhlosť tlačenej pásnice $\bar{\lambda}_f$ prekročí medznú hodnotu uvedenú v (1)B, návrhový moment vzpernej odolnosti sa môže stanoviť zo vzťahu:

$$M_{b,Rd} = k_{fl} \chi M_{c,Rd} \text{ ale } M_{b,Rd} \leq M_{c,Rd} \tag{6.60}$$

kde $\chi$ je súčiniteľ vzperu ekvivalentnej pásnice, ktorý sa určí pre $\bar{\lambda}_f$;

$k_{fl}$ faktor úpravy zohľadňujúci konzervatívnosť metódy ekvivalentnej tlačenej pásnice.

POZNÁMKA B. – Faktor úpravy sa môže definovať v národnej prílohe. Odporúča sa použiť hodnotu $k_{fl} = 1{,}10$.

(3)B Vo výpočte podľa (2)B sa majú uvážiť nasledujúce vzperné krivky:

krivka d pre zvárané prierezy, ak $\dfrac{h}{t_f} \leq 44\varepsilon$ *

krivka c pre iné prierezy

kde $h$ je celková výška prierezu;

$t_f$ hrúbka tlačenej pásnice.

POZNÁMKA B. – Stratu stability klopením bočne podopretých prvkov, ktoré sa používajú v konštrukciách budov pozri tiež v prílohe BB.3.

## NB.3 Pružný kritický moment pre nosníky s konštantným a tuhým nepretvárnym prierezom

### NB.3.1 Rozsah platnosti

(1) Postup uvedený v tejto prílohe je vhodný na výpočet kritického momentu prútov namáhaných zaťažením pôsobiacim kolmo na os najväčšej tuhosti y-y a to pre:

a) obojstranne podopreté nosníky s konštantným a tuhým nepretvárnym prierezom:

- dvojosovo symetrickým (pozri obrázok NB.3.1 a NB.3.2),
- jednoosovo symetrickým k hlavnej osi najväčšej tuhosti z-z (pozri obrázok NB.3.1),
- jednoosovo symetrickým k hlavnej osi najmenšej tuhosti y-y (pozri obrázok NB.3.2),
- prierezy bodovo symetrické vzhľadom k stredu šmyku *S* totožného s ťažiskom *G* (pozri obrázok NB.3.2),

b) konzoly s prierezom jednoosovo symetrickým k hlavnej osi najväčšej tuhosti z-z.

V ostatných prípadoch je možné postupovať podľa odbornej literatúry, iných noriem, využiť vhodné numerické postupy alebo výpočtové programy.

### NB.3.2 Pružný kritický moment nosníkov

(1) Pre nosník s prierezom symetrickým k hlavnej osi najväčšej tuhosti z-z je pružný kritický moment $M_{cr}$ daný všeobecným vzťahom:

$$M_{cr} = \mu_{cr} \frac{\pi \sqrt{EI_z \, GI_t}}{L} \tag{NB.3.1}$$

kde pomerný kritický moment $\mu_{cr}$ je:

$$\mu_{cr} = \frac{C_1}{k_z} \left[ \sqrt{1 + \kappa_{wt}^2 + (C_2\zeta_g - C_3\zeta_j)^2} - (C_2\zeta_g - C_3\zeta_j) \right] \tag{NB.3.2}$$

$\kappa_{wt}$, $\zeta_g$, $\zeta_j$ sú bezrozmerné parametre, ktoré okrem ohybovej tuhosti $EI_z$, a okrajových podmienok $k_z$, a $k_w$ , zohľadňujú vplyv

krutovej tuhosti $GI_t$ a výsekovej tuhosti $EI_w$:
$$\kappa_{wt} = \frac{\pi}{k_w L} \sqrt{\frac{EI_w}{GI_t}} \tag{NB.3.3}$$

vzdialenosti pôsobiska zaťaženia od stredu šmyku *S*:
$$\zeta_g = \frac{\pi \, z_g}{k_z \, L} \sqrt{\frac{EI_z}{GI_t}} \tag{NB.3.4}$$

nesymetrie prierezu:
$$\zeta_j = \frac{\pi \, z_j}{k_z \, L} \sqrt{\frac{EI_z}{GI_t}} \tag{NB.3.5}$$

$C_1$, $C_2$ a $C_3$ sú faktory, ktoré závisia od typu zaťaženia a podmienok uloženia koncov nosníka (pozri tabuľky NB.3.1 a NB.3.2);

$L$ je dĺžka úseku nosníka medzi bodmi zabezpečenými proti vybočeniu kolmo na rovinu zaťaženia;

$k_z$ a $k_w$ sú faktory vzpernej dĺžky definujúce podopretie v rovine kolmej na rovinu zaťaženia (v rovine kolmej na os z-z), resp. podopretie pri krútení;

$$z_g = z_a - z_s \tag{NB.3.6}$$

$$z_j = z_s - \frac{0{,}5}{I_y} \int_A (y^2 + z^2) z \, dA \tag{NB.3.7}$$

$z_a$ je súradnica pôsobiska zaťaženia vztiahnutá k ťažisku prierezu (pozri obrázok NB.3.1);

$z_s$ súradnica stredu šmyku vztiahnutá k ťažisku prierezu;

$z_g$ súradnica pôsobiska zaťaženia vztiahnutá k stredu šmyku.

