

Bočna zvrnitev upogibno obremenjenih elementov s konstantnim prečnim prerezom

1 Nosilnost na bočno zvrnitev

(1) Elemente, ki niso bočno podprti in so upogibno obremenjeni okoli močne osi, je potrebno preveriti na bočno zvrnitev z naslednjo enačbo:

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

kjer je M_{Ed} projektna vrednost upogibnega momenta

$M_{b,Rd}$ projektna vrednosti nosilnosti na bočno zvrnitev.

(2) Nosilci, pri katerih je tlačena pasnica v zadostni meri bočno podprta, niso občutljivi na bočno zvrnitev. Nosilci s prečnim prerezom določenih oblik, kot npr. kvadratni ali okrogli votli prerezi, varjene okrogle cevi in kvadratni varjeni škatlasti prerezi, prav tako niso občutljivi na bočno zvrnitev.

(3) Projektna upogibna nosilnost bočne zvrnitve se za bočno nepodprte nosilce izračuna z izrazom:

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} W_y \frac{f_y}{\gamma_{M1}}, \quad (2)$$

kjer je W_y ustrezen odpornostni moment prečnega prereza:

- $W_y = W_{pl,y}$ za 1. in 2. razred kompaktnosti
- $W_y = W_{el,y}$ za 3. razred kompaktnosti
- $W_y = W_{eff,y}$ za 4. razred kompaktnosti

χ_{LT} redukcijski faktor pri bočni zvrnitvi.

OPOMBA 1 Bočna zvrnitev elementov s spremenljivim prečnim prerezom se lahko preveri z izračunom po teoriji drugega reda in ob upoštevanju nepopolnosti iz SIST EN 1993-1-1 **Error! Reference source not found.**(3), glej tudi **Error! Reference source not found.**

OPOMBA 2 B Za bočno zvrnitev elementov stavb glej tudi SIST EN1993-1-1 Dodatek BB.

(4) Pri izračunu W_y lukenj za vezna sredstva na obeh koncih nosilca ni potrebno upoštevati.

2 Uklonske krivulje za bočno zvrnitev – splošni primer

(1) Če ni drugače določeno, glej 3, se za upogibne nosilce s konstantnim prečnim prerezom vrednost χ_{LT} v odvisnosti od relativne vitkosti $\bar{\lambda}_{LT}$ izračuna z izrazom:

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2}}, \text{ vendar } \chi_{LT} \leq 1,0, \quad (3)$$

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

α_{LT} faktor nepopolnosti

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

M_{cr} elastični kritični moment bočne zvrnitve.

(2) M_{cr} se izračuna na osnovi bruto prečnega prereza in z upoštevanjem načina delovanja obtežbe, poteka upogibnih momentov in razporeda bočnih podpor.

OPOMBA Faktor nepopolnosti α_{LT} se nanaša na pripadajoče uklonske krivulje in je lahko določen v Nacionalnem dodatku. Vrednosti za α_{LT} , ki veljajo v Sloveniji, so podane v preglednici 1.