POZNÁMKA 1. – Pozri NB.3.2(6) a (7) pre znamienkovú konvenciu $z_j$ a $z_g$.

POZNÁMKA 2. – Pre prierezy symetrické k osi y-y (osi z-z) je $z_j = 0$ ($y_j = 0$).

POZNÁMKA 3. – Hodnota $z_j$ sa môže vypočítať z približného vzťahu

$$z_j = 0{,}45\psi_f h_s \left(1 + \frac{c}{2h_f}\right) \tag{NB.3.8}$$

kde:

$c$ je výška okrajovej výstuhy (pozri obrázok NB.3.1),

$h_f$ je vzdialenosť medzi ťažiskami pásnic.

$$\psi_f = \frac{I_{fc} - I_{ft}}{I_{fc} + I_{ft}} \tag{NB.3.9}$$

$I_{fc}$ je moment druhého stupňa plochy pásnice za ohybu tlačenej k hlavnej osi najmenšej tuhosti prierezu z-z

$I_{ft}$ je moment druhého stupňa plochy pásnice za ohybu ťahanej k hlavnej osi najmenšej tuhosti prierezu z-z

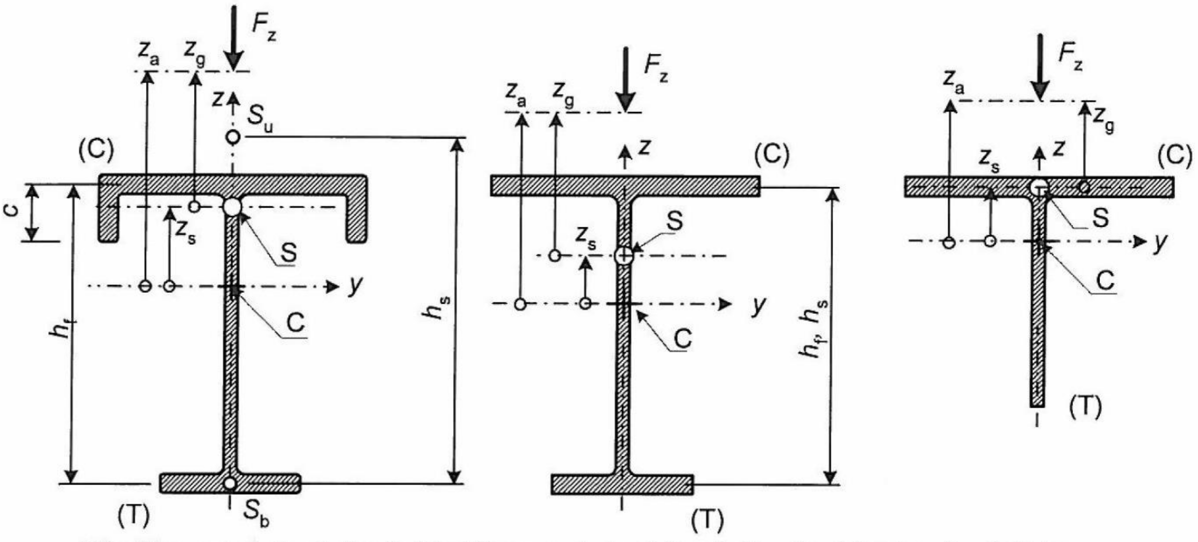
$h_s$ je vzdialenosť medzi stredmi šmyku hornej a dolnej pásnice prierezu (pozri $S_u$ a $S_b$ v obrázku NB.3.1).

Pre I - prierez s nerovnakými pásnicami bez okrajových výstuh a približne aj pre prierez s okrajovými výstuhami je:

$$I_w = (1 - \psi_f^2) I_z (h_s / 2)^2 \tag{NB.3.10}$$

(2) Faktory vzperných dĺžok $k_y$, $k_z$ (definujúce okrajové podmienky v ohybe v rovine zaťaženia – kolmo k osi y-y, resp. v rovine kolmej na rovinu zaťaženia – kolmo k osi z-z) a $k_w$ (definujúce okrajové podmienky v krútení) nadobúdajú hodnoty od 0,5 (obojstranne votknutý nosník) do 1,0 (nosník uložený kĺbovo na obidvoch koncoch). Pre nosník s jedným koncom votknutým a druhým kĺbovo uloženým sú faktory vzperných dĺžok rovné 0,7.

(3) Faktor $k_y$ súvisí s pootočením koncov nosníka okolo osi y-y, faktor $k_z$ s pootočením koncov nosníka okolo osi z-z. Tieto faktory sú analogické s pomermi $L_{cr}/L$ platnými pre tlačené prúty. Faktor $k_w$ súvisí s deplanáciou koncov nosníka. Pokiaľ deplanácii nie je zabránené špeciálnymi úpravami, $k_w = 1{,}0$.




(C) vlákna za ohybu tlačené, (T) vlákna za ohybu ťahané, $S$ – stred šmyku, $G$ – ťažisko,

$S_u$, resp. $S_b$ sú stredy šmyku hornej a dolnej pásnice

**Obrázok NB.3.1 – Význam veličín a znamienková konvencia pre:**

**a) nosníky pri pôsobení gravitačného zaťaženia ($F_z$), b) konzoly pri pôsobení sania ($-F_z$)**

(4) Hodnoty $C_1$, $C_2$ a $C_3$ sú dané v tabuľkách NB.3.1 a NB.3.2 pre rôzne typy zaťažení, ktoré sú definované priebehom ohybového momentu na dĺžke $L$ medzi bodmi zabezpečenými proti vybočeniu z roviny zaťaženia. Hodnoty sú uvedené v závislosti od faktora $k_z$ a v tabuľke NB.3.2 aj od faktora $k_w$.

(5) V prípadoch, keď $k_z$ = 1,0, je možné faktor $C_1$ určiť pre ľubovoľný pomer koncových momentov (pozri priebehy momentov v tabuľke NB.3.1) približne zo vzťahu:

$$C_1 = (0{,}310 + 0{,}428\psi + 0{,}262\psi^2)^{-0.5} \tag{NB.3.11}$$

(6) Znamienková konvencia na určenie $z$ a $z_j$ (pozri obrázok NB.3.1) je:

súradnica $z$ je kladná pre tlačenú pásnicu. Ak sa $z_j$ určuje pomocou vzťahu v NB.3.2(1), smeruje os z nahor v prípade gravitačného zaťaženia a nadol v prípade zaťaženia saním;

znamienko $z_j$ je rovnaké ako znamienko parametra nesymetrie prierezu $\psi_f$. Znamienko ohybového momentu pre určenie $\psi_f$ sa v prípade koncových momentov (pozri tabuľku NB.3.1) berie v mieste najväčšieho momentu, v prípade priečneho zaťaženia (pozri tabuľku NB.3.2) v strede uvažovaného úseku o dĺžke $L$.

(7) Znamienková konvencia pre určenie $z_g$ je:

pre gravitačné účinky je $z_g$ kladné pri zaťažení pôsobiacom nad stredom šmyku;

vo všeobecnom prípade je $z_g$ kladné pri zaťažení smerujúcom do stredu šmyku.

**Tabuľka NB.3.1 – Hodnoty faktorov $C_1$ a $C_3$ pri zaťažení prúta koncovými momentmi v závislosti od hodnoty faktora $k_z$ a parametrov $\psi_f$ a $\kappa_{wt}$.**
**Faktory uloženia koncov prúta: v rovine zaťaženia a primárneho ohybu $k_y$ = 1,0, v krútení $k_w$ = 1,0**