Preglednica 1: Priporočene vrednosti faktorji nepopolnosti pri bočni zvrnitvi

Uklonska krivulja	a	b	c	d
Faktor nepopolnosti α_{LT}	0,21	0,34	0,49	0,76

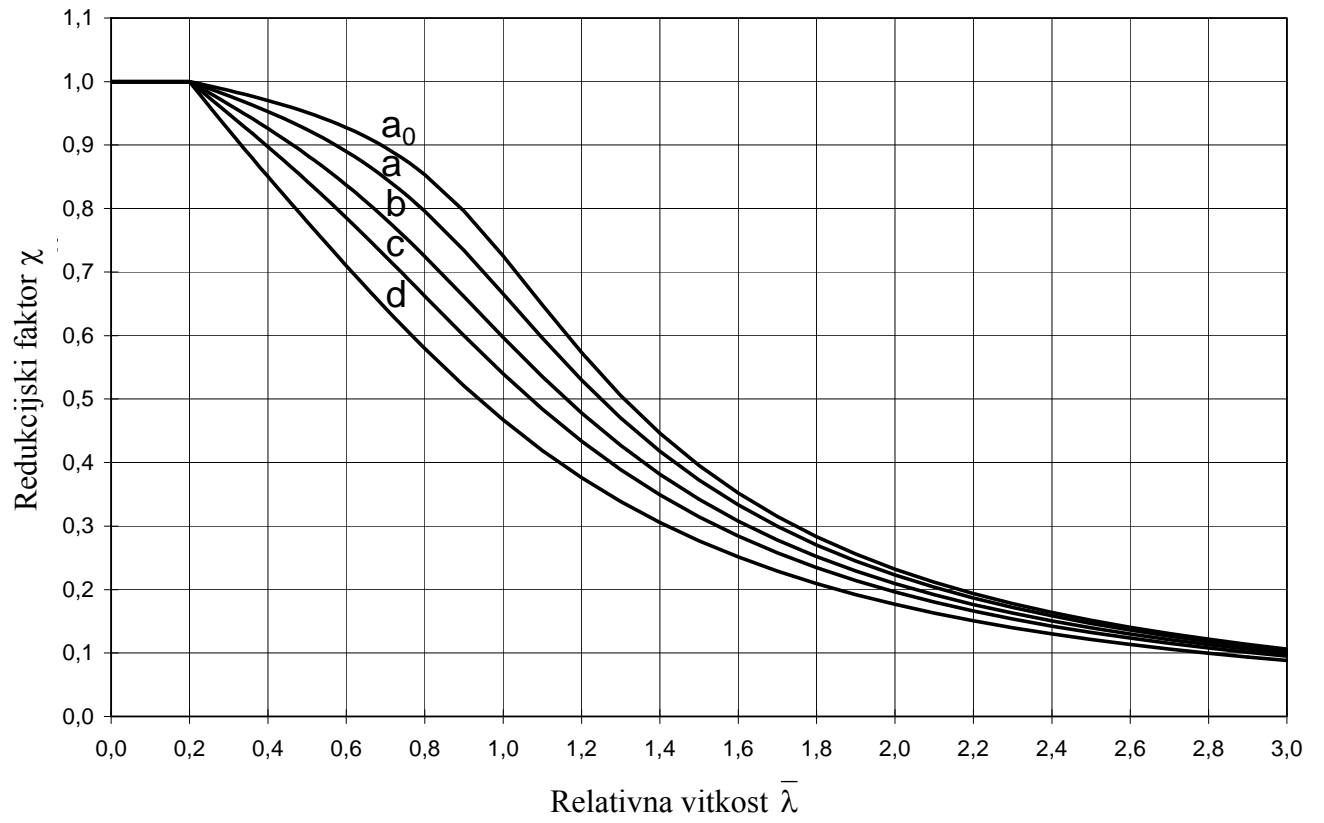
Priporočila za izbiro uklonskih krivulj so podana v preglednici 2.

Preglednica 2: Priporočena izbira uklonskih krivulj pri kontroli bočne zvrnitve z enačbo (3)

Prečni prerez	Omejitve	Uklonska krivulja
Vroče valjani I-prerezi	$h/b \leq 2$	a
	$h/b > 2$	b
Varjeni I-prerezi	$h/b \leq 2$	c
	$h/b > 2$	d
Ostali prečni prerezi	-	d

(3) Vrednosti redukcijskega faktorja χ_{LT} v odvisnosti od relativne vitkosti $\bar{\lambda}_{LT}$ lahko odčitamo iz diagramov na sliki 1 (enaki kot pri uklonu! – enaki tudi analitični izrazi).

(4) Pri vitkosti $\bar{\lambda}_{LT} \leq \bar{\lambda}_{LT,0}$ (glej 3)) ali pri $\frac{M_{Ed}}{M_{cr}} \leq \bar{\lambda}_{LT,0}^2$ (glej 3)) lahko vplive bočne zvrnitve zanemarimo in preverimo le nosilnost prečnih prevezov.



Slika 1: Uklonske krivulje

3 Uklonske krivulje bočne zvrnitve za standardne vroče valjane prereze in enakovredne varjene prereze

(1) Za vroče valjane ali enakovredne varjene upogibne nosilce se vrednost χ_{LT} v odvisnosti od relativne vitkosti $\bar{\lambda}_{LT}$ izračuna z izrazom:

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \beta \bar{\lambda}_{LT}^2}}, \text{ vendar } \begin{cases} \chi_{LT} \leq 1,0 \\ \chi_{LT} \leq \frac{1}{\bar{\lambda}_{LT}^2} \end{cases} \quad (4)$$

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

OPOMBA Vrednost parametrov $\bar{\lambda}_{LT,0}$ in β ter omejitve veljavnosti izrazov (4) glede višine prereza ali razmerja h/b so lahko podane v Nacionalnem dodatku. Za vroče valjane in enakovredne varjene prereze v Sloveniji veljajo naslednje vrednosti:

$$\bar{\lambda}_{LT,0} = 0,4 \quad (\text{sicer največja vrednost})$$

$$\beta = 0,75 \quad (\text{sicer najmanjša vrednost}).$$

Priporočila za izbiro uklonskih krivulj so podana v preglednici 3.