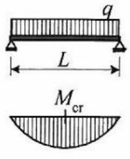
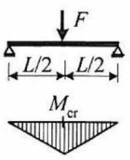
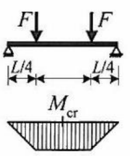
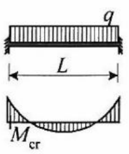
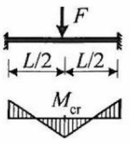
| Zaťaženie a podmienky podopretia. Faktor nesymetrie prierezu $\psi_f$ | Priebeh ohybových momentov. Pomer koncových momentov $\psi$ *M* - *ψM* - -strana - strana | $k_z$[2] | Hodnoty faktorov $C_1$[1] $C_{1,0}$ | $C_{1,1}$ | $C_3$ $\psi_f = -1$ | $-0{,}9 \le \psi_f \le 0$ | $0 \le \psi_f \le 0{,}9$ | $\psi_f = 1$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *M* *ψM* *L* $k_y = 1,\ k_w = 1$ Beam *M*-side: $\psi_f \ge 0$ $\psi_f \le 0$ | $M_{cr}$ $\psi$=+1 | 1,0 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | | | |
| | | 0,7L | 1,016 | 1,100 | 1,025 | | 1,000 | |
| | | 0,7R | 1,016 | 1,100 | 1,025 | | 1,000 | |
| | | 0,5 | 1,000 | 1,127 | 1,019 | | | |
| | $M_{cr}$ $\psi$=+3/4 | 1,0 | 1,139 | 1,141 | 1,000 | | | |
| | | 0,7L | 1,210 | 1,313 | 1,050 | | 1,000 | |
| | | 0,7R | 1,109 | 1,201 | 1,000 | | | |
| | | 0,5 | 1,139 | 1,285 | 1,017 | | | |
| | $M_{cr}$ $\psi$=+1/2 | 1,0 | 1,312 | 1,320 | 1,150 | 1,000 | | |
| | | 0,7L | 1,480 | 1,616 | 1,160 | | 1,000 | |
| | | 0,7R | 1,213 | 1,317 | 1,000 | | | |
| | | 0,5 | 1,310 | 1,482 | 1,150 | 1,000 | | |
| | $M_{cr}$ $\psi$=+1/4 | 1,0 | 1,522 | 1,551 | 1,290 | 1,000 | | |
| | | 0,7L | 1,853 | 2,059 | 1,600 | 1,260 | 1,000 | |
| | | 0,7R | 1,329 | 1,467 | 1,000 | | | |
| | | 0,5 | 1,516 | 1,730 | 1,350 | 1,000 | | |
| *M* *ψM* *L* $k_y = 1,\ k_w = 1$ Beam *M*-side: $\psi_f \le 0$ $\psi_f \ge 0$ | $M_{cr}$ $\psi$= 0 | 1,0 | 1,770 | 1,847 | 1,470 | 1,000 | | |
| | | 0,7L | 2,331 | 2,683 | 2,000 | 1,420 | 1,000 | |
| | | 0,7R | 1,453 | 1,592 | 1,000 | | | |
| | | 0,5 | 1,753 | 2,027 | 1,500 | 1,000 | | |
| | $M_{cr}$ $\psi$= -1/4 | 1,0 | 2,047 | 2,207 | 1,65 | 1,000 | 0,850 | |
| | | 0,7L | 2,827 | 3,322 | 2,40 | 1,550 | 0,850 | -0,30 |
| | | 0,7R | 1,582 | 1,748 | 1,38 | 0,850 | 0,700 | 0,20 |
| | | 0,5 | 2,004 | 2,341 | 1,75 | 1,000 | 0,650 | -0,25 |
| | $M_{cr}$ $\psi$= -1/2 | 1,0 | 2,331 | 2,591 | 1,85 | 1,000 | $1{,}3-1{,}2\psi_f$ | -0,70 |
| | | 0,7L | 3,078 | 3,399 | 2,70 | 1,450 | $1-1{,}2\psi_f$ | -1,15 |
| | | 0,7R | 1,711 | 1,897 | 1,45 | 0,780 | $0{,}9-0{,}75\psi_f$ | -0,53 |
| $\psi_f = \dfrac{I_{fc} - I_{ft}}{I_{fc} + I_{ft}}$ | | 0,5 | 2,230 | 2,579 | 2,00 | 0,950 | $0{,}75-\psi_f$ | -0,85 |
| | $M_{cr}$ $\psi$= -3/4 | 1,0 | 2,547 | 2,852 | 2,00 | 1,000 | $0{,}55-\psi_f$ | -1,45 |
| | | 0,7L | 2,592 | 2,770 | 2,00 | 0,850 | $0{,}23-0{,}9\psi_f$ | -1,55 |
| | | 0,7R | 1,829 | 2,027 | 1,55 | 0,700 | $0{,}68-\psi_f$ | -1,07 |
| | | 0,5 | 2,352 | 2,606 | 2,00 | 0,850 | $0{,}35-\psi_f$ | -1,45 |
| | $M_{cr}$ $\psi$= -1 | 1,0 | 2,555 | 2,733 | 2,00 | $-\psi_f$ | | -2,00 |
| | | 0,7L | 1,921 | 2,103 | 1,55 | 0,380 | -0,580 | -1,55 |
| | | 0,7R | 1,921 | 2,103 | 1,55 | 0,580 | -0,380 | -1,55 |
| | | 0,5 | 2,223 | 2,390 | 1,88 | $0{,}125-0{,}7\psi_f$ | $-0{,}125-0{,}7\psi_f$ | -1,88 |

Poznámky:

[1] $C_1 = C_{1,0} + (C_{1,1} - C_{1,0})\kappa_{wt} \le C_{1,1}$ , ($C_1 = C_{1,0}$ pre $\kappa_{wt} = 0$ , $C_1 = C_{1,1}$ pre $\kappa_{wt} \ge 1$)

[2] $k_z$ = 0,7 L znamená, že votknutý je ľavý koniec, $k_z$ = 0,7 R znamená, že votknutý je pravý koniec nosníka pri strate stability ohybom kolmo k osi z-z.

**Tabuľka NB.3.2 – Hodnoty faktorov $C_1$, $C_2$ a $C_3$ pre rôzne typy priečneho zaťaženia v závislosti od hodnôt faktorov $k_y$, $k_z$, $k_w$ a parametrov $\psi_f$ a $\kappa_{wt}$**

| Zaťaženie a podmienky podopretia | Faktory vzperných dĺžok | | | Hodnoty faktorov | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $k_y$ | $k_z$ | $k_w$ | $C_1$ 1) | | $C_2$ | | | $C_3$ | | |
| | | | | $C_{1,0}$ | $C_{1,1}$ | ⊥ $\psi_f = -1$ | I I T $-0,9 \le \psi_f \le 0,9$ | T $\psi_f = 1$ | ⊥ $\psi_f = -1$ | I I T $-0,9 \le \psi_f \le 0,9$ | T $\psi_f = 1$ |
|  | 1 | 1 | 1 | 1,127 | 1,132 | 0,33 | 0,459 | 0,50 | 0,93 | 0,525 | 0,38 |
| | 1 | 1 | 0,5 | 1,128 | 1,231 | 0,33 | 0,391 | 0,50 | 0,93 | 0,806 | 0,38 |
| | 1 | 0,5 | 1 | 0,947 | 0,997 | 0,25 | 0,407 | 0,40 | 0,84 | 0,478 | 0,44 |
| | 1 | 0,5 | 0,5 | 0,947 | 0,970 | 0,25 | 0,310 | 0,40 | 0,84 | 0,674 | 0,44 |
|  | 1 | 1 | 1 | 1,348 | 1,363 | 0,52 | 0,553 | 0,42 | 1,00 | 0,411 | 0,31 |
| | 1 | 1 | 0,5 | 1,349 | 1,452 | 0,52 | 0,580 | 0,42 | 1,00 | 0,666 | 0,31 |
| | 1 | 0,5 | 1 | 1,030 | 1,087 | 0,40 | 0,449 | 0,42 | 0,80 | 0,338 | 0,31 |
| | 1 | 0,5 | 0,5 | 1,031 | 1,067 | 0,40 | 0,437 | 0,42 | 0,80 | 0,516 | 0,31 |
|  | 1 | 1 | 1 | 1,038 | 1,040 | 0,33 | 0,431 | 0,39 | 0,93 | 0,562 | 0,39 |
| | 1 | 1 | 0,5 | 1,039 | 1,148 | 0,33 | 0,292 | 0,39 | 0,93 | 0,878 | 0,39 |
| | 1 | 0,5 | 1 | 0,922 | 0,960 | 0,28 | 0,404 | 0,30 | 0,88 | 0,539 | 0,50 |
| | 1 | 0,5 | 0,5 | 0,922 | 0,945 | 0,28 | 0,237 | 0,30 | 0,88 | 0,772 | 0,50 |
| | | | | | | $\psi_f = -1$ | $-0,5 \le \psi_f \le 0,5$ | $\psi_f = 1$ | $\psi_f = -1$ | $-0,5 \le \psi_f \le 0,5$ | $\psi_f = 1$ |
|  | 0,5 | 1 | 1 | 2,576 | 2,608 | 1,00 | 1,562 | 0,15 | 1,00 | -0,859 | -1,99 |
| | 0,5 | 0,5 | 1 | 1,490 | 1,515 | 0,56 | 0,900 | 0,08 | 0,61 | -0,516 | -1,20 |
| | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 1,494 | 1,746 | 0,56 | 0,825 | 0,08 | 0,61 | 0,002712 | -1,20 |
|  | 0,5 | 1 | 1 | 1,683 | 1,726 | 1,20 | 1,388 | 0,07 | 1,15 | -0,716 | -1,35 |
| | 0,5 | 0,5 | 1 | 0,936 | 0,955 | 0,69 | 0,763 | 0,03 | 0,64 | -0,406 | -0,76 |
| | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,937 | 1,057 | 0,69 | 0,843 | 0,03 | 0,64 | -0,0679 | -0,76 |

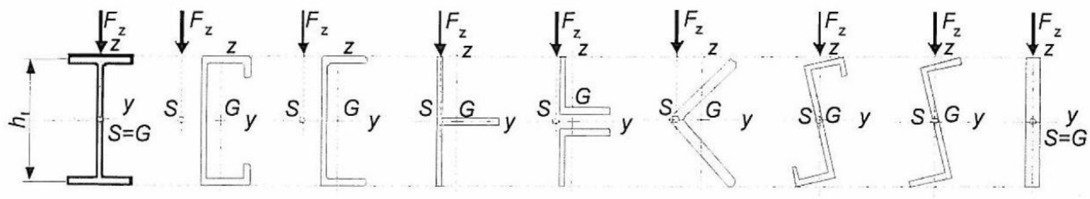
Poznámky:

1) $C_1 = C_{1,0} + (C_{1,1} - C_{1,0})\kappa_{wt} \le C_{1,1}$ , ($C_1 = C_{1,0}$ pre $\kappa_{wt} = 0$ , $C_1 = C_{1,1}$ pre $\kappa_{wt} \ge 1$)

2) Parameter $\psi_f$ sa vzťahuje k stredu rozpätia.

3) Hodnoty kritického momentu $M_{cr}$ sa vzťahujú na prierez, v ktorom pôsobí $M_{max}$ .

## NB.3.3 Čiastkové prípady: nosníky so symetrickým prierezom vzhľadom k hlavnej osi najväčšej tuhosti y-y a s bodovo symetrickým prierezom (obrázok NB.3.2)




**Obrázok NB.3.2 – Prierezy prútov symetrické k hlavnej osi najväčšej tuhosti y-y alebo bodovo symetrické k stredu šmyku S totožného s ťažiskom G**

(1) Pre nosníky so symetrickým prierezom vzhľadom k hlavnej osi najväčšej tuhosti y-y, s bodovo symetrickým prierezom, ktoré sú namáhané zaťažením pôsobiacim kolmo na hlavnú os najväčšej tuhosti y-y v rovine prechádzajúcej stredom šmyku *S* (obrázok NB.3.2) je $z_j$ = 0 a vzťah (NB.3.2) sa zjednoduší na vzťah:

$$\mu_{cr} = \frac{C_1}{k_z}\left[\sqrt{1+\kappa_{wt}^2+(C_2\zeta_g)^2} - C_2\zeta_g\right] \qquad \text{(NB.3.12)}$$