Preglednica 3: Priporočena izbira uklonskih krivulj pri kontroli bočne zvrnitve z enačbo (4)

Prečni prerez	Omejitve	Uklonske krivulje
Vroče valjani I-prerezi	$h/b \leq 2$	b
	$h/b > 2$	c
Varjeni I-prerezi	$h/b \leq 2$	c
	$h/b > 2$	d

(2) Razpored upogibnih momentov med sosednjima točkama bočnega podpiranja nosilca lahko upoštevamo s povečanjem χ_{LT} na naslednji način:







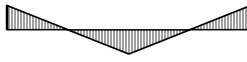
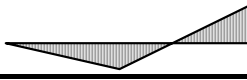
$$\chi_{LT,mod} = \frac{\chi_{LT}}{f}, \text{ vendar } \chi_{LT,mod} \leq 1. \quad (5)$$

OPOMBA Vrednosti faktorja f so lahko določene v Nacionalnem dodatku. V Sloveniji veljajo naslednje minimalne vrednosti:

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

k_c je korekcijski faktor, podan v preglednici 4.

Preglednica 4: Korekcijski faktor k_c

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

4 Poenostavljena kontrola bočne zvrnitve za nosilce v stavbah – metoda tlačene pasnice

(1)B Pri elementih z bočno podprto tlačeno pasnico ni nevarnosti bočne zvrnitve, če je za razmak med sosednjima bočnima podporama L_c ali za pripadajočo vitkost tlačene pasnice $\bar{\lambda}_f$ izpolnjen pogoj:

$$\bar{\lambda}_f = \frac{k_c L_c}{i_{f,z} \lambda_1} \leq \bar{\lambda}_{c0} \frac{M_{c,Rd}}{M_{y,Ed}}, \quad (6)$$

kjer je $M_{y,Ed}$ največja projektna vrednost upogibnega momenta v obravnavanem polju med sosednjima bočnima podporama

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

W_y ustrezeni odpornostni moment prečnega prereza glede na tlačeno pasnico

k_c je korekcijski faktor vitkosti pri vplivu razporeda upogibnih momentov med sosednjima bočnima podporama, glej preglednico 4

$i_{f,z}$ vztrajnostni radij nadomestne tlačene pasnice, sestavljene iz tlačene pasnice in 1/3 tlačene dela stojine (okoli šibke osi celotnega prečnega prereza)

$\bar{\lambda}_{c0}$ vitkost nadomestne tlačene pasnice, določene zgoraj

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

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

OPOMBA 1B Pri prerezih 4. razreda kompaktnosti se lahko $i_{f,z}$ izračuna z naslednjim izrazom:

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

kjer je $I_{\text{eff},f}$ vztrajnostni moment sodelujočega dela tlačene pasnice okoli šibke osi prečnega prereza

$A_{\text{eff},f}$ površina sodelujočega prereza tlačene pasnice

$A_{\text{eff},w,c}$ površina sodelujočega prereza tlačnega dela stojine

OPOMBA 2B Vrednosti parametra omejitve vitkosti $\bar{\lambda}_{c0}$ so lahko podane v Nacionalnem dodatku. V Sloveniji velja naslednja mejna vrednost $\bar{\lambda}_{c0} = \bar{\lambda}_{LT,0} + 0,1$, glej 3.

(2)B V primeru, da vitkost tlačene pasnice $\bar{\lambda}_f$ presega omejitvev, podano v (1)B, lahko projektno nosilnost bočne zvrnitve izračunamo z izrazom:

$$M_{b,Rd} = k_{f\ell} \chi M_{c,Rd}, \text{ vendar } M_{b,Rd} \leq M_{c,Rd}, \quad (7)$$

kjer je χ redukcijski faktor nadomestne tlačene pasnice, določene z $\bar{\lambda}_f$

$k_{f\ell}$ faktor, ki zajema vpliv konservativnosti metode tlačene pasnice.

OPOMBA B Faktor $k_{f\ell}$ je lahko podan v Nacionalnem dodatku. V Sloveniji velja $k_{f\ell} = 1,10$.

(3)B Uklonske krivulje, ki se uporabijo v (2)B, se izberejo na naslednji način:

krivulja d za varjene prereze, pri katerih velja: $\frac{h}{t_f} \leq 44\varepsilon$

krivulja c za ostale prereze,

kjer je h celotna višina prečnega prereza

t_f debelina tlačene pasnice.

NOTE B Za bočno zvrnitev bočno podprtih elementov stavb glej tudi SIST EN 1993-1-1 Dodatek BB.3.