(2) Pre nosníky namáhané koncovými momentmi $C_2$ = 0 a pre priečne zaťažené prúty s pôsobiskom zaťaženia v strede šmyku *S* je $z_g$ = 0. Pre tieto prípady sa (NB.3.12) zjednoduší na vzťah:

$$\mu_{cr} = \frac{C_1}{k_z}\sqrt{1+\kappa_{wt}^2} \qquad \text{(NB.3.13)}$$

(3) Ak platí aj $\kappa_{wt} = 0$:

$$\mu_{cr} = C_1/k_z \qquad \text{(NB.3.14)}$$

(4) Pre kĺbovo podopretý nosník v rovine kolmej na os z-z, ktorý je namáhaný rovnako veľkými proti sebe pôsobiacimi koncovými momentmi ($\psi$ = 1) je $k_z$ = 1 a $C_1$ = 1, je:

$$\mu_{cr} = 1 \qquad \text{(NB.3.15)}$$

Je to základný prípad nosníka s nedeplanujúcim prierezom $(I_w = 0)$, ktorý je kĺbovo podpretý vzhľadom na vybočenie z roviny z-z $(k_z = 1)$ a vzhľadom na krútenie okolo osi x-x $(k_w = 1)$ a je namáhaný konštantným ohybovým momentom ($\psi$ = 1, $C_1$ = 1). Pre takýto prípad platí vzťažný pružný kritický moment

$$M_{cr,0} = \frac{\pi\sqrt{EI_z\, GI_t}}{L} \qquad \text{(NB.3.16)}$$

(5) Pre nosníky s prierezmi podľa NB.3.3 podoprete na obidvoch koncoch (s okrajovými podmienkami definovanými faktormi vzpernej dĺžky $k_y = 1$, $k_z = 1$, $0{,}5 \le k_w \le 1$) a pre úseky nosníkov medzi bočnými podopretiami, ktoré sú namáhané ľubovoľným zaťažením (napr. nerovnakými koncovými momentmi nosníkov alebo ich úsekov, kombinovanými s ľubovoľným medziľahlým priečnym zaťažením), sa môže použiť na výpočet približnej hodnoty pružného kritického momentu $M_{cr}$ vo vzorcoch (NB.3.13) a (NB.3.14) hodnota faktora $C_1$:

$$C_1 = \frac{1{,}7|M_{max}|}{\sqrt{M_{0,25}^2 + M_{0,5}^2 + M_{0,75}^2}} \le 2{,}5\,, \qquad \text{(NB.3.17)}$$

kde

$M_{\max}$ je najväčší návrhový ohybový moment,

$M_{0,25}$, $M_{0,75}$ sú návrhové ohybové momenty v štvrtinách a

$M_{0,5}$ je návrhový ohybový moment v strede rozpätia nosníka alebo v strede dĺžky úseku nosníka medzi susednými bočnými podopretiami.

(6) Faktor $C_1$ definovaný vzorcom (NB.3.17) sa môže použiť aj v (NB.3.12) ale iba v kombinácii so zodpovedajúcou hodnotou faktora $C_2$ platnou pre dané zaťažovacie a okrajové podmienky. Pre šesť prípadov s okrajovými podmienkami $k_y = 1$, $k_z = 1$, $0{,}5 \le k_w \le 1$ možno nájsť hodnotou faktora $C_2$ v tabuľke NB.3.2. Zjednodušene možno pre tieto prípady uvážiť $C_2 = 0{,}5$.

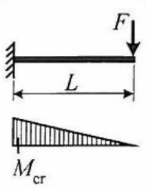
(7) V prípade spojitého nosníka je možné použiť nasledovný približný postup. Účinok spojitosti susedných úsekov pri bočnom vybočení sa zanedbá a každý z úsekov sa vyšetruje akoby bol bočne jednoducho podopretý. Strata stability sa analyzuje pre každý úsek a pre výpočet hodnoty faktora $C_1$ zo vzorca (NB.3.17) sa uváži priebeh ohybových momentov po dĺžke *L* príslušného úseku. Najmenší z kritických momentov vypočítaných pre všetky úseky je pružným kritickým momentom spojitého nosníka. Tento postup vedie k odhadu, ktorý sa k presnej hodnote blíži zdola.

### NB.3.4 Konzoly s konštantným prierezom symetrickým k hlavnej osi najmenšej tuhosti z-z

(1) V prípade konzoly s konštantným prierezom symetrickým k hlavnej osi najmenšej tuhosti z-z, namáhanej zaťažením pôsobiacim v rovine kolmo na hlavnú os najväčšej tuhosti, sa pružný kritický moment vypočíta podľa vzťahu (NB.3.1), kde pomerný kritický moment $\mu_{cr}$ je daný v tabuľke NB.3.3 a tabuľke NB.3.4.

(2) Znamienková konvencia na určenie $z_j$ a $z_g$ je daná v NB.3.2(6) a (7).

**Tabuľka NB.3.3 – Pomerný kritický moment $\mu_{cr}$ pre konzolu $(k_y = k_z = k_w = 2)$ zaťaženú osamelým bremenom $F$ pôsobiacim na konci konzoly $F$**

| Zaťaženie a podmienky podopretia | $\frac{\pi}{L}\sqrt{\frac{EI_w}{GI_t}} = k_w\kappa_{wt} = \kappa_{wt0}$ | $\frac{\pi z_g}{L}\sqrt{\frac{EI_z}{GI_t}} = k_z\zeta_g$ | (T) (C) | (C) (T) | $\frac{\pi z_j}{L}\sqrt{\frac{EI_z}{GI_t}} = k_z\zeta_j = \zeta_{j0}$ | | | (C) (T) | (T) (C) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | -4 | -2 | -1 | 0 | 1 | 2 | 4 |
|  | 0 | 4 | 0,107 | 0,156 | 0,194 | 0,245 | 0,316 | 0,416 | 0,759 |
| | | 2 | 0,123 | 0,211 | 0,302 | 0,463 | 0,759 | 1,312 | 4,024 |
| | | 0 | 0,128 | 0,254 | 0,478 | 1,280 | 3,178 | 5,590 | 10,730 |
| | | -2 | 0,129 | 0,258 | 0,508 | 1,619 | 3,894 | 6,500 | 11,860 |
| | | -4 | 0,129 | 0,258 | 0,511 | 1,686 | 4,055 | 6,740 | 12,240 |
| | 0,5 | 4 | 0,151 | 0,202 | 0,240 | 0,293 | 0,367 | 0,475 | 0,899 |
| | | 2 | 0,195 | 0,297 | 0,393 | 0,560 | 0,876 | 1,528 | 5,360 |
| | | 0 | 0,261 | 0,495 | 0,844 | 1,815 | 3,766 | 6,170 | 11,295 |
| | | -2 | 0,329 | 0,674 | 1,174 | 2,423 | 4,642 | 7,235 | 12,595 |
| | | -4 | 0,364 | 0,723 | 1,235 | 2,529 | 4,843 | 7,540 | 13,100 |
| | 1 | 4 | 0,198 | 0,257 | 0,301 | 0,360 | 0,445 | 0,573 | 1,123 |
| | | 2 | 0,268 | 0,391 | 0,502 | 0,691 | 1,052 | 1,838 | 6,345 |
| | | 0 | 0,401 | 0,750 | 1,243 | 2,431 | 4,456 | 6,840 | 11,920 |
| | | -2 | 0,629 | 1,326 | 2,115 | 3,529 | 5,635 | 8,115 | 13,365 |
| | | -4 | 0,777 | 1,474 | 2,264 | 3,719 | 5,915 | 8,505 | 13,960 |
| | 2 | 4 | 0,335 | 0,428 | 0,496 | 0,588 | 0,719 | 0,916 | 1,795 |
| | | 2 | 0,461 | 0,657 | 0,829 | 1,111 | 1,630 | 2,698 | 7,815 |
| | | 0 | 0,725 | 1,321 | 2,079 | 3,611 | 5,845 | 8,270 | 13,285 |
| | | -2 | 1,398 | 3,003 | 4,258 | 5,865 | 7,845 | 10,100 | 15,040 |
| | | -4 | 2,119 | 3,584 | 4,760 | 6,360 | 8,385 | 10,715 | 15,825 |
| | 4 | 4 | 0,845 | 1,069 | 1,230 | 1,443 | 1,739 | 2,168 | 3,866 |
| | | 2 | 1,159 | 1,614 | 1,992 | 2,569 | 3,498 | 5,035 | 10,345 |
| | | 0 | 1,801 | 3,019 | 4,231 | 6,100 | 8,495 | 11,060 | 16,165 |
| | | -2 | 3,375 | 6,225 | 8,035 | 9,950 | 11,975 | 14,110 | 18,680 |
| | | -4 | 5,530 | 8,130 | 9,660 | 11,375 | 13,285 | 15,365 | 19,925 |

a) Pre $z_j = 0$, $z_g = 0$ a $\kappa_{wt0} \le 8$: $\mu_{cr} = 1{,}27 + 1{,}14\kappa_{wt0} + 0{,}017\kappa_{wt0}^2$.

b) Pre $z_j = 0$, $-4 \le \zeta_g \le 4$ a $\kappa_{wt} \le 4$ sa $\mu_{cr}$ môže vypočítať aj zo vzťahov (NB.3.12) a (NB.3.13),

v ktorých sa použijú nasledovné približné hodnoty faktorov $C_1$, $C_2$:

$C_1 = 2{,}56 + 4{,}675\kappa_{wt} - 2{,}62\kappa_{wt}^2 + 0{,}5\kappa_{wt}^3$, ak $\kappa_{wt} \le 2$

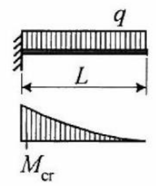
$C_1 = 5{,}55$ ak $\kappa_{wt} > 2$

$C_2 = 1{,}255 + 1{,}566\kappa_{wt} - 0{,}931\kappa_{wt}^2 + 0{,}245\kappa_{wt}^3 - 0{,}024\kappa_{wt}^4$, ak $\zeta_g \ge 0$

$C_2 = 0{,}192 + 0{,}585\kappa_{wt} - 0{,}054\kappa_{wt}^2 - (0{,}032 + 0{,}102\kappa_{wt} - 0{,}013\kappa_{wt}^2)\,\zeta_g$, ak $\zeta_g < 0$.

c) V tabuľke NB.3.3 sa má použiť nelineárna interpolácia hodnôt.

**Tabuľka NB.3.4 – Pomerný kritický moment $\mu_{cr}$ pre konzolu $(k_y = k_z = k_w = 2)$ zaťaženú rovnomerným zaťažením $q$ po celej dĺžke konzoly**

| Zaťaženie a podmienky podopretia | $\frac{\pi}{L}\sqrt{\frac{EI_w}{GI_t}} = k_w\kappa_{wt} = \kappa_{wt0}$ | $\frac{\pi z_g}{L}\sqrt{\frac{EI_z}{GI_t}} = k_z\zeta_g = \zeta_{g0}$ | $\frac{\pi z_j}{L}\sqrt{\frac{EI_z}{GI_t}} = k_z\zeta_j = \zeta_{j0}$: -4 | -2 | -1 | 0 | 1 | 2 | 4 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
|  | 0 | 4 | 0,113 | 0,173 | 0,225 | 0,304 | 0,431 | 0,643 | 1,718 |
| | | 2 | 0,126 | 0,225 | 0,340 | 0,583 | 1,165 | 2,718 | 13,270 |
| | | 0 | 0,132 | 0,263 | 0,516 | 2,054 | 6,945 | 12,925 | 25,320 |
| | | -2 | 0,134 | 0,268 | 0,537 | 3,463 | 10,490 | 17,260 | 30,365 |
| | | -4 | 0,134 | 0,270 | 0,541 | 4,273 | 12,715 | 20,135 | 34,005 |
| | 0,5 | 4 | 0,213 | 0,290 | 0,352 | 0,443 | 0,586 | 0,823 | 2,046 |
| | | 2 | 0,273 | 0,421 | 0,570 | 0,854 | 1,505 | 3,229 | 14,365 |
| | | 0 | 0,371 | 0,718 | 1,287 | 3,332 | 8,210 | 14,125 | 26,440 |
| | | -2 | 0,518 | 1,217 | 2,418 | 6,010 | 12,165 | 18,685 | 31,610 |
| | | -4 | 0,654 | 1,494 | 2,950 | 7,460 | 14,570 | 21,675 | 35,320 |
| | 1 | 4 | 0,336 | 0,441 | 0,522 | 0,636 | 0,806 | 1,080 | 2,483 |
| | | 2 | 0,449 | 0,663 | 0,865 | 1,224 | 1,977 | 3,873 | 15,575 |
| | | 0 | 0,664 | 1,263 | 2,172 | 4,762 | 9,715 | 15,530 | 27,735 |
| | | -2 | 1,109 | 2,731 | 4,810 | 8,695 | 14,250 | 20,425 | 33,075 |
| | | -4 | 1,623 | 3,558 | 6,025 | 10,635 | 16,880 | 23,555 | 36,875 |
| | 2 | 4 | 0,646 | 0,829 | 0,965 | 1,152 | 1,421 | 1,839 | 3,865 |
| | | 2 | 0,885 | 1,268 | 1,611 | 2,185 | 3,282 | 5,700 | 18,040 |
| | | 0 | 1,383 | 2,550 | 4,103 | 7,505 | 12,770 | 18,570 | 30,570 |
| | | -2 | 2,724 | 6,460 | 9,620 | 13,735 | 18,755 | 24,365 | 36,365 |
| | | -4 | 4,678 | 8,635 | 11,960 | 16,445 | 21,880 | 27,850 | 40,400 |
| | 4 | 4 | 1,710 | 2,168 | 2,500 | 2,944 | 3,565 | 4,478 | 8,260 |
| | | 2 | 2,344 | 3,279 | 4,066 | 5,285 | 7,295 | 10,745 | 23,150 |
| | | 0 | 3,651 | 6,210 | 8,845 | 13,070 | 18,630 | 24,625 | 36,645 |
| | | -2 | 7,010 | 13,555 | 17,850 | 22,460 | 27,375 | 32,575 | 43,690 |
| | | -4 | 12,270 | 18,705 | 22,590 | 26,980 | 31,840 | 37,090 | 48,390 |

a) Pre $z_j = 0$, $z_g = 0$ a $\kappa_{wt0} \le 8$: $\mu_{cr} = 2{,}04 + 2{,}68\,\kappa_{wt0} + 0{,}021\,\kappa_{wt0}^2$.

b) Pre $z_j = 0$, $-4 \le \zeta_g \le 4$ a $\kappa_{wt} \le 4$, sa $\mu_{cr}$ môže vypočítať aj zo vzťahov (NB.3.12) a (NB.3.13), v ktorých sa použijú nasledovné približné hodnoty faktorov $C_1$, $C_2$:

$C_1 = 4{,}11 + 11{,}2\,\kappa_{wt} - 5{,}65\,\kappa_{wt}^2 + 0{,}975\,\kappa_{wt}^3$, ak $\kappa_{wt} \le 2$

$C_1 = 12$ ak $\kappa_{wt} > 2$

$C_2 = 1{,}661 + 1{,}068\,\kappa_{wt} - 0{,}609\,\kappa_{wt}^2 + 0{,}153\,\kappa_{wt}^3 - 0{,}014\,\kappa_{wt}^4$, ak $\zeta_g \ge 0$

$C_2 = 0{,}535 + 0{,}426\,\kappa_{wt} - 0{,}029\,\kappa_{wt}^2 - (0{,}061 + 0{,}074\,\kappa_{wt} - 0{,}0085\,\kappa_{wt}^2)\,\zeta_g$, ak $\zeta_g < 0$.

c) V tabuľke NB.3.4 sa má použiť nelineárna interpolácia hodnôt.